

## LA NUTRICION FOLIAR

### Introducción

En cualquier condición en la cual se desarrolle, la planta absorbe los nutrientes de la solución del suelo a través de su sistema radicular. La raíz es entonces el órgano responsable de la absorción salina y del agua. Sin embargo, la investigación ha demostrado que es factible alimentar las plantas por vía foliar, en particular cuando se trata de corregir deficiencias de elementos menores. En el caso de los elementos mayores (N, P, K), **actualmente se reconoce que la nutrición foliar solamente puede complementar y en ningún caso substituir la fertilización al suelo.** Esto se debe a que las dosis de aplicación que pueden administrarse por vía foliar son muy pequeñas, en relación con los niveles de fertilización utilizados por los cultivos para alcanzar altos niveles de productividad.

### Mecanismos de la nutrición foliar

Las plantas pueden alimentarse a través de las hojas mediante la aplicación de sales nutritivas disueltas en agua. Los nutrientes penetran en las hojas de las plantas a través de aperturas denominadas estomas. Estas estructuras se encuentran tanto en la superficie foliar superior (haz), como inferior (envés), y juegan un papel importante en la absorción de nutrientes vía foliar.

Sin embargo, los estomas no son la única posibilidad de absorción de nutrientes a través del follaje. Se ha comprobado que también puede haber penetración a través de espacios submicroscópicos denominados ectodesmos que se encuentran en las hojas. Además se sabe que la cutícula de las hojas se dilata al humedecerse, produciéndose espacios vacíos que permiten la penetración de soluciones nutritivas.

El proceso de absorción de nutrientes por vía foliar tienen lugar en tres etapas. En la primera etapa, las sustancias nutritivas aplicadas a la superficie penetran la cutícula y la pared celular por difusión libre. En la segunda etapa, las sustancias son absorbidas por la superficie de la membrana plasmática y en la tercera, pasan al citoplasma mediante un proceso metabólico.

### Velocidad de absorción

La velocidad de absorción de los nutrientes por vía foliar es muy variable ya que depende de varios factores. Los principales son:

- Nutriente o nutrientes involucrados
- Especie cultivada
- Ion acompañante
- Condiciones ambientales: temperatura, humedad relativa, incidencia de lluvia, etc.
- Condiciones tecnológicas de la aspersión

Los distintos nutrientes difieren acentuadamente en cuanto a la velocidad con que son absorbidos por el follaje.

El nitrógeno (N) se destaca nitidamente por la rapidez con que es absorbido, necesitándose solamente horas (1 a 6) para que se absorba el 50% del total aplicado.

Los demás elementos, con la posible excepción del magnesio (Mg), requieren como mínimo un día para alcanzar la misma magnitud de absorción. El fósforo (P) se destaca porque su absorción es relativamente más lenta, requiriendo hasta 5 días para ser absorbido en un 50%.

### Translocación

Una vez que ha tomado lugar la absorción, las sustancias nutritivas se mueven dentro de la planta utilizando las siguientes vías :

- La corriente de transpiración vía xilema
- Las paredes celulares
- El floema y otras células vivas
- Los espacios intercelulares

La principal vía de translocación de los nutrientes aplicados al follaje es el floema. El movimiento de célula a célula ocurre a través del protoplasma, por las paredes o espacios intercelulares. El movimiento por el floema toma lugar desde la hoja donde se sintetizan los compuestos orgánicos, hacia los lugares de utilización y almacenamiento. En consecuencia, las soluciones nutritivas aplicadas al follaje no se moverán hacia otras estructuras de la planta hasta tanto se produzca movimiento de sustancias orgánicas resultantes de la fotosíntesis.

La velocidad del proceso de translocación varía de un nutriente a otro. El N y potasio (K) se consideran como altamente móviles, mientras que el Mg, calcio (Ca) y boro (B) son relativamente inmóviles y el resto de microelementos exhiben una movilidad mediana a escasa.

### Alcances de la fertilización foliar

La aplicación de sustancias fertilizantes mediante la aspersión del follaje con soluciones nutritivas se denomina fertilización o abonamiento foliar. Es una práctica utilizada ampliamente en la agricultura tecnificada contemporánea.

En Latinoamérica, la aplicación de fertilizantes por vía foliar ha venido ganando aceptación creciente en las últimas décadas por parte de la agricultura comercial. Desafortunadamente, ésta ha sido una práctica agronómica poco investigada lo cual explica que aún exista controversia y alguna confusión sobre sus alcances y limitaciones.

La investigación ha demostrado que es factible alimentar las plantas por vía foliar, en particular cuando se trata de corregir deficiencias de elementos menores. En el caso de los elementos mayores (N, P, K), actualmente se reconoce que la nutrición foliar solamente puede complementar y en ningún caso substituir la fertilización al suelo. Esto se debe a que las dosis de aplicación que pueden administrarse por vía foliar son muy pequeñas, en relación con los niveles de fertilización utilizados por los cultivos para alcanzar altos niveles de productividad.

A continuación se discuten las condiciones bajo las cuales se ha comprobado que la fertilización foliar permite obtener resultados agronómicos significativos.

#### **Suministro de nutrientes en circunstancias de emergencia y/o "estrés"**

Esta es una de las condiciones en las cuales la utilización de la nutrición foliar cobra mayor alcance. Las situaciones de emergencia son aquellas que resultan en limitantes drásticas para la nutrición del cultivo a través del sistema radicular. Las más importantes se discuten a continuación.

##### **Sequía**

El medio natural en el que se disuelven las sustancias nutritivas es el agua. Los elementos nutritivos son absorbidos radicularmente por la planta en estado iónico, siendo también el agua el agente o vehículo transportador. Cuando el suministro de agua es limitado, la alimentación radicular de la planta sufre trastornos severos y compromete drásticamente el desarrollo vegetal. Bajo condiciones de sequía transitoria, la vía radicular estará limitada para la absorción de nutrientes y será necesario utilizar temporalmente la vía foliar.

Desafortunadamente, cuando la planta se encuentra en situación de "estrés" por sequía, desarrolla una

mayor sensibilidad a la acción fitotóxica de las sustancias nutritivas y/o de pesticidas aplicados al follaje.

##### **Encharcamiento**

El efecto del exceso de agua es, paradójicamente, análogo al de la sequía. Cuando se presenta exceso de agua en el medio radicular, el nivel de aireación disminuye acentuadamente. La disponibilidad limitada de oxígeno en un suelo mal aireado promueve la inmediata inhibición de la absorción de agua y elementos nutritivos. Bajo estas circunstancias, mientras se supera la situación emergente, la vía foliar es la alternativa para nutrir el cultivo.

##### **"Estrés" por aplicación de otros productos al suelo**

La aplicación de ciertos productos al suelo, sean herbicidas, insecticidas, fungicidas o nematocidas, puede generar efectos inhibitorios de la actividad microbiana del suelo, lo cual produce un bloqueo transitorio de la mineralización de nutrientes como el N, P, K y azufre (S).

Mientras se prolonga el efecto inhibitorio, la absorción de N, P, K y S por vía radicular puede disminuir significativamente y afectar el desarrollo normal del cultivo, en particular cuando se encuentra en su primeros estados de desarrollo. La aplicación de nutrientes vía foliar, en particular las aspersiones con nitrogenados, permite restaurar el adecuado balance nutricional de la planta.

##### **Daño por heladas**

Las caídas bruscas de temperatura, que ocurren en algunas zonas de clima frío, provocan pérdidas importantes de follaje en cultivos como papa, hortalizas, pastos, etc. En este caso, la aplicación de fertilizantes nitrogenados y vía foliar permite restaurar rápidamente el área foliar afectada. Además, se ha encontrado que las aplicaciones foliares de K, administradas con

criterio preventivo, pueden atenuar los daños causados por las heladas.

Se entiende que cualquier situación emergente es transitoria. En ningún caso se podrá esperar que la fertilización foliar, por sí sola, constituya la solución para controlar los efectos adversos causados por la sequía, encharcamiento, etc. El alcance de esta práctica no puede ir más allá que atenuar los efectos adversos de la condición emergente, al igual que el papel que juega el suero en el sostenimiento del enfermo, se utiliza hasta cuando se supera la crisis.

##### **Bloqueo en la absorción de nutrientes por vía radicular**

La disponibilidad de nutrientes en el suelo está controlada por un buen número de factores de naturaleza física, química y bioquímica. Estos a su vez interactúan con otros factores relacionados con el medio ambiente y con los factores relacionados con uso y manejo del suelo. Cuando esta intrincada interacción de procesos y factores se altera, el suministro de nutrientes por vía radicular se reduce o bloquea. A continuación se discuten las principales causas de bloqueo en la absorción radicular de nutrientes.

##### **Salinidad y exceso de sodio**

La ocurrencia de suelos salinos y alcalinos (con exceso de sodio) es cada vez más frecuente. Estas condiciones adversas afectan drásticamente la productividad agrícola. Los efectos adversos de la salinidad y exceso de sodio (Na) en el desarrollo vegetal se relacionan con los siguientes procesos:

- a) Inhibición de la toma de agua
- b) Bloqueo en la absorción de nutrientes
- c) Efectos tóxicos

La acumulación de sales solubles en el suelo determina un incremento significativo en la succión osmótica de la humedad del suelo. En la práctica, esto aumenta los niveles de retención de agua en el suelo y, en

consecuencia, genera una reducción importante en la absorción de agua y nutrientes por los cultivos.

Por otra parte, el exceso de  $\text{Na}^+$  intercambiable en el suelo provoca un bloqueo en la absorción de otros cationes, tales como el  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Ca}^{++}$ . Este efecto se debe a la inhibición competitiva en la absorción activa, generada por el exceso del catión  $\text{Na}^+$ . En esta condición, el efecto de la fertilización al suelo puede restringirse y la fertilización foliar puede ser una alternativa significativa desde el punto de vista agronómico y económico.

#### ***Inhibición competitiva en la absorción de nutrientes***

Tal como se indicó anteriormente, uno de los factores que controla la absorción activa de nutrientes por la raíz es el balance catiónico. En general, la constitución de la cubierta catiónica en la fase cambiable del suelo debe mantener la siguiente secuencia considerada normal:  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ . Cualquier alteración en esta secuencia puede afectar seriamente la absorción radicular de uno u otro nutriente. Aún manteniéndose la secuencia normal, la concentración de los cationes debe guardar un adecuado balance o relación que depende del tipo de suelo y de la especie cultivada. Los excesos de uno u otro nutriente pueden causar, dependiendo de las circunstancias, bloqueos importantes en la absorción de otro u otros, así:

- Bloqueo del  $\text{K}^+$  por exceso de  $\text{Ca}^{++}$  y/o  $\text{Mg}^{++}$
- Bloqueo del  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  por exceso de  $\text{Na}^+$
- Bloqueo del  $\text{Mg}^{++}$  por exceso de  $\text{K}^+$
- Bloqueo del  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$  por exceso de  $\text{NH}_4^+$
- Bloqueo del  $\text{Ca}^{++}$  por exceso de  $\text{Mg}^{++}$  o viceversa
- Bloqueo del  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{K}^+$  por exceso de  $\text{Al}^{+++}$

Cuando se presenta en el suelo una de estas condiciones, la eficiencia de la aplicación de fertilizantes se

reduce o, en ciertos casos, puede aún acentuar el problema. Hasta cuando no se supere la situación, la fertilización vía foliar puede constituir una alternativa efectiva para suplementar al cultivo los nutrientes afectados.

#### ***Desarrollo radicular limitado***

Una adecuada alimentación vía radicular exige, como es obvio, un buen crecimiento de la raíz. Desafortunadamente, con frecuencia se presentan en el suelo condiciones físicas o químicas que limitan el desarrollo radicular, afectando la absorción de nutrientes. Algunas de estas situaciones se describen a continuación:

- Toxicidad de aluminio (Al). Esta es, sin duda, la condición adversa más común en el medio tropical. El exceso de Al se presenta en suelos ácidos e inhibe el desarrollo radicular, afectando la absorción de agua y nutrientes.
- Compactación. El impedimento físico motivado por la compactación del suelo provoca una reducción en el crecimiento del sistema radicular. Esta situación adversa se origina por el uso inadecuado de los implementos de labranza, o por el uso reiterado de maquinaria pesada. Una de las consecuencias de la compactación es la pérdida de efectividad de la fertilización radicular.
- Nivel freático alto. En los valles y altiplanos suele ser frecuente la condición de un nivel de agua subterránea cercano a la superficie, en particular durante las épocas de lluvia. El nivel freático alto es una barrera que impide el normal crecimiento del sistema radicular, ya que se genera un efecto análogo al del encharcamiento o inundación, lo cual, de hecho limita la absorción de nutrientes vía raíz.
- Planta Joven: Durante los primeros estados de desarrollo de un cultivo, las plántulas tienen un

sistema radicular precario y durante cierto lapso la masa radicular disponible para la absorción de nutrientes es limitada.

Todos los casos arriba descritos reducen la efectividad agronómica de la fertilización al suelo, cobrando entonces transcendencia la fertilización complementaria por vía foliar.

#### **Limitaciones que reducen la eficiencia de la fertilización radicular**

Una vez aplicados los fertilizantes al suelo, éstos sufren reacciones de transformación o procesos de movilización que reducen la eficiencia de la aplicación al quedar los nutrientes fuera del alcance absorbente del sistema radicular. Los más importantes son:

##### **Lixiviación**

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

El K, aunque en menor proporción que el N, también puede perderse por lixiviación, particularmente en suelos de textura gruesa. El P, 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 (S), Ca y Mg. Sin embargo, la magnitud de las pérdidas son muy variables y dependen de un número de factores, siendo los principales los siguientes:

- Frecuencia e intensidad de lluvias
- Textura del suelo
- Contenido de materia orgánica
- Tipo de coloide arcilloso

- e) Uso y manejo del suelo
- f) Tipo de fertilizante utilizado.

### Fijación

La fijación o retención de nutrientes en el suelo está gobernada por una serie de procesos de transformación físico-químico que sufren ciertos nutrientes una vez aplicados al suelo. Como resultado los nutrientes inicialmente solubles y disponibles para las plantas evolucionan hacia estados químicos que los hacen insolubles y no aprovechables.

El elemento más afectado por procesos de fijación es el P. Se ha estimado que la fijación es responsable de la pérdida de entre 70 y 95% del P aplicado en los fertilizantes. En menor proporción, el N y el K pueden también ser "atrapados" o fijados por arcillas expandibles de ciertos suelos. Aunque no hay estudios específicos, se prevee que en suelos tropicales este proceso puede ser responsable de pérdidas importantes de fertilizante nitrogenado o potásico.

La magnitud de las pérdidas por fijación dependen de factores diversos. En el caso del P 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) Forma y época de aplicación del fertilizante.

Los factores que controlan la fijación de N y K son:

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

### Pérdidas en forma de gas

La fertilización nitrogenada puede ser afectada severamente por pérdidas de N 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 ( $\text{NH}_3$ ), que es un gas que se desprende fácilmente del suelo. Se ha encontrado que este proceso afecta severamente a la urea, debido a que su primera reacción es alcalina y fomenta la producción de  $\text{NH}_3$ . Esto es particularmente cierto cuando se hacen aplicaciones superficiales de urea en zonas de clima cálido. En arrozales inundados, las pérdidas de N por volatilización pueden ser tan altas como del 50% del N 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  $\text{NO}_3^-$  evoluciona hacia estados gaseosos ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ) que se pierden fácilmente a la atmósfera. En condiciones favorables al proceso, se ha llegado a determinar pérdidas hasta del 30% del N aplicado como fertilizante.

### Inmovilización

La actividad de los microorganismos del suelo genera, bajo determinadas circunstancias, pérdidas significativas de nutrientes aplicados al suelo. Los microorganismos del suelo utilizan nutrientes para sus funciones metabólicas, compitiendo de esta forma por nutrientes con las especies vegetales. Bajo condiciones específicas, la magnitud de la utilización de nutrientes por la población microbiana puede restar cantidades importantes de nutrientes aplicados en el abonamiento al suelo. Los nutrientes más afectados son N, P y S.

### Eficiencia de la fertilización en la agricultura tropical

Se define como eficiencia de la fertilización a la proporción de

nutrientes efectivamente utilizados por el cultivo en relación con la cantidad aplicada. En la agricultura tropical, los niveles de eficiencia se ubican en rangos relativamente bajos, debido a la incidencia de los factores de pérdida previamente descritos.

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 al suelo 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. Se estima que en promedio, la eficiencia está en un rango del 5 al 30% con un promedio de 10%. De acuerdo con esto, de cada 100 kg de fosfato aplicados al suelo, las pérdidas promedio son del orden de 90 kg.

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

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

### Suministro rápido de nutrientes en épocas críticas

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

La demanda de N es alta y constante, pero se requiere en particular durante los estados de alta tasa de crecimiento, floración y fructificación. En cereales, como en el caso de arroz, los niveles de mayor

demanda de N toman lugar durante el macollamiento, iniciación de la panícula y el llenado de grano.

El P es requerido en estados tempranos del ciclo vegetativo como nutriente clave para el desarrollo radicular. Los estados de tuberización e iniciación de la floración son considerados también como puntos críticos en cuanto al suministro de P. 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 la etapa donde se produce la diferenciación de las estructuras productivas.

El K 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. El K 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 N y K, puede influir apreciablemente en la obtención de granos más densos y frutos más grandes, aumentando así el rendimiento total.

### **Particularmente eficaz para aplicación de microelementos**

Se puede afirmar que no existe duda de la eficiencia agronómica de la aplicación de elementos menores por vía foliar. Como se sabe, los requerimientos de microelementos por parte de los cultivos son pequeños. Esta circunstancia hace posible el suministro de estos nutrientes en soluciones de muy baja concentración, que son las toleradas por la planta y no acusan efectos fitotóxicos.

Por otra parte, la fertilización radicular con microelementos es muchas veces inconveniente desde el

punto de vista de manejo. Las dosis de aplicación son muy bajas con las 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 pueda resultar limitado por un factor de orden nutricional.

Con esto en mente, se considera 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 contribuye a la alimentación inicial de la planta, lo que impulsa el desarrollo rápido del sistema radicular, el cual a su vez podrá aportar más rápido con nutrientes al crecimiento del cultivo.

En cultivos anuales o de ciclo corto, la aplicación foliar debe efectuarse temprano en el ciclo. Esto se debe a que 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 fertilización foliar**

Existe ciertos factores que limitan la aplicación foliar del nutriente. Entre los principales se pueden señalar los siguientes:

#### **Riesgo de fitotoxicidad**

Las especies vegetales cultivadas son sensibles a la aspersión de soluciones nutritivas concentradas. En general, las plantas toleran niveles bajos de concentración y están expuestas a

daños por "quemazón" del follaje cuando la solución utilizada excede de ciertos valores límites.

### **Dosis limitadas en macroelementos**

El riesgo de fitotoxicidad, junto 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 indica nuevamente que en el caso de los macronutrientes la fertilización foliar nunca sustituye a la fertilización al suelo.

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

Como es obvio, la eficiencia de 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 nutrientes, el desarrollo foliar es aún muy limitado y por consiguiente se espera que el abonamiento foliar no sea muy efectivo.

### **Lenta absorción**

Se indicó anteriormente que la mayoría de nutrientes penetran en la hoja en forma lenta. Con excepción del N, 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 la que penetran los nutrientes, estos pueden ser lavados del follaje por la lluvia, 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 con la solución y que permitan conseguir una buena adherencia y mejor penetración.

### Productos costosos

Para aplicaciones foliares se requiere generalmente sales puras, para conseguir una solución clara sin impurezas o inertes que taponen las boquillas en la aspersión. Estas sales son más costosas que los fertilizantes convencionales.

### Factores que determinan la eficacia de la fertilización foliar

Numerosos son los factores que determinan la eficacia agronómica en la fertilización foliar. Se puede afirmar que en el caso de la fertilización radicular, las probabilidades de éxito son muy altas. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el abonamiento foliar, ya que su efecto positivo en la producción es altamente aleatorio, en particular para el caso de la aplicación de elementos mayores. Los factores involucrados en la eficiencia de la fertilización foliar deben ser conocidos y controlados para asegurar efectos agronómicos favorables. Algunos de éstos son:

#### 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 o variedad de la planta.

Otros factores asociados con la planta tienen que ver con su nivel nutricional y con el estado de crecimiento en el cual se efectúa la aplicación. 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. Las aplicaciones de N, K, B, Ca y Mg son de mayor trascendencia durante los estados de floración y fructificación.

#### Factores ambientales

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

- Temperatura
- Luminosidad y fotoperíodo
- Humedad
- Sequía
- Hora del día
- Succión osmótica del suelo
- 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 puedan ser controlados. Entre los principales se destacan:

- Tipo de solución nutritiva
- Concentración de la solución
- Dosis de aplicación

- Técnica de aplicación
- pH de la solución
- Polaridad e higroscopicidad
- Sales utilizadas
- Relación nutricional
- Penetrantes, humectantes, adherentes.

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 buena experimentación en las condiciones específicas del medio agroecológico.

Conviene además destacar la importancia del uso de aditivos o coadyuvantes para el éxito de la fertilización foliar. Las principales funciones de los aditivos o coadyuvantes son:

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

No cabe duda que la fertilización foliar conducida en forma inteligente puede contribuir efectivamente a la obtención de rendimientos económicos altos. C

