

Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones

MEMORIA



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES

Editores: Gloria Meléndez y Eloy Molina



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FEBRERO 2002



**SOCIACIÓN
OSTARRICENSE DE LA
CIENCIA DEL
SUELO**

PRESENTACIÓN

Por muchos años el Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, ha mantenido una posición relevante dentro del sector agrícola del país en el campo de la investigación, a través de los servicios que brinda de análisis de suelos y foliars, además de la obtención de convenios con organismos nacionales e internacionales, generando información y recomendaciones oportunas y confiables.

Dado que el acceso y el flujo de la información sobre investigaciones recientes en el área agrícola es restringida o de alto costo, el laboratorio periódicamente realiza seminarios, cursos de capacitación y talleres, que sean de acceso a estudiantes, productores, profesionales y público general, para actualizarlos en temas de interés mutuo y difundir información específica y de interés para el sector agrícola.

La fertilización foliar de cultivos es una práctica de gran utilidad para el suministro de nutrimentos que permite corregir deficiencias en forma rápida, oportuna, económica y eficiente. Los temas relacionados a fertilización foliar son complejos y variados, y aunque existe mucha información, se encuentra dispersa y en muchos casos poco accesible. El conocimiento de las bases y fundamentos de esta herramienta agronómica es muy importante y fundamental para todos los técnicos y profesionales del ramo por lo que el Laboratorio de Suelos y Foliars en colaboración con la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, han programado este seminario de capacitación sobre “Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones”. El objetivo de esta actividad es presentar los principios que fundamentan el uso de fertilizantes foliars, el mecanismo de absorción de nutrimentos por el follaje, las características y aplicaciones de los fertilizantes foliars en los principales cultivos del país.

Esperamos que sea de utilidad para todos los involucrados.

Febrero, 2002

Los editores

CONFERENCISTAS

Ing. Guido Barquero Villalobos
Agro Tico
agrotico@sol.racsa.co.cr

Ing. Floria Bertsch Henández, M.Sc.
Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
fbertsch@cariari.ucr.ac.cr

Dr. Marco V. Gutiérrez Soto
Estación Experimental Fabio Baudrit M.
Universidad de Costa Rica
marcogs@racsa.co.cr

Ing. Aura Jiménez
Departamento de Insumos Agrícolas
Dirección de Protección Fitosanitaria, MAG
ajimenez@protecnet.go.cr

Ing. Eloy Molina Rojas, M.Sc.
Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
eamolina@cariari.ucr.ac.cr

Dr. Francisco Saborío Pozuelo
Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
saboriop@cariari.ucr.ac.cr

Dr. Rafael Salas Camacho
Centro de Investigaciones Agronómicas
Universidad de Costa Rica
resalas@cariari.ucr.ac.cr

Ing. Álvaro Segura Monge, M.Sc.
Escuela de Fitotecnia
Universidad de Costa Rica
aseguramonge@yahoo.com

Dr. B. K. Singh
Escuela de Agricultura Región Tropical Húmeda
bksingh@earth.ac.cr

Ing. Róger Viquez Arias
CAFESA
cafesa@racsa.co.cr

CONTENIDO

Mecanismos de absorción de nutrimentos por el follaje Marco Vinicio Gutiérrez, Ph.D.	1
Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar Rafael E. Salas, Ph.D.	7
Principios y aplicaciones de fertilización foliar Álvaro Segura, M.Sc.	19
Fuentes de fertilizantes foliares Eloy Molina, M.Sc.	26
Cálculo de disoluciones y calidad de agua Eloy Molina M.Sc.	36
Sistemas de aplicación de fertilizantes foliares Róger Víquez, Ing.	46
Legislación sobre registro y uso de fertilizantes foliares Aura Jiménez, Ing.	60
Fertilización foliar de plantas ornamentales Rafael E. Salas, Ph.D.	67
Fertilización foliar de hortalizas en invernadero Guido Barquero, Ing.	77
Fertilización foliar de cultivos frutícolas Eloy Molina, M.Sc.	82
Fertilización foliar con ácidos húmicos B.K. Singh, Ph.D.	101
Bioestimulantes en fertilización foliar Francisco Saborío, Ph.D.	107
Utilización de estudios de crecimiento y absorción de nutrimentos para afinar programas de fertilización Floria Bertsch, M.Sc.	125

ASPECTOS BÁSICOS DE LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS ABSORCIÓN FOLIAR DE SUSTANCIAS ÚTILES EN LA APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS AL FOLLAJE

Marco Vinicio Gutiérrez, Ph.D.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta una revisión de los avances científicos más relevantes en el campo de la nutrición mineral de las plantas, con aplicaciones a las ciencias agrícolas. Se incluyen los descubrimientos más recientes en los campos de las relaciones hídricas y la translocación por el floema, y su impacto sobre nuestro entendimiento de los procesos nutricionales de las plantas. Se hace énfasis en la economía nutricional a nivel de la planta completa, abarcando los órganos vegetativos más importantes de las plantas superiores (hojas, tallos y raíces), así como los órganos reproductivos (flores, frutos y sus semillas). Los conceptos fundamentales de la nutrición mineral de las plantas son utilizados para explorar los medios por los cuales la fertilización de los cultivos puede contribuir a mejorar el rendimiento de los cultivos. Específicamente se mencionan las interacciones entre la nutrición mineral y los componentes de la reproducción de las plantas (floración y fructificación). Finalmente, se discute la ocurrencia, el mecanismo, y las implicaciones prácticas de la absorción foliar de sustancias sobre la aplicación de agroquímicos al follaje.

2. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO NUTRICIONAL DE LAS PLANTAS

Los nutrimentos esenciales para las plantas cultivadas

Los nutrimentos minerales esenciales para las plantas son aquellos:

- a) necesarios para la ocurrencia de un ciclo de vida completo,
- b) involucrados en funciones metabólicas o estructurales en las cuales no pueden ser sustituidos, y
- c) cuya deficiencia se asocia a síntomas específicos (aunque no inconfundibles).

Los minerales esenciales incluyen: a) C, H, O, N y S (principales constituyentes de la materia orgánica), b) P, B y Si (esterificados con alcoholes en las plantas), c) K, Na, Mg, Ca, Mn y Cl (absorbidos como iones de la solución del suelo), y d) Fe, Cu, Zn y Mo (absorbidos como iones o quelatos). La adición más reciente al grupo de minerales esenciales es el níquel, involucrado en el metabolismo de la urea y de los ureidos, la absorción de hierro, la viabilidad de las semillas, la fijación de nitrógeno y el crecimiento reproductivo.

El diagnóstico del estado nutricional de las plantas se ha basado tradicionalmente en el análisis químico de suelos y tejidos vegetales. El desarrollo de métodos de diagnóstico basados en procesos fisiológicos (actividad enzimática o niveles de metabolitos secundarios), o en el muestreo de los fluidos de los tejidos vasculares está aún en su infancia. Algunas técnicas fisiológicas basadas en la inyección de fluidos han sido olvidadas o escasamente aplicadas en el diagnóstico y la corrección del estado nutricional de las plantas.

3. LAS HOJAS, REPRESENTANTES DEL ESTADO NUTRICIONAL DE LAS PLANTAS?

Las hojas y sus partes (peciolos, láminas, fluidos) representan la inversión de los recursos nutricionales de las plantas en procesos fisiológicos directamente ligados a las tasas de intercambio gaseoso (asimilación fotosintética del CO₂, transpiración). La composición química típica de la materia seca de una hoja puede ser: 60% carbohidratos, 25% proteínas, 5% lípidos y 10% minerales.

La demanda de nutrimentos por parte de las hojas cambia durante el ciclo de vida, y muestra una relación estrecha con la tasa y las características del crecimiento. La longevidad de las hojas está fuertemente determinada por el estado fisiológico de las plantas en el momento de su producción. La aplicación de nutrimentos en función de la demanda (una consecuencia del ciclo fenológico) debería constituir la base de la fertilización científica de los cultivos.

Por ejemplo, del total de nitrógeno de una hoja C3, solo el 23% es no-cloroplástico, 19% es invertido en la captura de luz, 26% en la fijación enzimática de CO₂, 23% en procesos biosintéticos y energéticos, y solo un 7% es nitrógeno estructural. Por lo tanto, la tasa fotosintética y su expresión final, el crecimiento de las plantas, es altamente dependiente de la concentración de nitrógeno en las hojas. Las especies C3 y C4 difieren sustancialmente en la respuesta de la fotosíntesis a la concentración de nitrógeno foliar.

Existe abundante evidencia de que las células parenquimáticas situadas a lo largo y en las terminaciones de los vasos del xilema, y de los tubos cribosos del floema (células compañeras) gobiernan la translocación de solutos en las venas, los peciolos, los tallos, y las raíces principales. Las variaciones en el metabolismo celular y en la organización intercelular del parénquima asociado a estos canales de translocación, conduce a diferentes estrategias de distribución del carbono y del nitrógeno, que a su vez parecen estar relacionadas con la forma de crecimiento y su ámbito de adaptación.

Desde el punto de vista del diagnóstico nutricional de las plantas, las hojas son de enorme utilidad. Por un lado, la relación entre el contenido de nutrimentos en los tejidos (foliares) y el rendimiento es clara. Representa el fundamento científico del análisis químico de los tejidos para diagnosticar el estado nutricional de las plantas, pero requiere de investigación previa para determinar la reacción del rendimiento ante cambios en la concentración de nutrimentos en los tejidos.

El significado fisiológico y la manipulación del "consumo de lujo" (almacenamiento de minerales) pueden ser explorados con el fin de manejar las reservas nutricionales de las plantas. Además de las láminas foliares, otros tejidos y órganos vegetales (peciolos, flores, semillas) han sido utilizados con éxito para diagnosticar el estado nutricional de las plantas con propósitos variados. Otros aspectos de la fisiología de las hojas pueden explotarse en nutrición mineral, principalmente las posibilidades de realizar diagnóstico bioquímico utilizando la actividad de algunas enzimas foliares o cambios en la concentración de metabolitos secundarios.

4. ¿CUÁL ES EL PAPEL DE LOS TALLOS EN LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS?

Los tallos constituyen la vía para el tráfico de minerales a larga distancia dentro de las plantas, tanto en el xilema como en el floema, de la raíz al follaje y viceversa. Los tallos representan a la vez un importante consumidor de recursos minerales para sustentar la producción de tejidos vasculares y accesorios, la actividad del cambium y el crecimiento expansivo en especies perennes, y el almacenamiento de reservas.

La composición química de la savia del xilema que ingresa al follaje puede indicar a las hojas el estado nutricional de los sumideros (las raíces) y de otras fuentes (el suelo), de manera que estas puedan coordinar la producción y exportación de asimilados en respuesta tanto a factores fisiológicos como edáficos. El análisis químico de la savia es un método de enorme potencial en el estudio del estado nutricional de las plantas. En leguminosas fijadoras de nitrógeno, finas técnicas fisiológicas ("sangrado" de las venas) y bioquímicas ("tracers") han sido utilizadas para delucidar la economía de carbono, nitrógeno, agua y otros minerales durante la ontogenia de varias especies de plantas.

Diversos métodos para la extracción rápida de savia y la determinación semicuantitativa de algunos minerales han sido desarrollados para otras plantas herbáceas (papa, tomate, pepino) con resultados variados. Sin embargo, estos avances técnicos no han sido ampliamente incorporados al manejo agronómico de la nutrición de las leguminosas y de las hortalizas. En especies perennes, los estudios pioneros con especies de clima templado (uva, manzana, pera) muestran marcadas variaciones estacionales en los requerimientos de minerales y en la composición química de la savia del xilema, relacionadas con cambios climáticos y fenológicos.

El tallo puede constituir un importante órgano de reserva (particularmente en especies perennes) de agua, minerales y compuestos orgánicos, movilizables durante periodos de estrés (déficit hídrico, defoliación, podas). El crecimiento secundario de las especies perennes representa una alta demanda de minerales, necesarios para la actividad del cambium. Una proporción importante de estos minerales es inmovilizada en el duramen (xilema no conductor) de los troncos y de las raíces.

5. RAÍCES GRUESAS Y RAÍCES FINAS, CÓMPLICES EN SUS RELACIONES CON LA PARTE AÉREA

Sin olvidar la intensa demanda fisiológica impuesta por las hojas y los tallos sobre los minerales esenciales, ni la importancia de los procesos de distribución de los mismos por parte de los tejidos vasculares, se puede decir que el proceso de nutrición mineral es fundamentalmente "responsabilidad" de los sistemas radicales de las plantas.

Las raíces son los órganos involucrados en la absorción de agua y minerales por excelencia. Sus atributos morfológicos y fisiológicos, expresados por ejemplo en su alta relación superficie/volumen y en la plasticidad de su arquitectura, determinan su éxito ecológico en el forrajeo de nutrientes y agua en un ambiente hostil y competitivo (el suelo), donde el abastecimiento de los recursos es limitado, local y variable.

Al igual que los tallos, las raíces pueden constituir un importante órgano para el

almacenamiento de agua, minerales y carbohidratos. Asimismo, señales químicas provenientes de la raíz, tanto de naturaleza hormonal como mineral, regulan las relaciones hídricas y el metabolismo de las hojas y de los tallos.

Las raíces gruesas y las raíces finas difieren en distribución, morfología, longevidad y funcionamiento. Las raíces gruesas y profundas garantizan el anclaje y extraen agua y minerales de horizontes más profundos del suelo. Constituyen además importantes reservorios de recursos. Las raíces finas son más efímeras y responden dinámicamente a los cambios en el ambiente del suelo y a las señales fisiológicas provenientes de la parte aérea. Las raíces finas se encuentran localizadas superficialmente en el perfil del suelo y se supone que absorben la mayor proporción del agua y los minerales requeridos por las plantas.

La rizosfera es el volumen de suelo afectado por la actividad de la raíz, y la complejidad y las propiedades de la misma varían longitudinalmente. Como se verá más adelante, el desarrollo de la rizosfera está íntimamente relacionado con el desarrollo de las raíces, y la continuidad entre el agua del suelo y el apoplasto de las raíces ya ha sido mencionada. La existencia de plantas en las que hasta el 50% del peso seco de la savia del xilema es mineral (un solo mineral en algunos casos) es el origen de los métodos modernos de "fitoextracción".

6. LA NUTRICIÓN MINERAL Y LA REPRODUCCIÓN: EFECTOS SOBRE LAS FLORES, LOS FRUTOS Y SUS SEMILLAS

Las estructuras reproductivas de las plantas cultivadas son frecuentemente cosechadas como "el rendimiento" de los cultivos. Las cosechas son el resultado de una compleja secuencia de procesos fisiológicos que se inicia con la diferenciación floral de algunas yemas en diversas partes de las plantas, según la especie. Todos los eventos fisiológicos y ambientales, resumidos en la historia fenológica previa de las plantas cultivadas, afectan la reproducción.

La diferenciación floral es seguida por el desarrollo "determinado" de las yemas reproductivas, el cual puede, o no, ser interrumpido por períodos de latencia de duración variable. El desarrollo continuo de las yemas o la ruptura de la latencia de las mismas culminan con la antesis de las flores, y con el despliegue de estructuras florales de limitada longevidad. Durante estos breves períodos de receptividad floral, las plantas deben asignar recursos para mantener la actividad de las flores y sus relaciones con los polinizadores (producción de néctar, pigmentos, perfumes volátiles, etc.) y para la iniciación del desarrollo de los frutos jóvenes (fotoasimilados, minerales, etc.).

El "cuaje" de los frutos es en gran medida dependiente de la actividad de las semillas que ellos mismos contienen. El posterior desarrollo de los frutos hasta culminar en la maduración exitosa, constituyen otra historia tan compleja como la del desarrollo de las flores. Ambos dependen de múltiples factores ambientales y fisiológicos tanto presentes (condiciones climáticas actuales) como pasados (nutrición mineral previa, historia fenológica).

En la actualidad y bajo condiciones tropicales, se desconocen:

- Las relaciones entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, especialmente de

- las especies perennes
- las señales fisiológicas y ambientales que controlan las etapas de la floración y la posible latencia de las yemas
- los patrones fenológicos del desarrollo de los frutos en relación con la variabilidad climática y fenológica inter-anual
- los controles fisiológicos que determinan la producción y el “éxito” de las flores y del desarrollo de los frutos
- el papel de las condiciones ambientales, especialmente de condiciones extremas (altas temperaturas, excesos de humedad) sobre el crecimiento vegetativo y la reproducción tanto de especies nativas como exóticas
- el papel de los nutrimentos esenciales en todo esto...

7. ABSORCIÓN FOLIAR DE SUSTANCIAS DE INTERÉS AGRÍCOLA

Aunque la importancia de la absorción foliar de agua a través de tricomas especializados es reconocida en algunas especies especialmente dentro de las Bromeliaceas (*Tillandsia*, la piña), la capacidad de las hojas de las plantas (cultivadas) para humedecerse y realizar absorción foliar de agua y solutos es aún debatida. La evidencia a favor de un papel de las hojas en la captura de agua y minerales es considerable, y los estudios agronómicos indican que las hojas pueden actuar como superficies para la absorción de fertilizantes foliares y muchos otros productos sistémicos. La efectividad varía con la especie y las sustancias involucradas, y la duración del proceso de absorción fluctúa en un amplio rango.

Contrario a la mayoría de las suposiciones, el grosor de la cutícula no parece ser el factor determinante de la permeabilidad de las hojas, ni parece estar relacionado con el régimen hídrico del ambiente. Los resultados más bien indican que la composición química de la cutícula es otra variable determinante de la absorción foliar de agua y de solutos. La morfología estomática, principalmente el recubrimiento de la cavidad subestomática por una cutícula interna, hace de los estomas un sitio de poca importancia para la absorción foliar de soluciones. Pocos surfactantes comerciales tienen la capacidad de reducir la tensión superficial de los líquidos depositados en la epidermis de las hojas, como para facilitar su penetración a través de los estomas. Los estudios fisiológicos de la absorción de sustancias por el follaje proveen la información necesaria para comprender:

- ¿Cuál es la estructura, la composición química, y el funcionamiento de las superficies de las hojas?
- ¿Cuáles son los mecanismos de absorción de sustancias por el follaje (plasmodesmos, transportadores, “imperfecciones” de la cutícula?)
- ¿Cuáles sustancias pueden ser absorbidas a través de las hojas (pesticidas de todo tipo, sustancias hormonales, fertilizantes orgánicos e inorgánicos, antritranspirantes)?
- ¿Cuáles son las vías de absorción involucradas (los estomas, la cutícula, las lenticelas, tricomas especializados)?
- ¿Cuál es el efecto del estado de las plantas y del ambiente (edad y “estado de

salud” de las plantas, estatus hídrico, contenido de agua del suelo y del aire, radiación)?

- ¿En cuáles cultivos es importante la absorción foliar de sustancias?
- ¿Qué puede hacerse para facilitar este proceso en situaciones agrícolas?

BIBLIOGRAFÍA

Anderson S.H.; Hopmans J.W. 1994. Tomography of soil-water-root processes. Madison, Wisconsin. ASA-SSSA Special Publication No. 36. 148 p.

Canny M.J. 1995. Apoplastic water and solute movement. New rules for an old space. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46:215-236.

McCully M. 1995. How do real roots work? *Plant Physiol.* 109:1-6.

Pate J.S.; Jeschke W.D. 1995. Role of stems in transport, storage and circulation of ions and metabolites by the whole plant. *In* *Plant Stems: physiology and functional morphology*. Ed. By B. Gartner. Academic Press. 440 p.

Schreiber L.; Riederer M. 1996. Ecophysiology of cuticular transpiration: comparative investigation of cuticular water permeability of plant species from different habitats. *Oecologia* 107:426-432.

Zimmerman U.; Meinzer F.C.; Benkert R.; Schneider H.; Goldstein G.; Kuchenbrod E.; Haase A. 1994. Xylem water transport is the available evidence consistent with the cohesion theory? *Plant, Cell and Env.* 17:1169-1181.

HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO PARA DEFINIR RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN FOLIAR

Rafael E. Salas, Ph.D.

1. INTRODUCCIÓN

El rendimiento de los cultivos está basado inicialmente en la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. Los suelos varían enormemente en una serie de propiedades que de una u otra forma, afectan el desarrollo y rendimiento del cultivo. Propiedades tales como tipo de arcilla, contenido de materia orgánica y de agua y propiedades físicas, etc., afectan la disponibilidad de elementos, mientras que el genoma de la planta, microorganismos, temperatura, agua y pH del suelo afectan la absorción de nutrimentos por la planta.

La adecuada nutrición mineral de un cultivo está influenciada por el conocimiento de los requerimientos de la planta y por la cantidad e intensidad de nutrimentos del suelo en donde se tiene el cultivo. Cuando el suelo no puede suplir adecuadamente los nutrimentos para un normal desarrollo de las plantas, se hace necesario su adición en las cantidades y formas apropiadas.

El diagnóstico de las necesidades nutricionales de las plantas es muy similar al diagnóstico de los humanos. El médico observa a su paciente, obtiene toda la información necesaria, realiza los exámenes correspondientes y diagnostica el caso. De igual manera el agricultor observa las plantas, recoge información de su manejo y realiza los análisis pertinentes. El éxito de su diagnóstico dependerá de los conocimientos fundamentales de la planta y del suelo y de la correcta interpretación de los resultados de los análisis.

2. FLUJO DE NUTRIMENTOS EN EL SISTEMA SUELO - PLANTA

El flujo de nutrimentos en el sistema suelo-planta está en función del ambiente, la planta, manejo, factores socioeconómicos, y esta gobernado por una serie de complejas interacciones entre las raíces de las plantas, microorganismos, reacciones químicas y diferentes vías de movimiento. La cantidad de nutrimentos en la planta depende de los procesos que se llevan a cabo en el suelo, lo que implica que cuando la disponibilidad excede a la demanda, varios procesos actúan para evitar dicho exceso. Dichos procesos incluyen transformaciones por microorganismos tales como nitrificación, desnitrificación, inmovilización, fijación, precipitación, hidrólisis, así como procesos físicos tales como lixiviación y volatilización (Shaviv y Mikkelsen 1993).

El movimiento de nutrimentos en la planta depende de la capacidad de absorción y de la demanda del nutrimento, de tal manera que este movimiento envuelve diferentes procesos metabólicos (Shaviv y Mikkelsen 1993) interconectados como son: la liberación del suelo a la solución del mismo, el transporte hacia las raíces para su absorción y la translocación y utilización dentro de la planta. El transporte de nutrimentos hacia la raíz, la absorción y translocación de los mismos ocurre simultáneamente; por esta razón, si se produce un cambio en uno de estos procesos se afectarán los demás. En otras palabras, si un proceso se vuelve lento, este será un factor limitante en la toma y translocación de nutrimentos en la planta.

Antes de mencionar los procesos involucrados en la absorción de nutrimentos vía foliar, es necesario recordar otros aspectos relacionados con la nutrición mineral de las plantas. En el proceso de absorción de nutrimentos por la planta, el primer paso es el transporte de estos hacia las raíces. El suministro de nutrimentos a las raíces está gobernado por la concentración y forma de estos en la solución del suelo, por la humedad del suelo y la capacidad de absorción de la planta. La cuantificación de nutrimentos en la vecindad del sistema radical es la mejor medida de la disponibilidad para absorción, sin embargo, factores dentro de la planta, así como la concentración de iones en la solución junto con las propiedades físico-químicas, pueden afectar el movimiento de nutrimentos del suelo a la planta (Russell 1977; Jungk 1991).

En el sistema suelo, los nutrimentos llegan a la raíz de la planta por flujo de masas, difusión e interceptación radical. El flujo de masas es el transporte pasivo de nutrimentos hacia la raíz mediante el agua que la planta absorbe. La cantidad de nutrimentos que llegan a la raíz mediante este proceso, depende de la concentración de los mismos en la solución del suelo y de la proporción de agua que llega y circule en la raíz. El suministro de nutrimentos por flujo de masas es afectado por las propiedades del suelo, condiciones climáticas, forma y solubilidad de los nutrimentos y por la especie de planta. La cantidad de nutrimento en la solución del suelo cercana a la raíz, puede aumentar, mantenerse o disminuir dependiendo del balance entre la cantidad que se supe a la raíz por flujo de masas y la cantidad que se absorbe por la raíz (Barber 1995).

El proceso de difusión se refiere al movimiento de nutrimentos de una zona de alta concentración, a una de baja concentración. Cuando el suministro de nutrimentos a la rizosfera por medio de flujo de masas o interceptación radical, no es suficiente para satisfacer la demanda de la planta, se desarrolla un gradiente de concentración y los nutrimentos se mueven por difusión. En la descripción del proceso de difusión se ha empleado el coeficiente de difusión, que se aplica para medios homogéneos. Sin embargo, al ser el suelo un medio heterogéneo, este coeficiente presenta ciertas dificultades (Barber 1974; Mengel 1985). La distancia de movimiento de los nutrimentos por difusión del suelo a la raíz, se encuentra en un ámbito de 0,1 a 15 mm (Barber 1974). Por esta razón, solo los nutrimentos que se encuentren entre esas distancias, pueden suplir nutrimentos a la raíz por difusión. Coeficientes de difusión para algunos iones en la solución del suelo se presentan en la tabla 1. Como se puede observar en esta tabla, el fósforo presenta el coeficiente de difusión más bajo. Cuando un nutrimento en la solución del suelo se diluye y su coeficiente de difusión es bajo, su concentración en la superficie de la raíz disminuye muy rápidamente y puede llegar hasta cero, si la demanda por la planta es muy alta.

La interceptación radical se produce cuando el sistema radical crece entrando en directo contacto con el suelo. Este proceso de obtención de nutrimentos por las plantas, depende del volumen de suelo ocupado por el sistema radical, del tipo de raíces presentes y de la concentración de nutrimentos en ese volumen de suelo. La cantidad de raíces presentes por unidad de volumen de suelo, puede ser medida en términos de área de superficie radical, longitud de sistema radical o volumen de raíz. La superficie radical disponible para absorción de iones está en función del área superficial radical y la densidad radical varía con

las propiedades físico-químicas del suelo, especie de plantas, y con las prácticas de manejo del cultivo.

Cuadro 1. Coeficientes de difusión para algunos iones en la solución del suelo

IÓN	DIFUSIÓN (cm ² s ⁻¹)
NO ₃ ⁻	1 x 10 ⁻⁶
NO ₃ ⁻	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁷
NH ₄ ⁺	1,4 x 10 ⁻⁶
H ₂ PO ₄ ⁻	10,8 – 10 ⁻¹¹
H ₂ PO ₄ ⁻	2,4 x 10 ⁻¹¹
K ⁺	1,4 x 10 ⁻⁶
K ⁺	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁸
K ⁺	2,1 – 9,5 x 10 ⁻⁷
Ca ²⁺	0,9 – 4,0 x 10 ⁻⁷
Ca ²⁺	3 x 10 ⁻⁷
Mg ²⁺	0,6 – 11,5 x 10 ⁻⁷
Cl ⁻	1,2 x 10 ⁻⁶
MoO ₄ ²⁻	0,5 – 8,4 x 10 ⁻⁷

Tomado de Maschner 1995

En promedio, en la mayoría de los cultivos agrícolas importantes, el volumen de suelo ocupado por el sistema radical oscila entre 0,7 y 0,9% y el nutrimento que mayoritariamente absorbe la planta mediante este mecanismo es el calcio, aún cuando este proceso le permite también obtener una cantidad significativa de toda la demanda de magnesio, zinc, y manganeso. A manera de ejemplo, Barber en 1966 y 1974, estimó algunas cantidades de nutrimentos que se absorben vía flujo de masas, difusión e interceptación radical en raíces de maíz cultivado en un suelo Alfisol, las cuales se presentan en la tabla 2.

3. MOVIMIENTO DE NUTRIMENTOS EN LA PLANTA

Existe una gran cantidad de información referente a los aspectos fisiológicos de función, regulación y sistema de transporte de nutrimentos en la planta (Maschner 1995). Una vez absorbidos por las raíces y translocados por medio del xilema a la parte aérea de la planta, los nutrimentos pueden ser transferidos al floema o depositados en la raíz o células de las hojas (Jeschke *et al.* 1985).

Para cada nutrimento el patrón de distribución, la proporción y extensión del reciclaje y removilización varía enormemente con el nutrimento, las condiciones ambientales, el estado nutricional de la planta, la especie y el estado de desarrollo. En especies anuales, la partición y removilización de nutrimentos está muy relacionado con los rápidos cambios en desarrollo que ocurren durante el ciclo de vida de la planta. En especies perennes también, la absorción, partición, almacenamiento y movilización están muy relacionados con los diferentes estados fenológicos de la planta. Esta masiva movilización de nutrimentos en las

plantas nos indica que partición y movilización juegan un papel muy importante en la relación entre concentración de nutrimentos y crecimiento.

Cuadro 2. Cantidades estimadas de nutrimentos absorbidos por las raíces de maíz en un suelo Alfisol

Nutrimento	Cantidad aproximada (% del total absorbido)		
	Flujo de masa	Difusión	Intercepción radicular
Nitrógeno	79	20	1
Fósforo	5	93	2
Potasio	18	80	2
Calcio	375	0	150
Magnesio	222	0	33
Sulfuro	295	0	5
Hierro	66	21	13
Zinc	230	0	43
Manganeso	22	35	43
Cobre	219	0	6
Boro	1000	29	29

Los nutrimentos depositados en tejidos y órganos pueden ser removilizados y transportados a otras partes de la planta. Removilización en la planta de partes maduras a jóvenes durante el desarrollo o en situaciones de estrés produce cambios en la concentración de nutrimentos en particular en las hojas impactando fuertemente la expresión del sintoma de deficiencia y la relación entre concentración de nutrimento con crecimiento y rendimiento de la planta. La movilización de nutrimentos en el xilema es muy amplia y libre, mientras que en el floema es más restringida.

Los nutrimentos han sido caracterizados por tener alto, bajo o intermedio movimiento en el floema, lo cual ha sido determinado claramente por medio del empleo de isótopos. Los elementos que son muy móviles en el floema desde las hojas son el nitrógeno, fósforo, potasio y en menor proporción el magnesio. Altas concentraciones de estos elementos se han encontrado en extractos del floema circulando por la planta; cuando la disponibilidad de estos elementos disminuye, las hojas más jóvenes retienen su circulación a expensas de las hojas más viejas, produciendo con ello una disminución en concentración y la aparición de las deficiencias en las hojas viejas (Maschner 1995).

Elementos como el calcio, boro, manganeso y hierro, son prácticamente inmóviles en el floema desde las hojas. Cuando el suministro desde la raíz de estos elementos disminuye, su contenido disminuye en las hojas jóvenes, mientras que en las hojas viejas e incluso las senescentes, la concentración se mantiene alta. La poca movilidad del calcio y del boro en el floema se atribuye a la poca concentración de estos elementos en los jugos del floema, la aparición de la deficiencia de calcio y boro en las hojas jóvenes, es independiente del contenido total en la planta y generalmente se produce tan pronto como el suministro externo es inadecuado (Haynes y Robbins 1947). Este fenómeno ha sido demostrado por

Oertli (1993), quien al transferir plantas de tomate de una solución de alta concentración de boro a otra sin boro, las plantas desarrollaron los síntomas de deficiencia en las hojas jóvenes, mientras que las hojas viejas mantuvieron su concentración y apreciables cantidades de boro se perdieron por efecto de la gutación (Kohl y Oertli 1961; Nable *et al.* 1990). Brown y Hu (1993) y Hu y Brown (1994), indican que el boro retenido en las células de las plantas está confinado y fuertemente unido a compuestos péctidos de la pared celular. En contraste con la inmovilidad del boro en el floema en la mayoría de las especies, existen otras del género *Malus*, *Prunus* y *Pyrus*, en donde el boro es móvil en el floema (Hanson 1991a, 1991b), Brown y Hu (1996) indican que la movilidad del boro en esas especies está relacionada con la presencia del sorbitol que es el principal fotosintato que es translocado, y el boro forma complejos con ese compuesto.

El manganeso tiene una movilidad en el floema similar a la del calcio y además, se ha reportado que aplicaciones foliares con este micronutriente son efectivas por poco tiempo (Gettier *et al.* 1985). Aún cuando no se tienen pruebas contundentes sobre la movilidad del hierro, la rápida aparición de su deficiencia en hojas jóvenes de plantas creciendo en sustratos bajos en hierro, sugieren que el hierro es poco móvil en el floema.

Otros elementos como el azufre, cobre y zinc, tienen una movilidad variable en el floema desde las hojas y Hill (1980) indica que la retención y movimiento de estos elementos está relacionada con el movimiento del nitrógeno. Finalmente el movimiento vía floema desde las hojas de elementos como molibdeno, cobalto y níquel ha recibido poco estudio por lo que es poco confiable colocarlos a ellos en cualquiera de los tres grupos anteriormente comentados. Sin embargo, Gupta y Lipsett (1981) reportan que aplicaciones foliares de molibdeno han permitido corregir deficiencia en varias especies y que en maní incluso aumentó la concentración en las semillas, indicando con ello que el molibdeno tiene una alta movilidad en el floema desde las hojas.

4. ABSORCIÓN FOLIAR DE NUTRIMENTOS

La penetración de nutrientes en la superficie de las hojas y demás partes aéreas de las plantas está regulada por las células epidermales de las paredes externas de las hojas. Estas paredes están cubiertas por una capa de ceras, pectinas, hemicelulosa y celulosa que protegen a la hoja de una excesiva pérdida de solutos orgánicos e inorgánicos por la lluvia. Esta capa cuticular actúa como un débil intercambiador catiónico producto de la carga negativa atribuida a las sustancias péctidas y a los polímeros de cutina no esterificados. Una gradiente de carga se produce en esta capa cuticular de la parte externa hacia el interior de pared, permitiendo la penetración de iones a lo largo de la gradiente, favoreciendo la efectividad de aplicación foliar y controlando las pérdidas por lixiviación (Yamada *et al.* 1964).

La penetración de nutrientes a través de la hoja es afectada por factores externos tales como la concentración del producto, la valencia del elemento, el o los nutrientes involucrados, el ión acompañante, las condiciones tecnológicas de la aplicación y de factores ambientales tales como temperatura, humedad relativa, precipitación y viento. Así como también, por factores internos como la actividad metabólica. El grosor de la capa

cuticular varía enormemente entre especies de plantas y es también afectado por factores ambientales, tal es el caso de comparar plantas que crecen a la sombra con aquellas a plena luz (Takeoka *et al.* 1983 citado por Maschner 1995).

La proporción de penetración de un nutrimento a través de la hoja también depende del estado nutricional de la planta tal como se ilustra en el Cuadro 3. Además, la capacidad de absorción por la hoja disminuye con la edad de la misma, debido a una disminución en la actividad metabólica, a un incremento en la permeabilidad de la membrana y a un aumento en el grosor de la cutícula.

Cuadro 3. Absorción foliar y translocación de fósforo marcado en plantas de cebada

	Rango de absorción y translocación ($\mu\text{mol P/g}$ hoja seca)	
	Plantas control	Plantas con deficiencia de P
Absorción en hojas tratadas	5,29 \pm 0,54	9,92 \pm 2,17
Translocación desde hoja tratada	2,00 \pm 0,25	5,96 \pm 1,08
Translocación a raíces	0,63 \pm 0,04	4,38 \pm 0,42

Tomado de Maschner 1995

La toma de nutrimentos por la hoja es también afectada por la luz; durante el día, conforme aumenta la temperatura ambiente se produce una disminución en la humedad relativa lo que produce una evaporación más rápida del agua y el secado de la solución que se aplica foliarmente. Además, en pruebas de aplicación de sales de magnesio en hojas de manzana realizadas en períodos de luz y de oscuridad, Allen (1960) reporta que la absorción de magnesio estuvo más afectada por las diferencias en solubilidad y condición higroscópica de las sales [$\text{MgCl}_2 \gg \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 > \text{MgSO}_4$] que por efecto de la luz.

5. FERTILIZACIÓN FOLIAR

Las plantas pueden fertilizarse suplementariamente a través de las hojas mediante aplicaciones de sales solubles en agua, de una manera más rápida que por el método de aplicación al suelo. Los nutrimentos penetran en las hojas a través de los estomas que se encuentran en el haz o envés de las hojas y también a través de espacios submicroscópicos denominados ectodesmos en las hojas y al dilatarse la cutícula de las hojas se producen espacios vacíos que permiten la penetración de nutrimentos.

Los nutrimentos se absorben por el follaje con una velocidad notablemente diferente. El nitrógeno se destaca por su rapidez de absorción necesitando de 0,5 a 2 horas para que el 50% de lo aplicado penetre en la planta. Los demás elementos requieren tiempos diferentes y se destaca el fósforo por su lenta absorción, requiriendo hasta 10 días para que el 50% sea absorbido. En el Cuadro 4, se detallan tiempos de absorción de algunos nutrimentos importantes.

Una vez que se ha realizado la absorción, las sustancias nutritivas se mueven dentro de la planta utilizando varias vías: a) la corriente de transpiración vía xilema, b) las paredes celulares, c) el floema y otras células vivas y d) los espacios intercelulares. La principal vía de translocación de nutrimentos 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 se inicia desde la hoja donde se absorben y sintetizan los compuestos orgánicos, hacia los lugares donde se utilizan o almacenan dichos compuestos. En consecuencia, las soluciones aplicadas al follaje no se moverán hacia otras estructuras de la planta hasta tanto no se produzca movimiento de sustancias orgánicas producto de la fotosíntesis.

Cuadro 4. Velocidad de absorción foliar

Nutrimento	Tiempo para que se absorba el 50% del producto
N (urea)	0,5 – 2 h
P	5-10 días
K	10-24 h
Ca	1-2 días
Mg	2-5 h
S	8 días
Mn	1-2 días
Zn	1-2 días
Mo	10-20 días
Fe	10-20 días

Tomado de Bertsch, 1995

La fertilización foliar por lo general se realiza para corregir deficiencias de elementos menores. En el caso de macronutrimentos tales como el nitrógeno, fósforo y el potasio, se reconoce que la fertilización foliar solo puede complementar, pero en ningún momento sustituir la fertilización al suelo. Esto se debe a que las dosis a aplicar vía foliar son muy pequeñas en comparación con las dosis aplicadas al suelo para obtener buenos rendimientos.

En el Cuadro 5, se detallan algunas tolerancias de concentraciones de fertilizaciones foliares. Aún cuando la fertilización foliar es complementaria, existen condiciones bajo las cuales la fertilización permite obtener buenos resultados agronómicos. Estas situaciones especiales son aquellas que resultan en limitantes para la nutrición mineral de la planta debido a problemas del sistema radical. La sequía es la primera de ellas y se produce cuando el suministro de agua es deficiente, afectando la alimentación radicular y produciendo trastornos severos en el desarrollo vegetal. Bajo esta situación, la absorción radical de nutrimentos es limitado y será necesario utilizar entre tanto, la vía foliar.

Contrario a la falta de agua, el exceso o encharcamiento produce poca disponibilidad de oxígeno en el medio radicular inhibiendo de forma inmediata la absorción de agua y nutrimentos por la planta, siendo la fertilización foliar una alternativa para nutrir a la planta. Las aplicaciones de pesticidas tales como herbicidas, insecticidas, nematocidas o fungicidas,

producen inicialmente un efecto esterilizante en el suelo, disminuyendo la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio principalmente en estados iniciales de desarrollo del cultivo. La aplicación de nutrimentos vía foliar, en particular de nitrógeno, permitirá restaurar el adecuado balance nutricional en la planta.

Cuadro 5. Tolerancia de concentración de nutrimentos en aplicaciones foliares

Nutrimento	Fertilizante	Kg/400 L agua (*)
Nitrógeno	Urea	3-5
	NH ₄ NO ₃ , (NH ₄) ₂ HPO ₄ , (NH ₄) ₂ SO ₄	2-3
	NH ₄ Cl, NH ₄ H ₂ PO ₄	2-3
Fósforo	H ₃ PO ₄ , otros (ver N)	1,5 – 2,5
Potasio	KNO ₃ , K ₂ SO ₄ , KCl	3-5
Calcio	CaCl ₂ , Ca(NO ₃) ₂	3-6
Magnesio	MgSO ₄ , Mg(NO ₃) ₂	3-12
Hierro	FeSO ₄	2-12
Manganeso	MnSO ₄	2-3
Zinc	ZnSO ₄	1,5-2,5
Boro	Sodio borato	0,25-1
Molibdeno	Sodio molibdeno	0,1-0,15

(*) 400 L, cantidad suficiente para 1 ha de cultivo.

Tomado de Fageria, *et al.* 1997

Los daños causados por heladas son por lo general la pérdida de follaje, las aplicaciones de nitrógeno ayudan a restaurar el área foliar afectada y se ha indicado que el potasio aplicado foliarmente en forma preventiva, puede atenuar los daños por el frío. La salinidad de los suelos es otro factor que afecta la absorción de agua nutrimentos por la planta. Las sales aumentan la succión osmótica de la humedad del suelo, lo cual aumenta la retención de agua en el suelo, y como consecuencia afecta el movimiento de nutrimentos del suelo a la planta.

Por otra parte, altas concentraciones de sodio provocan el bloqueo de la absorción de cationes importantes tales como el calcio, magnesio y potasio. Por esta razón, el uso de fertilizantes al suelo puede restringirse y la fertilización foliar puede ser una alternativa beneficiosa. Los desbalances entre cationes y aniones en el suelo, pueden provocar deficiencia de alguno de ellos en la planta y la fertilización foliar puede constituirse en una herramienta efectiva para complementar la falta de ese nutrimento.

Un pobre desarrollo radical producto de problemas por toxicidad de aluminio, por compactación de suelo o por un nivel freático muy alto, son otros de los factores que afectan la absorción de nutrimentos por la planta y convierten a la fertilización foliar en un medio importante para complementar la nutrición mineral de los cultivos.

6. HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO

La fertilización foliar se utiliza como suplemento a una adecuada fertilización al suelo; indudablemente cualquier programa de fertilización o suplemento de fertilización debe estar basado en análisis que justifiquen su aplicación. Estos análisis pueden ser:

- 1- Análisis visual de síntomas de nutrimentos en la planta
- 2- Análisis de tejidos o extractos de plantas
- 3- Análisis de suelo o sustrato

Los síntomas de deficiencias nutricionales pueden presentarse de diferentes maneras en las plantas: Algunas veces no se presentan decoloraciones del follaje, pero el crecimiento inicial es muy pobre; en otras, los síntomas aparecen solo en ciertas etapas fenológicas del cultivo. La presencia de anomalías pueden ser producto de una deficiencia nutricional o en algunos casos como consecuencia de bloqueos en los conductos vasculares de la planta y finalmente, sin la presencia clara de la deficiencia, el bajo rendimiento del cultivo, puede ser producto de una deficiencia oculta durante el desarrollo de la planta.

Los análisis de planta pueden ser de dos tipos. Uno es el análisis de savia en tejidos frescos que generalmente se realiza en el campo. El otro lo constituye el análisis químico total que se realiza en los laboratorios. El análisis de savia en tejidos frescos de plantas ha tomado importancia en la evaluación del estado nutricional por nitrógeno, fósforo y potasio.

Es un método semicuantitativo que pretende verificar o predecir la deficiencia de un nutrimento en el momento de la prueba, y los resultados se reportan como muy bajo, bajo, medio o alto, permitiendo en cierta forma pronosticar problemas nutricionales, mientras la planta está en el campo. En este análisis es muy importante indicar la parte de la planta que se utiliza en el análisis, así como también el estado fisiológico de la planta. Además, se deben considerar otros aspectos como condición de suelo (aireación y humedad), incidencia de plagas o enfermedades, condiciones climáticas, hora del día y rendimiento esperado.

El análisis total de nutrimentos se realiza con la planta entera o con partes de la misma. El objetivo del análisis es cuantificar analíticamente el contenido de nutrimentos en el tejido analizado después de haber sido secado, molido y digerido. Al igual que el análisis de savia, la selección de la parte de la planta a analizar es muy importante y por lo general, se seleccionan tejidos fisiológicamente maduros. La interpretación de los resultados de análisis de totales, se realizan generalmente basados en contenidos de plantas con altos rendimientos y permiten establecer el conocido nivel crítico de un nutrimento.

El análisis de suelo es otra herramienta importante para conocer la disponibilidad de nutrimentos y mide parte de la cantidad total de un elemento en el suelo. Además, el análisis de suelo tiene la ventaja sobre el análisis foliar, en que permite conocer las necesidades del suelo antes de establecer el cultivo. Por ser el análisis del suelo una determinación de la cantidad parcial de un nutrimento en el suelo, la selección de la solución extractora es muy importante y debe estar debidamente calibrada y correlacionada para los diferentes órdenes de suelo.

En la interpretación de los análisis de suelo una vez tomada en consideración la solución extractora empleada, se han seguido dos filosofías de interpretación. La primera se refiere al concepto de “Nivel de suficiencia de elemento disponible”, este concepto se basa en el hecho de que se debe agregar solo el elemento que se encuentra deficiente en una cantidad suficiente para un máximo rendimiento McLean (1977). La segunda filosofía es la “Relación básica de saturación de cationes”, propuesta por Bear *et al.* en 1945, y que establece que desde el punto de vista de fertilidad de suelos, en la capacidad de intercambio de cationes una buena relación entre cationes comprende 65% de Ca, 10% de Mg, 5% de K y 20% de H. Posteriormente Graham (1959) modifica el concepto indicando que no son porcentajes individuales, sino ámbitos de relaciones estableciendo 65 a 85% para el Ca, 6 a 12% de Mg, y de 2 a 5% de K, con H ocupando el resto de capacidad de intercambio catiónico. Sin embargo, estos dos conceptos han tenido muchos cuestionamientos, dado que en algunos tipos de suelos llegar a una relación apropiada, requiere de la adición de grandes cantidades de un elemento, lo que nuevamente nos lleva a evaluar muy bien la solución extractora a utilizar.

En la interpretación de los análisis foliares, uno de los problemas en la interpretación de los mismos es el balance que existe entre nutrimentos en la planta. La dinámica en la composición nutricional de una planta impone severas limitaciones en el uso de los análisis foliares con fines de diagnóstico (Bates 1971). Los sistemas de nivel crítico y/o suficiencia han sido establecidos y estandarizados para un estado fenológico determinado de la planta. Sin embargo, a veces las épocas de muestreo se realizan muy tarde en el estado de desarrollo de la planta, para que cambios en la fertilización puedan corregir problemas nutricionales. Por esta razón, lo ideal sería tener disponibles valores estándar de concentración foliar de nutrimentos para un amplio número de cultivos y en diferentes estados de crecimiento (curvas de absorción), lo que conlleva a establecer apropiadamente el estado de desarrollo de la planta en el campo y también a correlacionar ese estado, con los análisis respectivos en el laboratorio.

Una alternativa a este problema fue sugerida por Beaufils (1973) quien establece el “Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación” (DRIS) por sus siglas en inglés, que considera que la relación entre nutrimentos es menos afectada por la edad de la planta que cuando se considera la concentración individual basada en peso seco. El sistema DRIS se basa en una gran cantidad de observaciones de concentración de nutrimentos y rendimientos para obtener adecuados estimados de medias y varianza de ciertas relaciones entre nutrimentos que discriminan poblaciones de altos y bajos rendimientos. Para establecer el sistema DRIS, se deben establecer algunos requerimientos tales como: 1) la diferencia en rendimientos se debe principalmente a factores nutricionales y no a factores de suelo o clima, 2) se deben establecer normas calibradas para cada cultivo y 3) las recomendaciones se realizan basadas en las normas DRIS para una condición en particular.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen M. 1960. The uptake of Metallic ions by leaves of apple trees. II. The influence of certain anions on uptake from magnesium salts. *J. Hortic. Sci.* 35, 127-135.
- Barber S.A. 1966. The role of root interception, mass flow and diffusion in regulating the uptake of ions by plants from soils. *Tech. Rep. Ser. Int. Atomic Energy Agency*, No. 65, pp. 39-45.
- Barber S.A. 1974. Influence of the plant root on ion movement in soil, pp. 525-564. *In* E.W. Carson (ed.). *The plant root and its environment*. University Press of Virginia, Charlottesville.
- Barber S.A. 1995. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. 2nd Ed. Wiley, New York.
- Bates T.E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil Sci.* 112:116-130.
- Bear F.E., A.L. Prince, J.L. Malcolm. 1945. Potassium needs of New Jersey soils. *N.J. Agric. Exp. Stn. Bull.* 721.
- Beaufils E.R. 1971. Physiological diagnosis—A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fertil. Soc. S. Afr. J.* 1:1-28.
- Beaufils E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science Bull.* No. 1, University of Natal, S. Africa.
- Bertsch F. 1995. *La fertilidad de suelos y su manejo*. 1ra ed. ACCS. San José, Costa Rica.
- Brown P.H., Hu H. 1993. Boron uptake in sunflower, squash and cultured tobacco cells—studies with stable isotope and ICP-MS. In 'Plant Nutrition—from Genetic Engineering to Field Practice' (Ed. N.J. Barrow) pp. 161-164. (Developments in Plant and Soil Sciences 54. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht).
- Fageria N.K., Baligar V.C., Jones C.A. 1997. *Growth and mineral nutrition of field crops*. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A.
- Gettier S.W., Martens D.C., Brumback Jr. T.B. 1985. Timing of foliar manganese application for correction of manganese deficiency in soybean. *Agron. J.* 77:627-630.
- Graham E.R. 1959. An explanation of theory and methods of soil testing. *Mo. Agric. Exp. Stn. Bull.* 734.
- Gupta U.C., Lipsett J. 1981. Molybdenum in soils, plants and animals. *Adv. Agron.* 34:73-115.
- Hanson E.J. 1991a. Movement of boron out of tree fruit leaves. *HortScience* 26:271-273.
- Hanson E.J. 1991b. Sour cherry trees respond to foliar boron applications. *HortScience* 26:1142-1145.
- Haynes J.L., Robins W.R. 1947. Calcium and boron as essential factors in the root environment. *J. Amer. Soc. Agron.* 40:795-803.

- Hill J. 1980. The remobilization of nutrients from leaves. *J. Plant Nutr.* 2:407-444.
- Hu H., Brown P.H. 1994. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectins. *Plant Physiol.* 105:681-689.
- Jeschke W.D., Atkins C.A., Pate J.S. 1985. Ion circulation via phloem and xylem between root and shoot of nodulated white lupin. *J. Plant Physiol.* 117:319-330.
- Jungk A.O. 1991. Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface, pp. 455-481. *In: Y. Waisel, A. Eshel, and U. Kafkafi (eds.). Plant roots: The hidden half.* Marcel Dekker, New York.
- Kohl H.C., Oertli J.J. 1961. Distribution of boron in leaves. *Plant Physiol.* 36:420-424.
- McLean E.O. 1977. Fertilizer and lime recommendations based on soil tests: good, but could they be better?. *In: Soil Sc. and Plant Analysis* 8(6):441-464.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Mengel K. 1985. Dynamics and availability of major nutrients in soil. *Adv. Soil Sci.* 2:65-131.
- Nable R.O., Paull J.G., Cartwright B. 1990. Problems associated with the use of foliar analysis for diagnosing boron toxicity in barley. *Plant Soil* 128:225-232.
- Neumann P.M., Ehrenreich Y., Golab Z. 1983. Foliar fertilizer damage to corn leaves: relation to cuticular penetration. *Agron. J.* 73, 979-982.
- Oertli J.J. 1993. The mobility of boron in plants. *Plant Soil* 155/56:301-304.
- Russell R.S. 1977. The soil environment, pp. 143-168. *In: Plant root systems.* McGraw-Hill, London.
- Shaviv A., R.L. Mikkelsen. 1993. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation—a review. *Fert. Res.* 35:1-12.
- Yamada Y., Bukovac M.J., Wittwer S.H. 1964. Ion binding by surfaces of isolated cuticular membrane. *Plant Physiol.* 39, 978-982.

FERTILIZACIÓN FOLIAR: PRINCIPIOS Y APLICACIONES

Álvaro Segura, M.Sc.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas acuáticas no presentan una diferenciación anatómica de funciones como lo presentan las especies terrestres, por esta razón la absorción de agua, dióxido de carbono, oxígeno y sales inorgánicas pueden ser absorbidos por todos los órganos de las plantas en el caso de las especies acuáticas. Es decir, que las plantas terrestres presentan una diferenciada e integrada relación de funciones que les permite a las raíces suministrar anclaje, agua y nutrimentos a la parte aérea de las plantas y a su vez las partes aéreas tienen la función de interceptar luz e intercambiar oxígeno y dióxido de carbono para abastecer las necesidades energéticas de la planta como un todo. A través de su evolución, las raíces de las plantas terrestres perdieron la habilidad de reducir carbono, sin embargo las hojas nunca perdieron su capacidad ancestral de absorber agua y nutrimentos, lo cual constituye una gran ventaja para la agricultura.

El propósito de este documento es el de discutir algunos elementos que deben ser considerados para optimizar las bondades de la fertilización foliar.

2. FACTORES QUE AFECTAN LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

a. Asociados con la planta

La presencia de tricomas, pelos o pubescencias superficiales en las hojas y frutos aumentan la absorción de solutos debido a dos factores diferentes, primero al aumentar la superficie de contacto del líquido por la reducción de la tensión superficial, como resultado de una fragmentación del tamaño de las gotas en contacto con las hojas y segundo debido a que en la base de estas estructuras el espesor de las cutículas es menor.

Todo factor que modifique la conformación y espesor de la membrana cuticular tiene un efecto directo sobre la permeabilidad de las mismas, así, con el incremento de la edad de las hojas (Figura 1) la exposición a la radiación solar y de las tensiones hídricas provocadas por la deshidratación, tiene un efecto directo en el aumento del espesor de las cutículas y en una reducción de la permeabilidad de las mismas. Por otro lado, cuanto mayor sea la complejidad y grado de insaturación de las ceras y cutinas de la cutícula, menor será el grado de permeabilidad a compuestos iónicos. No existe información convincente que demuestre con propiedad la posibilidad de que pueda haber absorción de nutrimentos vía estomas, toda vez que las cámaras subestomáticas se encuentran sometidas a una alta presión hidrostática durante la transpiración, por esta razón tendría que reducirse fuertemente la tensión superficial y aumentarse la presión de aplicación para vencer estas barreras. Sin embargo, el hecho de que la concentración de ectocitos es muy alta en las cercanías de los estomas y de que estas estructuras están asociadas con el paso de solutos a través de las paredes celulares, ha permitido la especulación de que es vía estomas como ocurre la penetración de solutos. Sobre este mismo aspecto es importante recordar que la

concentración de estomas es mayor en las superficies abaxiales de la mayoría de las especies y por ello la absorción a través de estas debería ser más eficiente (Cuadro 1).

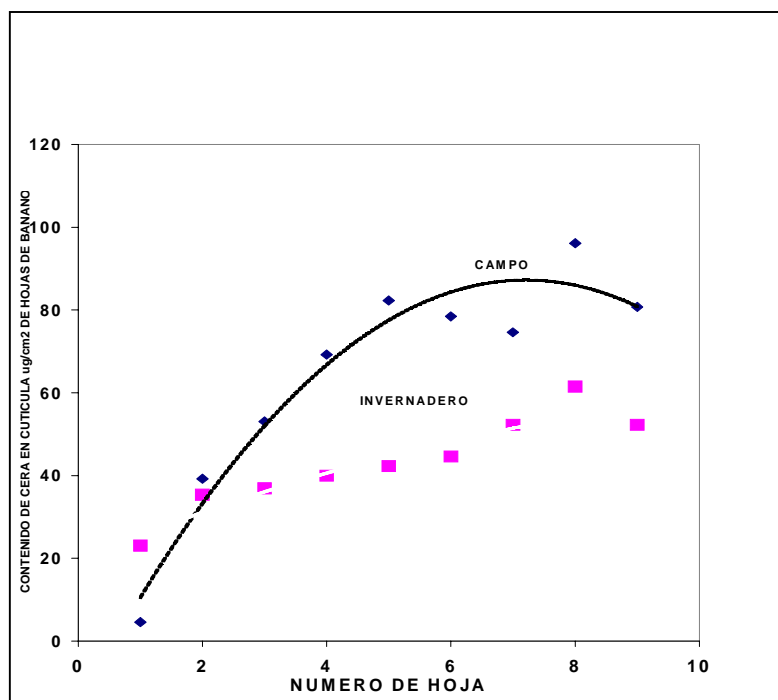


Figura 1. Efecto de la edad de las hojas sobre el contenido de cera de las hojas de banano (Freeman y Turner, 1985)

Cuadro 1. Caracterización del número de estomas en hojas de banano var Valery, en dos estaciones del año en la zona atlántica de Costa Rica

Superficie	Número de estomas mm ⁻²	
	Noviembre a Abril	Mayo a Octubre
Adaxial	17	20
Abaxial	104	114
Relación	1:6	1:6

Tomado de Flores, *et al* 1985.

El estado nutricional, la condición metabólica y fenológica de la planta son factores de mucha importancia a ser considerados cuando se trata de fertilización en forma foliar. Las plantas tienen un sistema de control que les permite reducir o detener la absorción de un determinado nutrimento cuando este se encuentra en un nivel adecuado en la planta, así por ejemplo en el caso del nitrógeno en forma de nitrato, el mecanismo que controla su absorción por parte de las raíces y hojas es justamente la capacidad de la misma de reducirlo, ya sea en la parte aérea o radicular, de tal manera que cuando el estado nutricional de nitrógeno es adecuado se reduce la absorción de nitratos.

En general, el proceso de absorción de nutrimentos ocurre a través de inversión de energía metabólica y por tanto dependiendo del estado fenológico del cultivo y del nutrimento en particular, podría darse el caso de que la respuesta a su aplicación dependa de condiciones muy particulares de la planta y por ello sea necesario conocer la curva de exportación de nutrimentos a las diferentes secciones de las plantas y así definir con propiedad un programa de fertilización integrado donde se incluya la fertilización vía foliar. Por otro lado, en presencia de venenos metabólicos y en ausencia de luz se afecta notablemente la absorción foliar de nutrimentos (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Efecto de la luz y de un desacoplante de la respiración sobre la absorción foliar de potasio en segmentos de hojas de maíz

Tratamientos	Absorción de potasio (um g ⁻¹ MF h ⁻¹)	
	Sin luz	Con luz
Testigo		
2,4D (10-5 M)	0,2	2,0
Porcentaje de inhibición	91	46

Tomado de Rains, 1968

Cuadro 3. Efecto de la exposición a la luz sobre la absorción foliar de zinc en plantas de café

Tratamientos	Porcentaje de absorción de Zn ⁶⁵ (tiempo después de aplicado, min)				
	0	15	30	45	60
Sin luz	0	16	29	38	41
Con luz	0	36	64	83	91

Tomado de Blanco, 1970

b. Asociados con el ambiente

Con el aumento de la temperatura hasta ciertos límites se incrementa la absorción de nutrimentos, situación que puede ser atribuida a una menor fluidez en la matriz de las cutículas y a un incremento en la tasa de difusión de solutos a través de ella (Cuadro 4), según lo define la ecuación de Stoke:

$$F = \frac{KT}{RNXE} (C_e - C_i)$$

Donde:

F: flujo a través de la cutícula

K_b : Constante de Boltzman

T: temperatura

R: radio iónico

N: viscosidad del solvente

X: grosor de la cutícula

E: turtuosidad

($C_e - C_i$): gradiente de concentración

Cuadro 4. Efecto de la temperatura sobre la absorción de fósforo en hojas de frijol

Horas después de aplicado	Absorción de P^{32} (ug 100g ⁻¹ MF)	
	14 grados	21 grados
3	0,01	0,30
6	0,43	1,00
12	1,23	1,67

Tomado de Jyung, *et al* 1964

En general, el incremento de la humedad relativa tiene un efecto positivo sobre la absorción foliar de nutrimentos debido a su efecto sobre el espesor de la camada de aire limítrofe sobre la hoja, permitiendo de esta manera mantener los solutos aplicados en solución y con ello facilitando su penetración en las hojas, por el contrario una aplicación que se realice en horas del día donde la humedad relativa sea muy baja, tiene el riesgo de provocar quemaduras en el caso de que la concentración de la solución sea alta o moderada, esto como resultado de un rápido secado de la solución sobre la superficie de la hoja. Por otro lado, el factor viento y radiación pueden afectar la penetración de nutrimentos debido al efecto de estos elementos sobre la cobertura del líquido en la superficie de las hojas y sobre el grosor de la cutícula que se asocia con el incremento de la radiación.

c. Asociados con la solución

La absorción y transporte de nutrimentos a través de las hojas depende grandemente del tipo y movilidad del elemento que se trate. En el Cuadro 5 se anotan algunos valores de referencia, los cuales deben ser tomados con precaución por no tener referencia del cultivo y del tipo de solución empleados.

Cuadro 5. Algunos valores de referencia para estimar la tasa de absorción de elementos vía foliar

Elemento	Tiempo (para que ocurra un 50% de absorción)
Nitrógeno (urea)	0,5 a 2 horas
Fósforo	5 a 10 días
Potasio	10 a 24 horas
Calcio	10 a 24 horas
Magnesio	10 a 24 horas
Azufre	5 a 10 días
Cloruro	5 a 4 días
Hierro	10 a 20 días
Manganeso	1 a 2 días
Zinc	1 a 2 días
Molibdeno	10 a 20 días

Los micronutrientes catiónicos como el hierro y en menor cuantía el zinc, manganeso y cobre, son relativamente insolubles en solución cuando se emplean cualquiera de las sales inorgánicas comunes, particularmente cuando el pH de la solución es superior a 5. Por tanto bajo condiciones moderadas o altas de basicidad se forman precipitados, así una forma de evitar tales reacciones consiste en utilizar agentes quelatizantes. El uso de estos agentes permiten no solamente mantener la solubilidad del ión, sino que posibilitan el uso de fórmulas de baja concentración.

El pH de la solución y el tipo de catión o anión acompañante tienen un efecto notable en la eficiencia de la fertilización foliar (Cuadro 6), para el caso específico del fósforo el amonio estimula mejor la absorción del fósforo en relación con el potasio y el sodio. Tomando en consideración las propiedades eléctricas del espacio libre aparente, tanto de las cutículas como de la pared celular, se establece que para cationes con igual carga, difundirá mejor el que tenga menor radio de hidratación.

Bajo cualquier circunstancia se deberá seleccionar la fuente que garantice la mayor solubilidad e higroscopicidad y con ello garantizar mayores posibilidades de absorción, por tanto es deseable tener información sobre las constantes de producto de solubilidad y del efecto del ión acompañante para evitar la formación de precipitados durante las aplicaciones foliares. Por otro lado, el tipo de equipo y técnica de aplicación es de vital importancia para lograr optimizar las aplicaciones.

Al reducirse el ángulo de contacto de la gota con la superficie de la hoja se produce un efecto humectante que mejora las condiciones de absorción, esto no solo se logra cuando las plantas a aplicar presenten pubescencias en la superficie, sino también con la incorporación de agentes humectantes a la solución. En general, los surfactantes son sustancias que facilitan y acentúan las propiedades emulsificantes, dispersantes, adherentes, humectantes u otro tipo de acción que modifique las propiedades del líquido en contacto

con la superficie, la presencia de estos agentes es importante para lograr optimizar las aplicaciones foliares.

Cuadro 6. Efecto del pH y del catión acompañante sobre la absorción de fósforo absorbido después de seis horas de aplicación

Ión acompañante	Absorción de P a diferentes valores de pH (µg)					
	2	3	4	5	6	7
K ⁺	1,50	0,96	0,16	0,11	0,11	0,08
Na ⁺	2,03	2,97	1,31	1,59	1,21	0,75
NH ₄ ⁺	3,70	3,94	2,59	2,44	0,33	0,26

Tomado de Reed y Tukey, 1978

3. CATEGORÍAS DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

De acuerdo con el propósito que se persigue, la fertilización foliar se puede dividir en seis categorías (Boaretto y Rosolem 1989):

- a. **Fertilización correctiva:** es aquella en la cual se suministran elementos para superar deficiencias evidentes, generalmente se realiza en un momento determinado de la fenología de las plantas y su efecto es de corta duración cuando las causas de la deficiencia no son corregidas.
- b. **Fertilización preventiva:** se realiza cuando se conoce que un determinado nutrimento es deficiente en el suelo y que a través de esta forma de aplicación no se resuelve el problema; un ejemplo de esto es la aplicación de Zn y B en café.
- c. **Fertilización sustitutiva:** se pretende suplir las exigencias del cultivo exclusivamente por vía foliar, un buen ejemplo es el manejo del cultivo de la piña. En la mayoría de los casos es poco factible suplir a las plantas con todos sus requerimientos nutritivos utilizando exclusivamente la vía foliar, debido a la imposibilidad de aplicar dosis altas de macronutrientes. En el cultivo del café el uso de solamente fertilizantes foliares sin abonamiento al suelo (seis aplicaciones por año), se ha obtenido una producción 18% en relación con la fertilización al suelo,
- d. **Fertilización complementaria:** consiste en aplicar una fracción del abono al suelo y otra al follaje, generalmente se utiliza para suplir micronutrientes y es uno de los métodos más utilizados en una gran cantidad de cultivos.
- e. **Fertilización complementaria en estado reproductivo:** puede realizarse en aquellos cultivos anuales en los cuales durante la floración y llenado de las semillas, la fuerza metabólica ocasionada por ellos, reduce la actividad radicular lo suficiente como para limitar la absorción de iones requeridos por la planta.

f. **Fertilización estimulante:** consiste en la aplicación de formulaciones con NPK, en las cuales los elementos son incluidos en bajas dosis, pero en proporciones fisiológicamente equilibradas, las cuales inducen un efecto estimulatorio sobre la absorción radicular. Este tipo de abonamiento es recomendado en plantaciones de alta productividad, de buena nutrición y generalmente se realiza en períodos de gran demanda nutricional, o en períodos de tensiones hídricas.

BIBLIOGRAFÍA

Boaretto E.; Rosolem C. 1989. Adubação foliar, conceituacão e prática. In Adubação foliar, Eds, Boareto E y Rosolem C, Fundação Cargill, Brasil, pp, 301-320.

Blanco H.C. 1970. Estudios sobre a absorção do zinco por folha de cafeeiro, Piracicaba tesis de doutoramento, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, pp. 77.

Instituto del Café de Costa Rica. 1990. Informe anual de labores. Programa Cooperativo ICAFE-MAG, San José. Pp. 194.

Jyung H.H.; S.H. Wittwer. 1964. Foliar absorption-an active uptake porcess. Amer, J, Bot, 51: 437-444.

Kannan S. 1986. Foliar absorption and transport of inorganic nutrients, *In*: CRC critical reviews, Plant Science CRC Press Inc, USA, 4:341:375.

Rains D.W. 1968. Kinetics and energetics of light enhancement potasium absorption in light and darkness, *Plant Physiology*,59: 83:93

Segura A. 1993. Aspectos básicos de la fertilización foliar. *In*: IX Congreso Agrónomo Nacional, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Vol 1, número 70. Sesiones de actualización y perspectivas, San José, Costa Rica.

FUENTES DE FERTILIZANTES FOLIARES

Eloy A. Molina, M.Sc.

1. INTRODUCCIÓN

La fertilización foliar es el principio de aplicación de nutrimentos a través del tejido foliar, principalmente a través de las hojas, que son los órganos donde se concentra la mayor actividad fisiológica de la planta. En esta técnica se utilizan sustancias fertilizantes que son asperjadas al follaje en forma de solución nutritiva, utilizando el agua como medio de disolución. Ha sido bien demostrado el excelente resultado que se logra cuando se aplican nutrimentos vía foliar en la época y cantidad adecuada.

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica importante en muchos sistemas de producción agrícola porque permite la corrección rápida y oportuna de deficiencias nutricionales, favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas, y mejora el rendimiento y calidad de la cosecha.

La investigación ha indicado que es factible alimentar a las plantas a través del tejido foliar, en particular cuando se trata de corregir deficiencias de elementos menores, los cuales son requeridos en cantidades muy pequeñas por las plantas. Esta circunstancia hace posible el suministro de estos elementos en soluciones de muy baja concentración, que son toleradas por la planta y no producen efectos fitotóxicos. Por otra lado, la fertilización radicular con micronutrimentos es muchas veces inconveniente desde el punto de vista de manejo, debido a las dosis tan bajas que dificultan su aplicación uniforme. Por el contrario, la aplicación foliar resulta práctica, sencilla y eficiente.

La fertilización foliar no sustituye la fertilización al suelo, pero sí constituye una práctica recomendada para complementar la nutrición edáfica y para suplir ciertos nutrimentos durante etapas críticas del cultivo o de gran demanda nutricional, tales como la floración y el llenado de granos y frutos. Bajo ciertas condiciones de cultivo y suelo, la fertilización foliar ha resultado ser ventajosa en comparación con el abonamiento al suelo. El abonamiento foliar también es un medio apropiado para aplicar nutrimentos a los cultivos durante períodos de estrés causados por diversas razones, tales como la sequía, el encharcamiento, heladas, aplicación de agroquímicos, etc. Las condiciones de suelos que limitan el crecimiento y función de las raíces, tales como el drenaje, toxicidad de aluminio, salinidad, etc., afectan la absorción radical de nutrimentos, siendo en estos casos la fertilización foliar un medio más efectivo para suplir los elementos esenciales.

En algunos cultivos, la fertilización foliar causa efectos adicionales, tales como el incremento en la eficiencia fotosintética, cambios en la fisiología de la planta, disminución de la senescencia y prolongación de la capacidad fotosintética de la hoja. La demanda de nutrimentos 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 nitrógeno es alta y constante, pero se requiere en particular durante los estados de alta tasa de crecimiento, floración y fructificación. Por ejemplo, en el cultivo del arroz, la demanda

de nitrógeno es alta durante el macollamiento, iniciación de la panícula y el llenado del grano. El potasio es requerido intensamente durante los estados fisiológicos de producción, tales como la tuberización y llenado del tubérculo, iniciación y llenado del grano, así como en el cuajado y llenado del fruto. El potasio es esencial para la síntesis de carbohidratos, pero además influye en la translocación y acumulación de azúcares y almidones. En estas épocas críticas de gran demanda de nitrógeno y potasio, el abonamiento foliar puede ser un buen complemento para ayudar a obtener granos más densos y frutos más grandes y jugosos, aumentando así el rendimiento total del cultivo.

Para lograr el éxito de un programa de fertilización foliar es necesario tomar en cuenta varios factores como son: la **planta**, **clima** y **formulación foliar**. En lo que se refiere a la formulación es importante considerar la fuente del nutrimento, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes, el equipo de aplicación, etc. En este capítulo se discutirá acerca de las fuentes de fertilizantes foliares.

2. FUENTES DE FERTILIZANTES FOLIARES

Las características principales que debe tener una fuente para el abonamiento foliar es que sea muy soluble en agua y que no cause efecto fitotóxico al follaje. Las fuentes de fertilizantes foliares se pueden dividir en dos grandes categorías: sales minerales inorgánicas, y quelatos naturales y sintéticos, que incluye complejos naturales orgánicos. Estas fuentes se formulan en polvos o cristales finos de alta solubilidad en agua, y en presentaciones líquidas.

2.1 Sales minerales inorgánicas

Las principales fuentes inorgánicas son yacimientos o minas naturales de óxidos, carbonatos y sales metálicas como sulfatos, cloruros y nitratos. Los óxidos como ZnO_2 , Cu_2O y MnO_2 , pueden ser utilizados, sin embargo su disponibilidad para las plantas es muy baja ya que son compuestos muy insolubles. Las sales fueron los primeros fertilizantes foliares que se utilizaron y están constituidos principalmente por cloruros, nitratos y sulfatos. En comparación con otras fuentes, las sales son de menor costo, pero deben tomarse precauciones para su aplicación por el riesgo de causar quema o fitotoxicidad al follaje.

Los sulfatos son las fuentes más utilizadas debido a su alta solubilidad en agua y su menor índice salino en comparación con los cloruros y nitratos, por lo que hay menos riesgo de quema del follaje. Los óxidos son relativamente insolubles en agua lo cual dificulta su distribución en fertilización foliar, y en aplicaciones al suelo deben ser molidos finamente para ser efectivos. Los oxisulfatos son óxidos que están parcialmente acidulados con ácido sulfúrico, y también presentan un grado de solubilidad en agua muy limitada.

Los sulfatos son las principales fuentes inorgánicas y pueden ser mezclados con otros fertilizantes. Los sulfatos también suministran pequeñas cantidades de S a las plantas. Los sulfatos usualmente son cristales, pero pueden ser granulados para facilitar su manipulación. Los sulfatos de Fe, Cu, Zn y Mn son ampliamente usados en aplicaciones al suelo y foliares.

Los cloruros y nitratos se absorben más rápido a través de la cutícula foliar que los sulfatos, de acuerdo con los resultados de varias investigaciones realizadas. Aparentemente el efecto se debe a una mayor capacidad de permeabilizar la cutícula foliar por parte de cloruros y nitratos, y a su mayor poder higroscópico en comparación con los sulfatos. Asimismo, estas dos fuentes facilitan también la penetración foliar de otros iones disueltos en la solución de aplicación, como se muestra en los resultados del Cuadro 1 con relación al incremento en la absorción de Zn en hojas de café al mezclarse con KCl.

La aplicación de elementos mayores como N, P y K también es una práctica frecuente. Las fuentes nitrogenadas más utilizadas son el nitrato de amonio y urea, que poseen alta solubilidad en agua. La urea es más utilizada debido a su menor índice salino y mayor concentración de N. Se ha demostrado que la urea estimula la absorción de otros nutrimentos debido a que aumenta la permeabilidad del tejido foliar, por lo que es muy apropiado mezclar este material junto con el fertilizante foliar. Se ha comprobado que la urea aplicada al follaje puede ser absorbida, metabolizada y translocada muy rápidamente. El nitrato de amonio también presenta una rápida absorción, y se ha observado que cuando es aplicado junto con la urea se favorece una mayor absorción de cationes por la cutícula foliar. Otra ventaja adicional es que las gotas de las aspersiones foliares de urea y/o nitrato de amonio no se secan tan rápido en la superficie foliar debido a que son productos muy higroscópicos, lo cual favorece su absorción.

Cuadro 1. Contenido de Zn en hojas de café en función a diferentes tratamientos de fertilización foliar

Tratamiento	Zn (mg kg ⁻¹) 1 mes después de aplicación	Tratamiento	Zn (mg kg ⁻¹) 72 h después de aplicación
Sulfato Zn 1,5%	25	Ácido bórico 0,3%	11
Ácido bórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
Sulfato Zn 1,5%	30	Ácido bórico 0,3%	28
Ácido bórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
Urea 1,2%	24	Sulfato Zn 0,5%	32
Sulfato Zn 1,5%		Ácido bórico 0,3%	
Ácido bórico 0,75%		Oxicloruro Cu 0,5%	
MAP 0.6%		Sulfato Zn 0,5%	
Sulfato Zn 1,5%	33	Urea 1%	120
Ácido bórico 0,75%		Ácido bórico 0,3%	
Sulfato K 1.2%		Oxicloruro Cu 0,5%	
Sulfato Zn 1,5%	54	Sulfato Zn 0,5%	107
Ácido bórico 0,75%		KCl 0,5%	
KCl 1,2%		Ácido bórico 0,3%	
		Oxicloruro Cu 0,5%	
		Sulfato Zn 0,5%	
		Urea 0,5%, KCl 1%	

Tomado de Malavolta 1990

Para que la urea sea efectiva en aspersiones foliares debe ser baja en contenido de biuret (< 0.8%) para que no cause quema en el follaje, especialmente en cultivos muy sensibles como cucurbitáceas, cítricos, café, etc.

Cuadro 2. Fuentes de fertilizantes foliares a base de sales minerales inorgánicas

Fuente del elemento	Elemento	Fórmula	Contenido del elemento (%)
Urea	Nitrógeno	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	46
Nitrato de amonio		NH_4NO_3	33,5
Fosfato diamónico (DAP)	Fósforo	$(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$	46 ¹
Fosfato monoamónico		NH_4PO_4	60 ¹
Fosfato monopotásico		KH_2PO_4	52 ¹
Nitrato de potasio	Potasio	KNO_3	44 ²
Cloruro de potasio		KCl	60 ²
Sulfato de potasio		K_2SO_4	50 ²
Carbonato de potasio		K_2CO_3	68 ²
Nitrato de calcio	Calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	19
Cloruro de calcio		CaCl_2	36
Sulfato de magnesio	Magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9,8
Kieserita		$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	16
Nitrato de magnesio		$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	9
Borax	Boro	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	11
Pentaborato de Na		$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot \text{H}_2\text{O}$	18
Tetraborato de Na		$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	14
Solubor		$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O} +$	20
		$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	
Acido bórico		H_3BO_3	17
Sulfato cúprico penta	Cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	25
Sulfato cúprico mono		$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35
Sulfato de cobre básico		$\text{CuSO}_4 \cdot 3 \text{Cu}(\text{OH})_2$	13-53
Sulfato ferroso	Hierro	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	19
Sulfato férrico		$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	23
Fosfato de amonio ferroso		$\text{Fe}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	29
Sulfato de Mn	Manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	26-28
Carbonato de Mn		MnCO_3	31
Molibdato de sodio	Molibdeno	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	39
Molibdato de amonio		$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54
Sulfato de Zn	Zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	36
		$\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	31
Nitrato de zinc		$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	18
Fosfato de Zn		$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$	51

¹ Expresado como P_2O_5 , ² Expresado como K_2O

Las fuentes de fósforo más usadas en aplicación foliar son fosfato monoamónico (MAP), fosfato diamónico (DAP), polifosfatos, y fosfato monopotásico. El triple superfosfato no es útil debido a su escasa solubilidad en agua. Como fuentes de potasio se utilizan cloruro de potasio, sulfato de potasio, y nitrato de potasio, siendo este último más común debido a su menor efecto fitotóxico y presencia de nitrógeno. También se utilizan carbonato de potasio y fosfato monopotásico. Se ha comprobado el efecto positivo del KCl y el nitrato

de potasio como coadyuvantes para mejorar la absorción de otros nutrimentos mezclados en la solución de aplicación, debido a que se le atribuyen a ambas fuentes propiedades que favorecen la permeabilidad de la cutícula foliar, facilitando con ello la penetración de iones a través de ella.

Las fuentes de sales más comunes que suministran calcio y magnesio son: nitrato de calcio, nitrato de magnesio y sulfato de magnesio. El sulfato de magnesio es quizás la fuente más tradicional para suplir Mg en aspersiones foliares. Sin embargo, algunos estudios han mostrado que el cloruro y el nitrato de magnesio, son más eficientes que el sulfato en función de su mayor grado de higroscopicidad (Rosolem 1991), si bien se le atribuye al sulfato de magnesio menor riesgo de fitotoxicidad al follaje. El efecto de la aplicación de diferentes sales de Mg se aprecia en el Cuadro 3 en hojas de café, que indica que el nitrato y cloruro de Mg son mejores que el sulfato.

Cuadro 3. Efecto de diferentes fuentes de Mg en el contenido del elemento en hojas de café, Turrialba, Costa Rica

Tratamiento	% Mg antes aspersión	% Mg después aspersión
Testigo	0,33	0,41
Sulfato de Mg	0,30	0,45
Cloruro de Mg	0,38	0,53
Nitrato de Mg	0,32	0,54

Tomado de Chanchay 1967

Las sales son muy solubles por lo que tienen la desventaja de perderse fácilmente por lavado. Su velocidad de absorción es más lenta que la de un quelato. Para lograr un efecto positivo, las sales se aplican en dosis más altas que los quelatos. Entre sus ventajas están su costo más económico comparado con los quelatos, y su mayor concentración de nutrimentos.

2.3 Quelatos

Los quelatos son sustancias que forman parte de muchos procesos biológicos esenciales en la fisiología de las plantas, como por ejemplo en el transporte de oxígeno y en la fotosíntesis. Muchas de las enzimas catalizadoras de reacciones químicas son quelatos. Otros ejemplos de quelatos biológicos naturales incluyen a la clorofila y la vitamina B12.

Un quelato es un compuesto orgánico de origen natural o sintético, que puede combinarse con un catión metálico y lo acompleja, formando una estructura heterocíclica. Los cationes metálicos son ligados en el centro de la molécula, perdiendo sus características iónicas. El quelato protege al catión de otras reacciones químicas como oxidación-reducción, inmovilización, precipitación, etc. El proceso de quelación de un catión neutraliza la carga positiva de los metales permitiendo que el complejo formado quede prácticamente de carga 0. Esto es una ventaja para facilitar la penetración de iones a través de la cutícula foliar cargada negativamente, y de esta forma no hay interferencia en la absorción por efecto de

repulsión o atracción de cargas eléctricas. De esta forma los quelatos pueden ser absorbidos y translocados más rápidamente que las sales debido a su estructura que los hace prácticamente de carga neta 0.

Esta mayor velocidad de absorción a través de la cutícula constituye una ventaja comparativa con relación a las fuentes de sales porque hay menor riesgo de pérdida del nutrimento por lavado y aumenta la eficiencia para la corrección de deficiencias. Sin embargo, su costo es más alto que las sales y la concentración de nutrimentos es más baja, debido a que los agentes quelatantes tienen una capacidad limitada para acomplejar cationes.

Los quelatos pueden ser utilizados en aplicaciones foliares y al suelo. Todo catión polivalente es capaz de formar quelatos. La estabilidad de los quelatos difiere con el catión metálico: **Fe > Cu > Zn > Mn > Ca > Mg**. Los agentes quelatantes también difieren en su habilidad para combinarse con un catión metálico. La fuerza con que el catión es acomplejado por el agente quelatante puede afectar su disponibilidad para la planta. Los fertilizantes quelatados pueden ser fabricados mediante reacción química del catión metálico y el agente quelatante, o formulados mediante una mezcla física de la fuente del nutrimento y el producto acomplejante. Durante el proceso de formulación de los quelatos, los iones metálicos son incorporados dentro de la estructura del agente quelatante en forma de sales solubles, para asegurar la disponibilidad del elemento y que el producto tenga una alta solubilidad en agua que facilite su aplicación en aspersión foliar.

Los quelatos son formulados para suplir nutrimentos individuales o combinados. Es común encontrar formulaciones que contienen varios nutrimentos, a menudo incluyendo todos los micronutrimentos y algunos elementos mayores como N, Ca, Mg y S. Estas fórmulas completas son conocidas como “multiminerales”.

Los quelatos para utilización en fertilizantes foliares pueden dividirse en tres categorías: sintéticos, orgánicos de cadena corta, y orgánicos naturales.

Los **quelatos sintéticos** usualmente tienen una alta estabilidad. Uno de los primeros agentes sintéticos utilizados en fertilización foliar fue el EDTA (Ácido etilendiaminotetracético). El EDTA es un agente muy versátil que forma complejos con metales catiónicos de gran estabilidad. Es muy utilizado en la industria química y alimenticia, como componente de jabones, para retener el color de frutas enlatadas, y retener el sabor de salsas y mayonesas, etc.

Los agentes quelatantes más fuertes, tales como el EDTA, son usados también en aplicaciones al suelo, ya que su alta estabilidad impide que el catión metálico se pierda fácilmente. El EDTA es uno de los agentes quelatantes de mayor uso en la industria de fertilizantes foliares. Otros quelatos sintéticos incluyen el DTPA y EDDHA. En el Cuadro 4 se presenta una clasificación de agentes quelatantes de acuerdo con su poder acomplejante. La mayoría de los quelatos sintéticos se utilizan para acomplejar micronutrimentos. En el Cuadro 5 se presenta una lista de algunos fertilizantes sintéticos quelatados con elementos menores.

Cuadro 4. Agentes quelatantes agrupados de acuerdo con su poder quelatante

FUERTE	INTERMEDIO	DÉBIL
EDTA	Poliflavonoides	Ácido cítrico
HEEDTA	Sulfonatos	Ácido ascórbico
DTPA	Ácidos húmicos	Ácido tartárico
EDDHA	Ácidos fúlvicos	Ácido adípico
NTA	Aminoácidos	
CDT	Ácido glutámico	
	Polifosfatos	

Cuadro 5. Fuentes de fertilizantes con micronutrientes y quelatos sintéticos

Fuente	Fórmula	Contenido del elemento (%)
Quelatos de Cu	Na ₂ CuEDTA	13
	CaCuHEDTA	9
Quelatos de Fe	NaFeEDTA	5-14
	NaFeHEDTA	5-9
	NaFeEDDHA	6
	NaFeDTPA	10
Quelatos de Mn	MnEDTA	12
Quelatos de Zn	ZnEDTA	6-14
	NaZnNTA	13
	NaZnHEDTA	9

Los **quelatos orgánicos de cadenas cortas** son agentes acomplejantes muy débiles, de poca estabilidad y baja efectividad. Algunos ejemplos son los ácidos cítrico, ascórbico y tartárico.

Los **quelatos orgánicos naturales** presentan diferentes grados de efectividad como agentes quelatantes, ubicándose la mayoría de ellos como acomplejantes intermedios. Estos agentes incluyen poliflavonoides, lignosulfatos, aminoácidos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, polisacáridos, etc. Algunas de las fuentes orgánicas naturales son fabricadas por la reacción de sales metálicas con subproductos, principalmente aquellos derivados de la industria de la pulpa de madera tales como fenoles, lignosulfatos y poliflavonoides. Estos subproductos son bastante complejos por lo que la naturaleza de las reacciones no es muy clara y podría ser similar al de los quelatos. En los últimos años estas fuentes han tomado gran interés debido a su naturaleza orgánica y que la mayoría son de origen natural. Poseen poco riesgo de causar fitotoxicidad, lo que los hace más apropiados para aplicación foliar, y

muchos de ellos tienen propiedades estimulantes del crecimiento y desarrollo vegetal. Los ácidos húmicos y fúlvicos y los aminoácidos o proteínas hidrolizadas, son algunos de los quelatos orgánicos más utilizados.

Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos y fúlvicos son compuestos orgánicos no muy bien definidos químicamente, que constituyen la parte más elaborada de la materia orgánica. Se derivan de diferentes materias primas originadas principalmente de yacimientos de carbón orgánico como lignitos, turbas, etc. Los ácidos húmicos y fúlvicos forman humatos y fulvatos con los cationes del suelo, con lo que evitan la retrogradación. Son capaces de fijar los nutrientes que son aplicados con los fertilizantes al suelo, disminuyendo las pérdidas por lixiviación e inmovilización. Los ácidos húmicos son activadores de la flora microbiana del suelo con lo que aumenta la mineralización la materia orgánica y la consecuente liberación de nutrientes a formas disponibles para las raíces de las plantas. Los ácidos húmicos y fúlvicos incrementan la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo y la retención de humedad. Estimulan el desarrollo de la raíz, y a nivel foliar aumentan la permeabilidad de la membrana celular facilitando la absorción de nutrientes.

Los ácidos húmicos y fúlvicos son agentes naturales quelatantes de metales catiónicos, por lo que son utilizados para la nutrición mineral de los cultivos debido a la acción acomplejante que ejercen sus grupos funcionales carboxílicos (COOH) e hidroxílicos (OH). Estos grupos funcionales son la porción biológicamente activa de los ácidos húmicos y fúlvicos que proveen las cargas negativas que permiten que los metales catiónicos sean acomplejados en forma de quelatos. Los ácidos húmicos y fúlvicos también contienen grupos funcionales amino cargados positivamente y que pueden acomplejar aniones como fosfatos, sulfatos, nitratos, etc.

Constituyen una alternativa eficaz para la nutrición foliar de los cultivos, no solo por su capacidad de acomplejar cationes, sino además por los efectos estimulantes del crecimiento vegetal y su facilidad para incrementar la absorción foliar. Como desventajas con relación a otras fuentes, los ácidos húmicos por lo general son de mayor costo que las sales y de menor concentración de nutrientes debido a su capacidad más limitada para acomplejar cationes.

Aminoácidos

El uso de aminoácidos en fertilización foliar es relativamente reciente y se inició a partir del desarrollo de tecnología para la fabricación de aminoácidos libres mediante diferentes procedimientos entre los que se destacan principalmente: a) síntesis química, b) fermentación bacteriana, c) hidrólisis ácida, d) hidrólisis enzimática. El principio básico que utiliza esta tecnología para la fabricación de fertilizantes foliares es la formación de proteínas hidrolizadas en las que se incorporan los nutrientes catiónicos como Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn y Mn. Estos minerales quedan suspendidos entre dos aminoácidos que conforman los grupos donadores y uno de ellos, generalmente un grupo amino (NH₂), forma un enlace covalente complejo, mientras el otro grupo carboxílico (COOH) forma un enlace iónico. De esta forma los iones metálicos quedan acomplejados dentro de la

estructura formando un quelato orgánico. La carga iónica del metal es neutralizada por los aminoácidos en forma similar como ocurre con los quelatos sintéticos. Esto evita que el metal sea sometido a fuerzas de repulsión o atracción por las cargas negativas de la cutícula foliar facilitando la absorción. La mayoría de los quelatos de aminoácidos son de bajo peso molecular, lo que en teoría favorecería también la entrada del quelato a través de la cutícula, las paredes celulares y las membranas celulares. Una de las ventajas más reconocidas de los aminoácidos es su rápida absorción, que en algunos casos oscila entre 1-3 horas para completar el 50 de absorción.

Otro principio que utiliza esta tecnología es que la planta recibe aminoácidos biológicamente activos de rápida absorción y translocación, lo cual reduce el gasto de energía metabólica por parte de la planta en la síntesis de proteínas. También se le atribuyen propiedades bioestimulantes en el crecimiento vegetal. Algunas desventajas de estos productos son su costo elevado en comparación con otras fuentes y su baja concentración de nutrimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertsch F. 1995. La Fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS. 157
- Black C. 1992. Soil Fertility evaluation and control. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 746 p.
- Boaretto A.E.; Rosolem C.A. 1989. Adubacao foliar. Vol. I-II. Fundacao Cargill, Campinas, Brasil. 669 p.
- Chanchay A.G. 1967. Efecto de la aplicación de magnesio al suelo y a las hojas sobre la concentración foliar de este elemento en el café. Turrialba 17: 182-187.
- Domínguez A. 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 p.
- Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3th ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.
- Espinoza J. 1996. La nutrición foliar. Informaciones Agronómicas (INPOFOS). No. 25: 4-9.
- Hignett T.P.; McClellan G.H. 1985. Sources and production of micronutrient fertilizers. Fertilizer Research 7: 237-259.
- Hsu H. 1986. Chelates in plant nutrition. In: Foliar feeding of plants with aminoacids chelates. California, USA. pp. 209 - 216.
- International Fertilizer Development Center. 1979. Fertilizer Manual. Muscle Shoals, Alabama. 353 p.
- Kuepper G. 2000. Foliar fertilization. ATTRA Project, USDA. 11 p. <http://www.attra.org>
- Lorenz O.; Maynard D. 1988. Knott's Handbook for vegetable growers. 3º ed. John Wiley and Sons, New York. 456 p.

- Loué A. 1988. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 354.
- Malavolta E. 1990. La fertilización foliar: bases científicas y significado en la agricultura. *Suelos Ecuatoriales* 20(1): 29-43.
- Molina E. 1999. Fertilización foliar. Resumen curso Fertilizantes y Enmiendas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 10 p.
- Morverdt J. 1991. Micronutrients in Agriculture. 2ª ed. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 760 p.
- Rosolem C.A. 1992. Eficiencia da adubacao foliar. In XX Reunion Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutricao de Plantas, Fundação Cargill, Piracicaba, Brasil. P. 315-351.
- Santos A.T.; Aguilar D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra* 17(3):247-255.
- Segura A. 1993. Aspectos básicos de la fertilización foliar. In IX Congreso Agronómico Nacional, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Vol. 1, N° 70, Sesiones de actualización y perspectivas. San José, Costa Rica.
- Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5ª ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.

CÁLCULO DE DISOLUCIONES Y CALIDAD DEL AGUA

Eloy A. Molina, M.Sc.

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de fertilizantes foliares requiere del cálculo adecuado de las cantidades de producto que serán mezclados con el agua de acuerdo con la dosis sugerida del nutrimento. Este proceso es de mucho cuidado porque un cálculo equivocado podría causar una sobredosificación del fertilizante y como éste es aplicado al follaje, el riesgo de provocar una fitotoxicidad es mayor.

La calidad del agua que se utiliza para la disolución de los fertilizantes es de gran importancia porque tiene influencia en la eficiencia de de la aplicación y en optimización de uso del equipo de aspersión. A continuación se discuten algunos criterios prácticos para el cálculo de soluciones de fertilizantes foliares.

2. UNIDADES DE MEDIDA

Para el cálculo de dosis de fertilizantes se utilizan unidades de volumen y peso del sistema métrico decimal. Los fertilizantes se formulan tanto en presentación sólida como líquida, y la medición de la cantidad a disolver en agua puede realizarse usando unidades de peso o volumen según corresponda el caso.

2.1 Medidas de volumen

La base del sistema métrico decimal para unidades de volumen es el **litro (L)** el cual tiene una capacidad de 1000 cm³ o 1000 mL. Esto significa que cm³ y mL son equivalentes. El litro lo constituye un volumen que tiene 10 cm en sus tres dimensiones, por lo tanto:

$$1 \text{ L} = 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mL}$$

Cuando se tienen que medir volúmenes mayores se utiliza la medida denominada **metro cúbico**, el cual es equivalente a 1000 litros. En la preparación de disoluciones para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos es común utilizar recipientes o tanques de un volumen de agua conocido. Estos recipientes pueden ser bombas de espalda con capacidad para 16 litros, tanques de 200 litros, tanquetas de fumigación que oscilan entre 500 y 3000 litros, etc. La mayoría de estos recipientes están calibrados en litros, pero es factible encontrar equipos de fumigación calibrados con medidas de volumen del sistema norteamericano, que utilizan el galón, el cual es equivalente a 3,785 litros o 3785 mL.

2.2 Medidas de peso o masa

La base en el sistema métrico decimal para medidas de peso es el **kilogramo (kg)** el cual está constituido por 1000 **gramos (g)**. A su vez 1 gramo es equivalente a 1000 **miligramos mg**).

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 100\,000 \text{ mg}$$

En el sistema norteamericano se utiliza la **libra (lb)**, que equivale a 453,5 g. A su vez 1 kg = 2.205 lbs.

2.3 Partes por millón y porcentaje

La expresión partes por millón o **ppm** es muy utilizada cuando se trata de medir cantidades muy pequeñas, y representa las cantidades de partes en un millón de partes. Así cuando se indica que una solución tiene 100 ppm de K significa que en un millón hay 100 partes que son de K. La cantidad de 1 ppm representa la millonésima parte de algo, y es equivalente a 1 mg L^{-1} , por cuanto:

$$1 \text{ mg} = 0,000001 \text{ kg (millonésima parte de 1 kg), entonces } 1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ ó } 1 \text{ mg kg}^{-1}$$

Bajo condiciones establecidas 1 ppm es equivalente a 1 mg/L o 1 mg L^{-1} .

El **porcentaje (%)** es una medida aplicable a cantidades grandes de componentes. La cantidad de 1% es la centésima parte de 100 partes, por lo tanto el valor de $1\% = 10000 \text{ ppm}$ o mg kg^{-1} . Esto se debe a que:

$$1000000 \text{ ppm} / 100 \% = 10000 \text{ ppm} / \%$$

También es importante mencionar que si $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg kg}^{-1} = 1 \text{ mg L}^{-1}$, entonces:

$$1 \% = 10000 \text{ ppm} = 10000 \text{ mg L}^{-1} = 10 \text{ g L}^{-1}$$
$$1 \% = 10 \text{ g L}^{-1}$$

Por lo tanto para pasar % a ppm o mg L^{-1} se multiplica por 10000, y para pasar % a g L^{-1} se multiplica por 10. El porcentaje es una medida muy utilizada en el cálculo de soluciones de fertilizantes foliares. De tal manera que al preparar una solución en agua de ácido bórico al 0,35%, es equivalente a mezclar 3,5 g de ácido bórico en 1 litro de agua ($0,35 \times 10 = 3,5$). Si la mezcla se realiza en un tanque de 2000 L de agua, la cantidad de ácido bórico que debe agregarse es de: $3,5 \text{ g L}^{-1} \times 2000 \text{ L} = 7000 \text{ g}$ o 7 kg.

$$\begin{aligned} 7000 \text{ g} \div 2000 \text{ L} &= 3,5 \text{ g L}^{-1} \\ 3,5 \text{ g L}^{-1} \div 10 &= 0,35\% \end{aligned}$$

Esto significa que para preparar una solución de ácido bórico al 0,35% en un volumen de agua de 2000 L se deben pesar 7000 g o 7 kg del fertilizante y mezclarlos con ese volumen de agua. Para calcular la cantidad de ppm de ácido bórico que contiene dicha solución se multiplica el % por 10000:

$$0,35 \times 10000 = 3500 \text{ ppm o mg L}^{-1}$$

2.4 Densidad de un líquido

La densidad es una característica importante de los materiales. La densidad se define como masa por unidad de volumen:

Densidad = peso/volumen

La densidad de los líquidos se da en g mL^{-1} o kg L^{-1} . La densidad del agua a temperatura ambiente es aproximadamente de 1 g mL^{-1} . La importancia de conocer la densidad es que muchos fertilizantes son formulados en forma líquida, y este valor sirve para calcular la cantidad de fertilizante o ingrediente activo en término de masa o peso, esto por cuanto de acuerdo con la fórmula de densidad:

Densidad x volumen = peso

Por ejemplo un fertilizante en presentación líquida que tiene una densidad de $1,35 \text{ g mL}^{-1}$, significa que cada mL pesa 1,35 g, o lo que es lo mismo, cada litro pesa 1,35 kg. 100 L de este fertilizante pesan 135 kg. Si este producto tiene una concentración de 10% de Zn, el contenido de este elemento que suministra cada litro es de 0,135 kg.

$$\begin{aligned} 1 \text{ L} \times 1,35 \text{ kg L}^{-1} &= 1,35 \text{ kg} \\ 1,35 \text{ kg} &\text{-----} > 100\% \\ x \text{ kg} &\text{-----} > 10\% \text{ Zn} \\ x &= 0,135 \text{ kg de Zn por cada litro de producto} \end{aligned}$$

El conocimiento de la densidad es necesario para el cálculo de la dosis de nutrimentos cuando se utilizan fertilizantes líquidos en los cuales la concentración de elementos se expresa en % p/p. Para el cálculo de fertilizante a aplicar de acuerdo con la dosis escogida se puede emplear la fórmula:

Cálculo de dosificación con fertilizante líquido

$$\text{L/ha} = \frac{\text{kg / ha de elemento}}{\text{densidad} \times \frac{\text{concentración}}{100}}$$

Ejemplo 1

Dosis: 50 kg N/ha.
Fuente: 31-0-0 L.
Densidad: 1,34 g mL⁻¹

$$\text{L/ha} = \frac{50}{1,34 \times 0,31} = 119$$

Ejemplo 2

Dosis: 40 kg K₂O/ha
Fuente: 0-0-14,5 L
Densidad: 1,167 g mL⁻¹

$$\text{L/ha} = \frac{40}{1,167 \times 0,145} = 236$$

3. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es un componente básico en aplicación de agroquímicos y fertilizantes y necesita cuidadosa atención. Este aspecto es muy importante en los equipos de aspersión que deben mantenerse libres de sólidos en suspensión y microorganismos que pueden taponear los orificios de los emisores. En el Cuadro 1 se presentan ciertas condiciones bajo las cuales se pueden presentar problemas de obstrucción en los emisores de equipos de fumigación.

Los fertilizantes mezclados en agua para aspersión foliar se precipitan si se excede la solubilidad de los mismos o la solubilidad de los productos de reacción entre el fertilizante y las impurezas del agua. A menudo se presentan problemas con Ca cuando las concentraciones de este elemento en el agua son superiores a 100 ppm. Por ejemplo, a medida que se incrementa la concentración en el agua aumenta la probabilidad de precipitación de los fosfatos añadidos. El producto precipitado se deposita en el fondo del tanque de aplicación, en las paredes de los tubos y en los orificios de los aspersores, y disminuye la eficiencia de la aplicación y del equipo. Si el agua contiene un elevado contenido de sales podría casusar efecto fitotóxico al follaje o los fertilizantes mezclados incrementarían el problema.

Cuadro 1. Condiciones en las cuales se pueden presentar problemas de taponamiento en los emisores de los sistemas de riego por goteo

Tipo de Problema	----Intensidad del problema----		
	Baja	Moderada	Alta
	-----ppm-----		
Físicos			
Sólidos en suspensión	<50	50-100	>100
Químicos			
pH	<7,0	7,0-8,0	>8,0
Sales	<500	500-2000	>2000
Bicarbonatos		<100	
Manganeso	<0,1	0,1-0,5	>1,5
Hierro total	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Sulfuro de hidrógeno	<0,2	0,2-2,0	>2,0
Biológicos			
Población de Bacterias	<10 ³ /mL	10 ³ -50 ³ /mL	>50 ³ /mL

3.1 Conductividad eléctrica

La calidad del agua para aplicación de agroquímicos está determinada por la concentración y composición de los constituyentes que contenga. Todas las aguas poseen sustancias extrañas procedentes de las formaciones geológicas por las cuales han pasado. Estas sustancias por lo general son sales minerales que se encuentran en el agua disociadas como iones. Es importante contar con información detallada respecto a la calidad del agua para uso agrícola, para lo cual es deseable realizar un análisis químico del agua en un laboratorio. La suma de todos los minerales disueltos en una muestra de agua se refiere normalmente como total de sólidos disueltos (TSD). Cuando más alto es el valor de TSD mayor es la conductividad eléctrica del agua considerada. Aprovechando

esta característica, una medida de la conductividad eléctrica (CE), en milisiemens/cm (mS cm^{-1}) a 25°C , es usada frecuentemente para proporcionar una estimación rápida y económica del total de sólidos (TSD ppm) disueltos en agua. La CE de muestras de agua puede ser determinada rápida y fácilmente en laboratorio o en el campo. La CE es un término utilizado para expresar la concentración total de sales solubles en las aguas de riego. El método de análisis es fácil, barato y rápido, se utiliza un puente de conductividad. El resultado se expresa en dS m^{-1} o mS cm^{-1} , equivalentes a la unidad de medida utilizada anteriormente que era mmhos cm^{-1} . Para estimar la cantidad total de sales solubles se multiplica el valor de conductividad en mS cm^{-1} por 640:

$$\text{CE (mS cm}^{-1}\text{)} * 640 = \text{Total de Sales Disueltas (mg L}^{-1}\text{ o ppm)}$$

Debido a que la CE es dependiente de la temperatura, todas las lecturas la CE deben ser estandarizadas a 25°C . La CE u otras medidas de TSD es una primera indicación útil de la calidad del agua para usarla en dilución de agroquímicos. Por ejemplo, si la CE es menor de 0.5 mS cm^{-1} la calidad del agua para uso de herbicidas carece de problemas.

En aguas para riego se considera que si la conductividad oscila entre 0 y 0.75 mS cm^{-1} son aptas para riego en la mayoría de los cultivos. Las aguas con conductividad de 0.75 a 2.25 mS cm^{-1} se consideran de salinidad de mediana a alta. Pueden ser utilizadas en muchos cultivos con ciertas restricciones, siempre que exista un buen manejo del suelo y un drenaje eficiente. No son apropiadas si las condiciones de lavado no son adecuadas y el drenaje es restringido. Las aguas con más de 2.25 mS cm^{-1} no son aptas en la mayoría de los casos, salvo en cultivos muy tolerantes a la salinidad, y siempre que se aplique suficiente agua para regar el exceso de sales depositadas en el suelo.

3.2 Dureza del agua

La dureza es una propiedad del agua que está relacionada a uso doméstico y la tendencia a producir espuma o coagulación de jabones o escamas e incrustaciones en los tanques de caldera en aplicaciones industriales. El agua dura empleada como vehículo en la aplicación de herbicidas puede afectar adversamente la emulsibilidad y dispersión del herbicida en el vehículo y en consecuencia en su fitotoxicidad. El agua dura también podría causar problemas de precipitados con algunos nutrimentos disueltos en el agua. El agua naturalmente contiene usualmente iones de calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), hierro como ion férrico (Fe^{+++}) y posiblemente otros iones como sodio, potasio, etc. La dureza del agua es causada por la cantidad de iones Ca y Mg presentes. El agua es considerada dura cuando la concentración total de estos iones esta por encima de cierto nivel. Agua con menos de 50 ppm es considerada un agua blanda, 50 a 100 ppm como de dureza media y entre 100-200 ppm como agua dura. El agua dura es apta para propósitos de irrigación; agua con una dureza de menos de 150 ppm es adecuada para propósitos domésticos. Aguas muy blandas son corrosivas para las tuberías de conducción de agua. El grado de dureza es una medida de la concentración total, en peso, de los iones arriba

mencionados en el agua (Ca+ Mg) expresada como equivalente carbonato de calcio usualmente medida en partes por millón o miligramos por litro. Aguas con excesiva dureza podrían causar problemas de formación de precipitados debido a la reacción del Ca y Mg con otros productos en la mezcla de fertilizante, tales como los fosfatos y sulfatos.

3.3 Contenido de Bicarbonatos

La alcalinidad del agua es la concentración de compuestos solubles en el agua que tienen la habilidad de neutralizar ácidos. La alcalinidad está relacionada al pH, porque el agua con un alto nivel de alcalinidad tiene una alta capacidad buffer o capacidad para neutralizar ácidos adicionados. El mayor responsable químico de la alcalinidad en el agua son los carbonatos y bicarbonatos disueltos. La alcalinidad se mide como miligramos por litro o ppm de equivalentes de carbonato de calcio ($\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$), o $\text{cmol}(+) \text{L}^{-1}$ de CaCO_3 , siendo equivalente a 50 mg L^{-1} de CaCO_3 .

3.3 pH

El pH del agua tiene gran influencia en la solubilidad de los productos que se mezclan y en la disponibilidad de los nutrimentos para ser absorbidos por las hojas. Dependiendo de la fuente y del nutrimentos puede existir diferentes requerimientos de pH del agua para una óptima absorción. Sin embargo, para efectos prácticos el pH debería regularse en un ámbito ligeramente ácido que oscile entre 5,5 y 6,5, rango que presenta las mejores condiciones generales para la absorción de nutrimentos. Algunos fertilizantes causan cambios del pH del agua cuando se mezclan, ya sea por reacción ácida o básica. El ácido fosfórico tiene una fuerte reacción ácida cuando es agregado a las soluciones de fertilizantes como fuente de P. El nitrato de amonio y la urea también tienden a acidificar el agua dependiendo de la dosis. Los boratos de Na como el Solubor y Poliboro tienen reacción básica que eleva el pH del agua y podría causar una disminución en la tasa de absorción de los nutrimentos vía follaje. Además, algunos insecticidas sufren de hidrólisis alcalina cuando el pH del agua es mayor de 7. Las aguas alcalinas podrían necesitar del uso de ácidos para disminuir su pH a un valor más adecuado, uno de los más utilizados y que posee un alto poder buffer es el ácido cítrico.

3.4 Hierro

El Fe puede aparecer en algunas aguas subterráneas, pero en general no es un catión detectado en la mayoría de los análisis. Los mayores problemas con el ión Fe es cuando el agua que lo contiene disuelto lo expone al aire; el Fe rápidamente puede oxidarse para formar partículas de herrumbre que pueden precipitar y asentarse en la parte inferior de los tanques y tapar picos y filtros. Por esta razón es mejor evitar usar aguas con significativos contenidos de Fe para todas las pulverizaciones. Altos niveles de Fe pueden afectar la actividad de herbicidas como el glifosato. Altos contenidos de Fe en el agua podría también afectar la estabilidad de algunos quelatos porque el exceso de Fe competiría con otros cationes quelatados en la solución fertilizante, desplazándolos y dejándolos libres en la solución.

Dado que la calidad del agua para aplicación de fertilizante foliares y agroquímicos está muy ligada con el agua de riego, en el Cuadro 2 se presentan algunos parámetros útiles para determinar la calidad.

Cuadro 2. Rangos aceptables de parámetros de calidad de agua para riego

PARÁMETROS	RANGOS
*pH	5-7
*Sales Solubles	0-1.5 mS cm ⁻¹
*Alcalinidad	0-100 m L ⁻¹ CaCO ₃
Nitratos	0-5 mg L ⁻¹
Amonio	Indeterminado
Fósforo	0-5 mg L ⁻¹
*Calcio	40-120 mg L ⁻¹
*Magnesio	6-24 mg L ⁻¹
Manganeso	0-2 mg L ⁻¹
Hierro	2-5 mg L ⁻¹
Cobre	0-0.2 mg L ⁻¹
*Boro	0.2-0.8 mg L ⁻¹
Zinc	1-5 mg L ⁻¹
Molibdeno	0-0.2 mg L ⁻¹
*Sodio	0-50 mg L ⁻¹
*Cloro	0-140 mg L ⁻¹
*Fluor	0-1 mg L ⁻¹
Aluminio	0-5 mg L ⁻¹

* Parámetro en los cuales ocurre la mayor incidencia de problemas

Reglas básicas para hacer mezclas de fertilizantes en agua:

1. Siempre llene el tanque de mezclado con un 50-75% del agua a utilizar.
2. Agregue los fertilizantes líquidos antes de los sólidos.
3. Agregue los productos sólidos lentamente.
4. No mezcle amoníaco anhidro o agua amoniacal con algún ácido porque se produce una reacción violenta y peligrosa.
5. Si utiliza algún ácido, agregue el ácido al agua y no lo contrario.
6. No mezcle dos fertilizantes líquidos de alta concentración.
7. No es conveniente mezclar productos que contienen sulfatos con otros que contengan calcio. Ejemplos: nitrato de calcio con sulfatos de amonio, potasio o magnesio.
8. No mezclar fertilizantes que contienen P con productos que contienen Ca sin antes hacer una prueba de compatibilidad.
9. Realizar un análisis de calidad del agua para verificar contenido de sales como Ca, Mg, carbonatos, etc.

BIBLIOGRAFÍA

Miranda A. 1989. Consideraciones para uniformizar los resultados de un análisis químico de suelos. IICA/PROMECAFE. San José, Costa Rica. 33 p.

Domínguez A. 1993. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 217 p.

Estrada G. 1997. Caracterización y preparación de fertilizantes líquidos para fertirrigación. *In* Fertirrigación, ed. por F.S. Mojica. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Santa Fé de Bogotá, Colombia. p. 61-72.

Imas P. 1999. Manejo de nutrientes por fertirriego en sistemas frutícolas. Congreso Argentino de Horticultura, XXII. Tucumán, Argentina.

Jiménez S. 1992. Fertilizantes de liberación lenta. Ediciones MundiPrensa. Madrid, España. 146 p.

Lorenz O.; Maynard D. 1988. Knott's Handbook for vegetable growers. 3^o ed. John Wiley and Sons. New York. 456 p.

Ludwick A. 1994. El manejo de fertilizantes a través de los sistemas de riego. *Informaciones Agronómicas* No. 27: 5-9.

Montag U. 1999. Fertigation in Israel. IFA Agricultural Conference on Managing Plant Nutrition, Barcelona, España.

Rodríguez, N.M. 2002. Calidad de Agua y Agroquímicos. INTA, Boletín Técnico.
http://www.agrovision.com.ar/44/calidad_de_agua_y_agroquimicos.htm

Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers. 5^a ed. McMillan Co., Columbus, Ohio. 454 p.

Will E.; Faust J.E. 2001. Irrigation water quality for Greenhouse production. Agricultural Extension Service, University of Tennessee, USA. 11 p.

SISTEMAS DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES FOLIARES

Róger Viquez, Ing.

Los pulverizadores agrícolas son los encargados de realizar las aplicaciones de las fertilizaciones foliares. Estos, son equipos que generan gotas en función de una determinada presión que se ejerce, sobre la solución contenida en el tanque. Se distinguen en un pulverizador agrícola, varios componentes que después de realizar una revisión muy cuidadosa, se logran aplicaciones en cantidad y calidad que garantizan efectividad de la aplicación.

Existen varios tipos de pulverizadores los cuales podemos clasificar, para:

- Aplicaciones terrestres
- Aplicaciones aéreas

APLICACIONES TERRESTRES

EQUIPOS DE ESPALDA

Los equipos de espalda construidos para operar de forma manual usualmente tienen capacidad de 15, 16, 18, 20 litros.

Los de espalda motorizados, son construidos con turbina, de presión controlada y las CDA (Controlled Droplet Application) para aplicaciones de ultra bajo volumen, asistidas por corriente de aire.

EQUIPOS ESTACIONARIOS

Constan de una bomba de pistones o diafragma, acoplada a un motor de combustión interna o eléctrico. La potencia del motor la determina la velocidad de giro de la bomba y la presión final que se desee alcance el conjunto pulverizador.

EQUIPOS TRACTORIZADOS

Para acople al sistema hidráulico del tractor y los de tiro (arrastre). Las capacidades de tanque de almacenamiento de la solución es usualmente de 400, 600 y 800 litros para los de acople en el sistema hidráulico. De 1000, 2000, 3000, 5000 litros para los de arrastre.

Ambos equipos pueden realizar las aplicaciones utilizando, una barra pulverizadora, pistolas o lanzas. Algunos poseen una turbina accionada por el toma de fuerza del tractor para producir una corriente de aire, la cual sale en forma de cortina de aire, tipo cañón o barras asistidas por aire.

El tamaño de la gota

Por tamaño de gota se entiende el de una sola gota. En una aplicación, hay una gran diferencia entre los tamaños de gota. Las empresas que producen boquillas suministran información de los tamaños de gotas para cada tipo de boquilla y presión de operación. Este dato es útil para seleccionar la boquilla en función de la necesidad de una buena cobertura foliar o disminución de la deriva. Gotas finas proporcionan mayor cobertura, gotas gruesas, menos deriva. La boquilla es un componente de fundamental importancia puesto que de ella depende tanto el caudal como el tamaño de las gotas producidas.

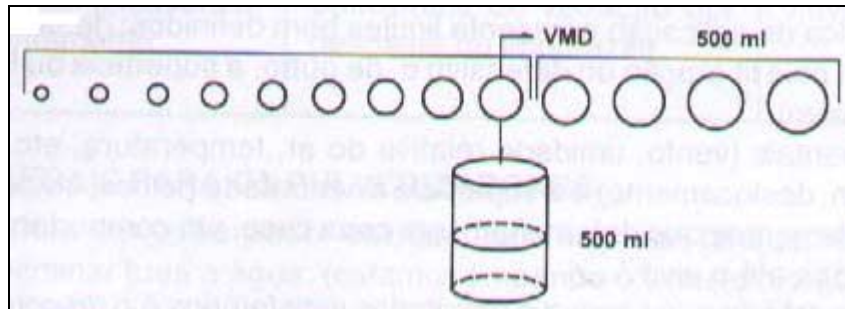
El término normalmente utilizado para determinar el tamaño de las gotas es el diámetro volumétrico mediano, usualmente expresado como DVM o $D_v 0,5$. Lo constituye el diámetro de la gota que divide un volumen de líquido en dos partes iguales. Una por gotas menos que el DVM y otra por gotas mayores. Si en una pulverización puede separarse las gotas que llenan un litro y ordenarlas de menor a mayor, el diámetro de la gota que llena el volumen hasta 0,5 litros, constituye el DVM.

En las aplicaciones existen dos factores importantes: el tamaño de las gotas y el volumen por unidad de área. El DVM, debe consultarse de la información suministrada por las casas comerciales y los volúmenes de aplicación por área deben determinarse en base a las variables que determinan su magnitud.

Considerando que existe poca documentación bibliográfica que indica que tamaño de gota es apropiado para aplicaciones de fertilización foliar, nos apoyamos en referencias que indican que en las aplicaciones de fertilización foliar deben utilizarse gotas finas que proporcionan una buena cobertura. En relación a la movilidad partiendo del sitio de la hoja de aplicación, se observa poco desplazamiento de algunos elementos. Esto sugiere la necesidad de realizar una buena cobertura cuando se pulverizan plantas especialmente con elementos como Fe, Mn, Rb.

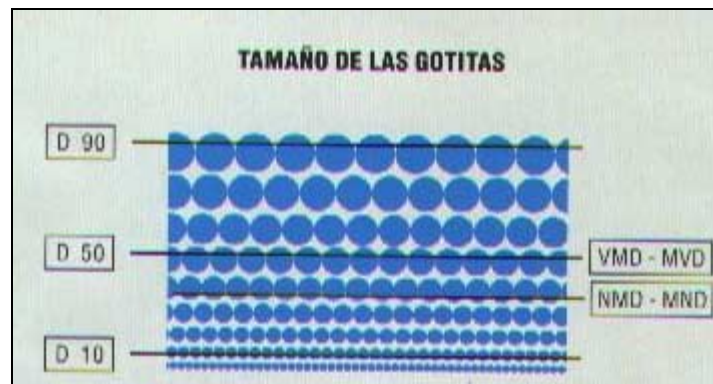
La mayoría de nutrientes penetran en la hoja en forma lenta. Con excepción del nitrógeno, elemento que puede ser absorbido en horas, los demás nutrientes requieren de días para conseguir una penetración significativa. De nuevo se sugiere que una buena cobertura foliar es importante cuando se realizan aplicaciones de fertilización foliar. 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. Si la fertilización foliar debe llegar tanto en la superficie foliar superior como inferior, es necesario que las aplicaciones se realicen en forma tal que la cobertura sea buena.

El diámetro óptimo de las gotas, lo define el objetivo que queremos alcanzar, la pérdida de producto fuera del blanco que pueda tolerarse (deriva). Las gotas pequeñas llegan más adentro del cultivo, dan una distribución más uniforme, son más económicas las aplicaciones pues el volumen por área a utilizar es menor.



Manual técnico sobre orientación de pulverización. Jacto 1999

Figura 1. Explicación teórica del Diámetro Volumétrico Mediano (DVM)



Catálogo de boquillas ALBUZ

Figura 2. Finura y homogeneidad de un chorro

La figura anterior y los Cuadros 1, 2, 3,4 muestran la finura y homogeneidad de un chorro, la cual está ligada con la calidad de pulverización, y para determinar esta se utilizan varios parámetros expresados en micras:

- El D10 es el diámetro de las gotitas tal que el 10% del volumen pulverizado esta formado de gotitas más pequeñas que el diámetro indicado.
- El D90 el diámetro tal que el 90% del volumen esta formado de gotitas más pequeñas que el diámetro indicado.
- Mientras más debil es el DVM más fina es la pulverización.

Cuadro1. Clasificación de pulverización por tamaño de gotas

DVM (micras)	Clasificación	Retención por las hojas	Uso	Riesgo de deriva
<50	Aerosol	Buena	Ocaciones especiales	Alta
51-100	Neblina	Buena	Ocaciones especiales	Alta
101-200	Fina	Buena	Buena cobertura	Media
201-300	Media	Media	Mayoría de productos	Baja
>300	Gruesa	Mala	Herbicidas y Fertilizantes	Muy baja

Fuente: Manual Técnico sobre orientación de pulverización. Jacto,1999

Cuadro 2. Densidad de gotas según el producto que se aplique

Producto	Densidad de gotas por productos (número de impactos) Gotas por cm ²
Insecticidas	20-30
Herbicidas Pre emergentes	20-30
Herbicidas Post emergentes	30-40
Fungicidas Sistémicos	30-40
Fungicidas de contacto	>70

Fuente: Pesticide Application Methods, G.A Mattheus 1992

Cuadro 3. Tamaño de la gota (DVM) con tres magnitudes de presión (lbf/pul²) para diferentes tipos de boquillas

Boquillas	Presión (lbt/puf ²)		
	75	150	225
	Tamaño de las gotas (VMD) en micras		
JA-1	77	68	61
JA-1,5	81	70	64
JA-2	88	78	71
JA-3	96	84	79
JA-4	116	100	88
JA-5	131	109	94

Fuente : Catálogo de Boquillas *JACTO*

Características de las boquillas serie J.A.

Formato de chorro: Chorro cono vacío

Angulo de chorro: 85° a la presión de 150lbf/pul²

Material de fabricación: Alumina sintetizada

Identificación de caudal: Color y código de boquilla.

Cuadro 4. Caudal liberado (L/min) con diferentes presiones (lbf/pul²) para varios tipos de boquilla

Boquilla	Presión (lbf/pul ²)								
	60	90	120	150	180	210	240	270	300
	Caudal (L/min)								
JA-0,5	0,25	0,30	0,34	0,38	0,41	0,45	0,47	0,50	0,53
JA-1	0,32	0,38	0,42	0,50	0,52	0,55	0,60	0,63	0,72
JA-1,5	0,43	0,52	0,59	0,66	0,71	0,77	0,82	0,87	0,98
JA-2	0,64	0,76	0,86	1,00	1,04	1,13	1,22	1,28	1,42
JA-3	0,88	1,06	1,21	1,34	1,46	1,57	1,68	1,76	1,84
JA-4	1,25	1,51	1,72	1,91	2,07	2,22	2,34	2,42	2,54
JA-5	1,60	1,93	2,20	2,44	2,65	2,85	3,22	3,41	3,67

Fuente : Catálogo de Boquillas *JACTO*

Puntas de pulverización de chorro plano Turbpo FloodJet				
No. De punta	Presión en bar			
	0.7	1	1.5	2
	Caudal en L/min			
TF-VS2	0.76	0.91	1.12	1.29
TF-VS2.5	0.95	1.14	1.40	1.61
TF-VS3	1.15	1.37	1.67	1.93
TF-VS4	1.52	1.82	2.23	2.58
TF-VS5	1.91	2.28	2.79	3.22
TF-VS7.5	2.86	3.42	4.19	4.83
TF-VS10	3.82	4.58	5.68	6.45

Catálogo 44M-E, TeeJet, Spraying Systems Co.

LOS PULVERIZADORES DE ESPALDA MANUAL

Conocida también como aspersora de mochila, bomba de espalda y otras, es el equipo más utilizado para la aplicación de fertilizantes foliares. Existen referencias donde se mencionan estos pulverizadores desde 1896, por Lodeman, con los principios constructivos utilizados hasta el día de hoy.

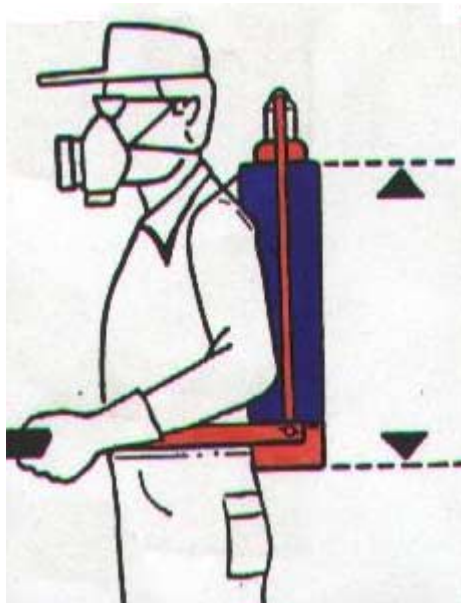
Los pulverizadores de espalda se fabrican con sistemas de presión interno y sistemas de presión externos. Los primeros tienen una mayor aceptación a nivel mundial pues el riesgo de goteo de productos químicos y contaminación externa es menor. Además, como la cámara se ubica dentro del tanque es posible instalar un agitador mecánico, que garantiza mayor homogeneidad de la solución contenida en el tanque. En los sistemas de presión externo, existe mayor riesgo de contaminación porque la bomba, la cámara y los accesorios de conexión se localizan fuera del tanque. La espalda, piernas del operador y el medio ambiente, están más expuestos a la contaminación con la solución contenida en el tanque.

El equipo esta formado por un tanque de plástico o polietileno usualmente transparente para observar el contenido del caldo dentro del recipiente. El tanque tiene una escala graduada. Una bomba de accionamiento manual envía el caldo hasta una cámara de compresión la cual está ubicada dentro del tanque cuando el sistema de presión es interno y fuera del tanque cuando el sistema de presión es externo. Al accionar la palanca, una válvula permite el paso de agua desde el tanque hasta la cámara la cual inicialmente esta ocupado por aire. En cada accionamiento de la palanca, el agua ingresa a la cámara y comprime el aire que inicialmente se encuentra en la cámara. Cuanto más veces se accione la palanca más presión se genera en la cámara. Al abrir la llave de paso que permite la salida del líquido por la boquilla, la presión se libera. La velocidad de salida de la solución por la boquilla está en función del diámetro del orificio de la boquilla y de la presión que alcanza la cámara.

Las presiones que se generan en las bombas de espalda son muy variables. 80 libras por pulgada cuadrada (5.6 bar) cuando la palanca baja y 30 libras por pulgada cuadrada (2.1 bar), cuando la palanca va hacia arriba. Estas diferencias de presión ocasionan diferencias de caudal y como consecuencia diferencias en el volumen aplicado por unidad de área.

Los fabricantes de pulverizadores han diseñado las válvulas de presión constante, que regulan la presión de trabajo y como consecuencia el volumen aplicado. Las válvulas, están diseñadas para operar a la presión que se seleccione. Cambiando un resorte puede trabajar a 15, 30 o 45 libras por pulgada cuadrada (1,2,3 bar).

Como se mencionó, las presiones generadas en los pulverizadores de espalda manual, son muy fluctuantes. Depende del ritmo de palanqueo y de la boquilla utilizada. Los tamaños de las gotas por lo tanto, serán variables. Considerando que no se trabaja con válvula de presión constante, la presión alcanza 60 psi (3.5 bar), al accionar la planca hacia abajo y 30 psi. (1.5 bar), al accionar la planca hacia arriba. Los tamaños de gotas puede consultarse en la información adjunta. Para boquillas 110-SF-01 a 60 psi., DVM es de 106 micras. Para 30 psi., DVM es de 122 micras. Si se utiliza boquillas tipo cono hueco JACTO ALUMINA JA1 equivalente al disco, D1.5 con nebulizador 13, o a la boquilla TX-4, se obtiene un DVM de 77 micras. Estos diámetros estan dentro de la categoría de "gotas finas", buenas para realizar una excelente cobertura, alto potencial para la deriva.



LOS PULVERIZADORES DE ESPALDA MOTORIZADA

En Costa Rica existen 10 marcas de equipos pulverizadores de espalda motorizados que luchan por una participación de mercado. Existen los de turbina y los de presión controlada, ambos accionados por motores de gasolina de dos y cuatro tiempos.

En estos equipos, el motor de gasolina acciona una turbina o un eje que hace funcionar una bomba. La turbina produce determinada corriente de aire, la cual es impulsada a través de un ducto a una velocidad entre 300 y 400 kilómetros por hora. Un caudal fluye del tanque hasta la salida del aire y empuja la solución con fuerza, la cual alcanza distancias horizontales entre 7 y 10 metros. Normalmente existe una llave de paso que regula el caudal de la solución. La tendencia del mercado mundial es adaptar boquillas reguladoras de caudal de forma tal que, en el campo, el operador no pueda modificar el caudal de descarga.

Los equipos producen gotas mucho más pequeñas que los de espalda manual. El aire que produce la turbina agita el follaje y permite que la solución ingrese hasta el centro de la planta. Las hojas se voltean y expone el envés contribuyendo a una mejor distribución. MABBETT, T. Asegura que "las aspersoras motorizadas de espalda con ventilador producen gotas más pequeñas, concentradas en un rango de tamaño más reducido que las aspersoras convencionales, de modo que pueden cubrir los cultivos con un menor volumen de líquido."

Existen equipos con bomba centrífuga que toman el líquido del tanque e impulsa ese caudal hasta la salida. La ventaja del equipo con bomba centrífuga, consiste en que el brocal de salida puede estar más alto que el recipiente donde se localiza la solución, pues éste no debe bajar por gravedad. Además, se logra una mayor homogeneidad en la mezcla porque parte del caudal que envía la bomba se retorna al tanque para que sirva como agitador hidráulico y la descarga de la solución es más homogénea, el caudal sale impulsado por una bomba, independiente del nivel de líquido en el depósito.

Además de la bomba centrífuga, puede colocarse una turbina o un brocal de largo alcance en la salida del ducto que conduce el aire y empuja el caudal de la solución. Cuando se instala una turbina o atomizador rotativo se generan gotas de espectro pequeño, mediante fuerza centrífuga. Las gotas son fraccionadas en tamaños adecuados para obtener buena penetración y cubrimiento pues la salida tiene un gran ángulo de abertura, produciendo una amplia faja de aplicación. La generación de las gotas con baja velocidad terminal permite que el operador pueda trabajar cerca de las plantas con alta eficiencia. Sin información suministrada por JACTO, el DVM, cuando la turbina gira a 7000 rpm, es de aproximadamente, 53 micras.

Si no se instala la turbina puede colocarse un brocal de largo alcance, diseñado para que la velocidad de salida del aire sea mayor pues no se pierde energía dando rotación a la turbina. El aumento en la velocidad de salida permite alcanzar mayores distancias horizontales y verticales. Muy utilizados cuando se pulverizan árboles de porte alto. Según CASTRO C., en una evaluación física de las aplicaciones de tres equipos, encontró que un pulverizador con brocal, genera un DVM, de 84 micras.



En equipos de presión controlada, el motor acciona una bomba que impulsa el líquido a través de una boquilla. Los equipos producen aplicaciones con gotas pequeñas pues usualmente trabajan con boquillas tipo cono de diámetro muy reducido y a presiones de 250 libras por pulgada cuadrada (17.6 bar). Una boquilla JACTO JA1, operando a 225 psi. (15.8 bar), produce una gota con DVM de 61 micras.

Los equipos diseñados para aplicaciones de ultra bajo volumen, conocidos como CDA (Controlled Droplet Application), están diseñados especialmente para la aplicación de insecticidas y fungicidas. Se requieren ambientes donde no hay movimiento natural de aire es decir ambientes controlados bajo techo. Una batería de 12 voltios genera la energía para operar. Los tamaños de las gotas son de aproximadamente 60 micras, cuando la velocidad del disco gira a 10000 rpm.

LOS PULVERIZADORES TRACTORIZADOS

Existen en Costa Rica 5 marcas que luchan por una participación de mercado. Equipos para adaptar al sistema de levante hidráulico del tractor, con capacidades en el tanque de 400, 600 y 800 litros. Equipos de arrastre, con capacidad en el tanque de 1000, 2000 y 3000 litros. Básicamente los pulverizadores, están formados por un chasis en el que descansa el tanque que posee una escala graduada para observar el volumen de la solución, un filtro que impide el paso de las impurezas del tanque a la bomba, una bomba de pistones o de diafragma y un regulador de presión. Puede estar previsto de enroladores de manguera para aplicaciones dirigidas con lanza o pistolas, una barra pulverizadora, una turbina o un cañón. Las aplicaciones de volumen por unidad de área en estos equipos es más fácil de controlar que los mencionados anteriormente porque la presión y la velocidad de avance, bajo condiciones de buena operación, son constantes.

PULVERIZADORES DE BARRAS

Los pulverizadores tractorizados son construidos siguiendo un circuito hidráulico. Más allá del regulador de presión, el caudal enviado por la bomba, es dirigido hacia una barra pulverizadora, que tiene boquillas espaciadas usualmente a 0.35, 0.40 o 0.50 metros. El caudal de descarga de cada boquilla es muy constante, depende de la presión de operación y del diámetro del orificio de la boquilla. El código de colores impuesto hace varios años,

permite observar fácilmente que todas las boquillas tengan el mismo color a lo largo de la barra y como consecuencia el mismo caudal. La presión de operación es poco variable, cuando la entrada de la tubería o manguera que transporta la solución desde el regulador de presión, lo hace por el centro de la barra, disminuyendo las pérdidas de presión, ocasionadas por la fricción. Para una misma boquilla y a la misma presión, igual caudal de descarga.

Existen dos tipos de pulverizadores de barras. El convencional y el asistido con una cortina de aire. Los últimos tienen como propósito evitar que el producto pulverizado sea llevado por el viento. La cortina de aire sale a un lado de la descarga de las boquillas a una velocidad de hasta 90 km/h y envía las gotas en dirección al follaje.

M.J. MAY encontró cerca del 50% en la reducción de la deriva, utilizando pulverizadores con barras con cortina de aire. El mismo autor realizó pruebas de medición de deriva y encontró utilizando papel colector colocado a 5 metros de la punta de la barra, una disminución del 42% de la deriva cuando la velocidad del aire que sale por la cortina es de 43 km/h. Al aumentar la velocidad del aire a 83 km/h la disminución es de 53%.

La cortina de aire permite bajar el volumen aplicado por área sin causar disminución en la calidad de la aplicación. El Dr. MAY determinó un aumento de 51% en el impacto de la solución sobre el follaje cuando se utilizó la barra asistida por aire.

Al disminuir el volumen por área se obtiene mayor producción diaria, menor número de abastecimiento del tanque, reducción en el uso de fertilizantes foliares, menor contaminación ambiental, del operador y en resumen mejor relación costo beneficio.

Los diámetros de las gotas puede observarse en la información adjunta, en función del tipo de boquilla seleccionada y la presión de operación.

PULVERIZADORES TIPO CORTINA DE AIRE

Son similares a los descritos en el apartado anterior. La cortina de aire sale en forma lateral y no hacia abajo como en el caso de los equipos de barra asistida por aire. Están diseñados para la aplicación en cultivos de porte alto como mango, cítricos, macadamia.

DESTAILLATS E. los describe como pulverizadores que "en su parte posterior tenían poderosos ventiladores centrífugos bidireccionales o axiales, el producto era proyectado por una bomba de alta presión contra la corriente de aire de alta velocidad del ventilador, el líquido se fragmentaba en gotitas y era acarreado hacia los árboles por la corriente de aire".

Los últimos modelos se construyeron con ventanas grandes y pequeñas para provocar altas y bajas velocidades de salida del aire. El flujo de aire mueve el follaje y las gotas penetran hasta el centro del árbol. El mismo autor menciona "la resistencia a la flexión de los pecíolos y las ramas más delgadas admite y agita el aire lanzado por el ventilador de la pulverizadora, en un proceso desordenado pero eficaz. Las gotas arrastradas por el aire chocan con el follaje, ramas y frutos y se depositan sobre ellos. Si se observa el juego de la luz en el follaje de una planta sometida a una corriente de aire variable, se verán

alternativamente las superficies superior e inferior de las hojas en un efecto llamado "efecto espejo" que es el principal causante de una buena pulverización. El volumen de aire impulsado hacia el árbol debe ser de dos a cuatro veces el volumen del follaje".

El pulverizador ARBUS 2000 JACTO, con una rotación en el ventilador de 1950 rpm., genera un volumen de aire de 1020 metros cúbicos por minuto y una velocidad de salida de 145 kilómetro/ hora. Requiere un tractor con potencia mínima de 80 Cv.

PULVERIZADORES TIPO CAÑÓN DE AIRE

Equipo para uso terrestre de acople al sistema hidráulico del tractor, diseñado par sustituir las aplicaciones aéreas. Cuando la toma de fuerza del tractor gira a 540 rpm., acciona una turbina que gira a 3000 rpm., produciendo un volumen de aire de 156 metros cúbicos por minuto y una velocidad de aire por el ducto de 270 kilómetros por hora. El alcance del flujo de aire cargado de líquido en suspensión varía entre 30 y 40 metros, para condiciones de "sin viento" y viento de 10 km/ hora, respectivamente. El volumen aplicado por área puede ajustarse de 20 a 430 litros por hectárea.

Una bomba centrífuga es la encargada de tomar un determinado volumen de solución del tanque y enviarlo hasta la salida del ducto donde la empuja el flujo de aire proveniente de la turbina.

EQUIPOS ESTACIONARIOS

En estos podemos agrupar las bombas acopladas a motores de combustión interna o eléctricos y los tractorizados diseñados para aplicaciones dirigidas en lanza o pistola pulverizadora. Las aplicaciones que se logran con estos equipos son muy variables. Basicamente se utilizan en condiciones topograficas difíciles. La variación en la elevación de los lotes, aumento en la longitud de la manguera para llegar hasta esos lotes, hace que cambie la presión de descarga de las boquillas o pistolas pulverizadoras. Si el equipo utiliza lanza puede corregirse utilizando una válvula de presión constante. Al utilizar pistolas, producto de las diferencias de presiones se generan difereencias de caudal que no permiten aplicaciones constantes de volumen por área.

Los tamaños de los motores que debe seleccionarse está en función de la velocidad de giro de la bomba y de la presión que se desee alcance el pulverizador.

Para una bomba que gira a 800 rpm., suministra un cauda de 42 litros por minuto a 450 psi. (32 bar), se requiere 3.2 Cv. El acople a un motor de combustión interna (gasolina) con un rendimiento de 65%, la potencia mínima del motor debe ser de 5.5 Cv. El sistema de transmisión por faja permite estimar los diametros de las poleas que debe adaptarse.

El producto del diámetro de la polea de la bomba por la velocidad de giro de la bomba debe ser igual al diámetro de la polea del motor por la velocidad de giro dle motor. Usualmente los motores de combustion interna tienen velocidades de 3600 rpm. Los motores eléctricos, a 3600 y 1700 rpm. La bomba JACTO JP42, esta diseñada para girar a 800 rpm., suministrando un caudal de 42 litros por minuto. Trae acoplada una polea de 250

mm. de diametro. Un motor de combustion interna que gira a 3600 rpm., requiere una polea de con diametro estimado en 55 mm.

EQUIPOS PULVERIZADORES



EQUIPOS PULVERIZADORES





REGISTRO DE FERTILIZANTES

Aura Jiménez, Ing.

1. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del desarrollo técnico de la actividad agropecuaria del país, ha aumentado considerablemente el empleo de fertilizantes, material técnico y sustancias afines. Dada la necesidad de garantizar a los usuarios de dichos productos la calidad, composición y cualidades atribuidas a los mismos por sus registrantes, fabricantes, importadores, distribuidores y vendedores, y con el fin de protegerlos en su actividad agrícola, el Estado como parte de sus objetivos de estimular y mejorar la producción agropecuaria, también vela porque los productos usados sean de óptima calidad, previniendo daños personales y materiales y la destrucción de los recursos naturales (Decreto N°27973, 1998).

En febrero del 2000 mediante Decreto N°28429-MAG-MEIC, se aprueba el reglamento técnico RTCR 316:1999 para fertilizantes, material técnico y sustancias afines. Debido a que las regulaciones sobre el registro de fertilizantes eran del año 1954, se consideró necesario revalidar la información básica sobre la materia y poder contar con registros de fertilizantes acordes con los requerimientos actuales.

Este reglamento técnico tiene por objeto crear el registro oficial de fertilizantes, formulados, material técnico y sustancias afines de uso en la agricultura, así como el registro de las personas naturales y jurídicas. Estos registros no otorgan respecto a terceros, derecho alguno sobre la propiedad comercial de los productos ni confieren ningún derecho preferente, exclusivo, absoluto u oponible en cuanto a la importación, exportación, fabricación, formulación, empaque, envase, venta o uso de estas sustancias y materiales que busca proteger (La Gaceta 2000).

2. INSCRIPCIÓN DE FERTILIZANTES

De acuerdo con el reglamento anteriormente mencionado, fertilizante es todo producto orgánico o inorgánico natural o sintético que aplicado a las raíces, o al follaje de las plantas suministra uno o más de los nutrimentos necesarios para su crecimiento.

Existen requisitos legales y reglamentarios para la inscripción entre los que se consideran:

- ⇒ Compañía debe estar inscrita en el MAG
- ⇒ Solicitud de registro
- ⇒ Carta de garantía del pago de dos análisis químicos
- ⇒ Certificado de análisis químico
- ⇒ Uso agronómico
- ⇒ Etiquetas
- ⇒ Productos que consistan en formulación novedosa requieren presentar los estudios de eficacia

Como se muestra en la Figura 1, para inscribir un fertilizante el interesado debe presentar la correspondiente “Solicitud de Registro” ante el Ministerio. Cada solicitud de inscripción es válida solo para un producto.

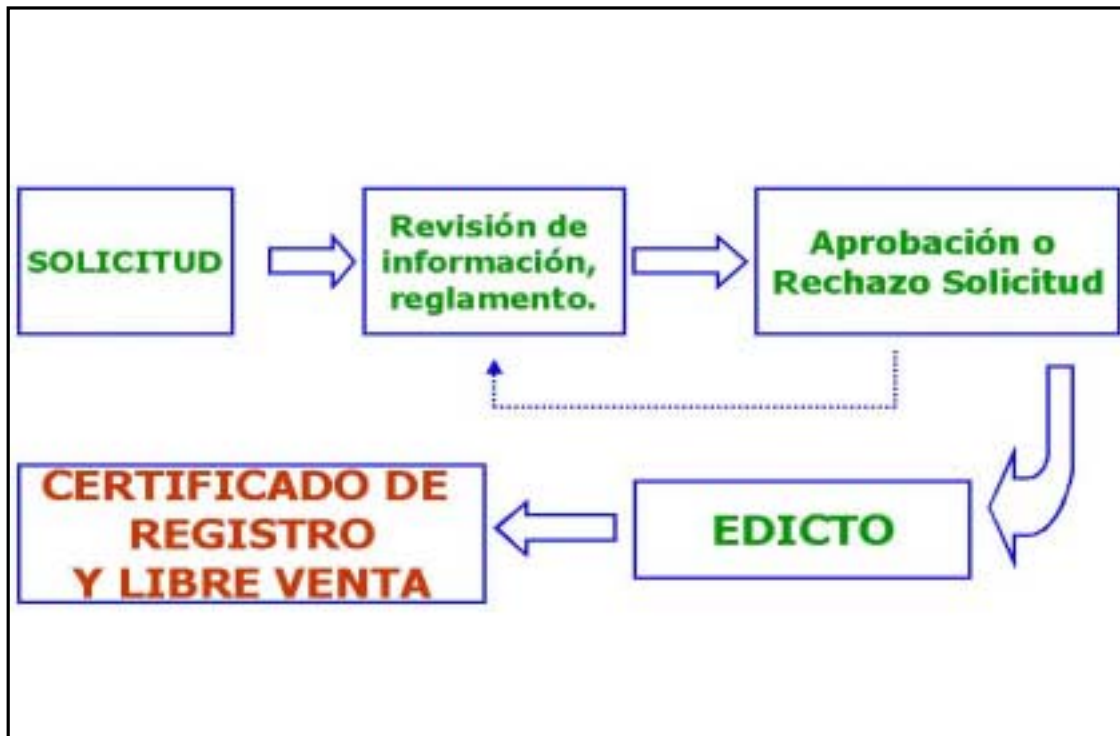


Figura 1. Diagrama de inscripción de un fertilizante

La solicitud de registro debe incluir:

- ⇒ Nombre, calidades y domicilio del registrante y del regente agrónomo.
- ⇒ Nombre comercial, composición química, estado físico, clase y tipo del producto, nombre del fabricante y dirección.
- ⇒ Tipo y tamaño de los empaques y envases.

En el caso del certificado de análisis químico los requisitos a cumplir son:

- ⇒ Debe estar refrendado por un químico acreditado.
- ⇒ Debe contener información de acuerdo con la clase de producto:

Productos inorgánicos

- N-P-K + elementos menores

Productos orgánicos

- Lombricompost

Productos enmiendas

- carbonato de calcio
-

Los certificados de análisis de fertilizantes deben contener la siguiente información de acuerdo con la clase de producto (si un producto contiene más de una clase, el certificado deberá contener la información de cada una de ellas):

Productos inorgánicos

- Nitrógeno total..... %
- Biuret en urea..... %
- Fósforo total..... %
- Fósforo asimilable..... %
- Fósforo insoluble en citrato soluble en agua..... %
- Potasio soluble como K₂O..... %
- Magnesio como MgO..... %
- Calcio como CaO..... %
- Azufre combinado como S..... %
- Otros nutrimentos expresados como elementos..... %
- Nutrimentos quelatados como el elemento..... %
- Agente quelatante (indicando de cuál se trata)
- Indicar solubilidad en agua del producto final..... %
- Índice salino..... %
- Presencia de otros elementos incluyendo contaminantes %
- Fuente de los elementos declarados en el producto
- Densidad 20 C en g/ml (para líquidos).- El porcentaje debe declararse en peso/peso o en peso/volumen, dependiendo del estado físico del producto.

Producto orgánico natural u orgánico sintético y sus mezclas

- % de materia orgánica
- % nitrógeno total
- Relación C/N
- % de carbono
- Contenido de Ca, K, Fe, Zn, Cu, Mn
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- Peso por volumen (g/ml)
- Retención de humedad a 2 puntos (1/3, 15 bares)
- Declarar si es natural y/o sintético y el porcentaje de cada uno
- Indicar la fuente de los elementos declarados en el producto terminado
- pH
- % nitrógeno soluble
- % de humedad

Una vez recibida la solicitud de registro el Ministerio revisa la información y puede aprobar o rechazar la solicitud. Si se aprueba la administración dictará una resolución en la que tendrá por presentados o cumplidos los requisitos prevenidos y procederá a inscribir el producto y otorgarle un número de registro en el libro de inscripciones. Cuando se autoriza la inscripción se ordenará la publicación en el diario Oficial "La Gaceta" con una breve descripción de la misma. Al solicitante se le entregará el certificado de registro correspondiente. El ministerio denegará o cancelará el registro de un fertilizante, cuando se compruebe que la información o documentación aportada al registro es falsa o cuando se demuestre que se perjudica al medio ambiente, la salud y la agricultura.

3. ETIQUETADO DE FERTILIZANTES

3.1 Etiquetado de una cara para empaques de más de 10 kg y/o 10 L

LOGO DE LA COMPAÑÍA, FABRICANTE, FORMULADOR o DISTRIBUIDOR:	
NOMBRE COMERCIAL (MARCA REGISTRADA, FORMULA QUÍMICA Y CONCENTRACIÓN):	
CLASE Y TIPO:	
COMPOSICIÓN QUÍMICA**:	P/V
	%
	TOTAL 100 %
CONTENIDO NETO:	
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL FABRICANTE:	
IMPORTADOR:	
Nº REGISTRO MAG:	NÚMERO DE LOTE:
FECHA DE REGISTRO	PAÍS: COSTA RICA
USO AGRONÓMICO:	
** Indicar solamente aquellos elementos que se encuentran en cantidades declarables > a 100 ppm.	

3.2 Etiquetado de dos caras para empaques y/o envases menores de 10 kg y/o 10 L

CARA DELANTERA

ALTO LEA ESTA ETIQUETA ANTES DE MANIPULAR EL PRODUCTO

LOGO:

NOMBRE COMERCIAL, MARCA REGISTRADA

CONCENTRACIÓN* , FORMULACIÓN:

CLASE Y TIPO

COMPOSICIÓN QUÍMICA:

	P/P ó P/V**
Ingrediente activo	%
Ingredientes inertes	%
Total	100 %

CONTENIDO NETO

NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL FABRICANTE Y / O FORMULADOR* Y
DISTRIBUIDOR:

MEDIDAS PARA LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE:

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE:

AVISO DE GARANTIA:

**Aquellos elementos que estan en cantidades significativas (> 100 ppm)

CARA POSTERIOR

**NO USE EL PRODUCTO EN FORMA DIFERENTE A LO
INDICADO EN ESTA ETIQUETA**

INSTRUCCIONES DE USO:

PREPARACIÓN DE LA MEZCLA:*

METODO DE APLICACIÓN:

CULTIVO: NOMBRE COMUN Y CIENTÍFICO

DOSIS: S.M.D **

EPOCA Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN:

COMPATIBILIDAD Y FITOTOXICIDAD:*

IMPORTADOR:

NUMERO DE REGISTRO MAG:

FECHA DE REGISTRO:

PAIS: COSTA RICA

FECHA DE VENCIMIENTO*

NUMERO Y FECHA DE PERMISO DE REEMPAQUE Y/O REENVASE

NÚMERO DE LOTE Y FECHA DE PRODUCCIÓN

* Cuando proceda

** Sistema métrico decimal

3.3 TARIFAS

Inscripción de compañía	¢ 18.825,00
Inscripción de productos	18.215,00
Certificados de libre venta	3.645,00
Anotaciones marginales	3.645,00

BIBLIOGRAFÍA

Decreto 27041-MAG-MEIC. RTCR 176. 1991. Agroquímicos. Toma de Muestra.

Decreto 27069-MAG-MEIC. RTCR 228. 1996. Fertilizantes, Tolerancias permitidas para la concentración de los elementos.

Decreto 28429-MAG-MEIC. RTCR 316. 1999. Fertilizantes, Material Técnico y Sustancias Afines, Registro. La Gaceta, 14 de febrero 2000.

Decreto 27973-MAG-MEIC. RTCR 318. 1998. Laboratorio para el Análisis de Sustancias Químicas y Biológicas de Uso en la Agricultura. Reglamento.

FERTILIZACIÓN FOLIAR DE PLANTAS ORNAMENTALES

Rafael E. Salas, Ph.D.

1. INTRODUCCIÓN

Para muchos de los cultivos ornamentales no es posible encontrar o proveer condiciones ambientales suficientemente consistentes, como para tener producción continua todo el año. La temperatura es un factor crítico en el desarrollo y producción de muchos ornamentales, no siendo las bajas temperaturas (congelamiento) las únicas importantes, ya que muchos ornamentales crecen y producen bien en ámbitos de temperaturas muy estrechos y en algunos casos, como ocurre con ornamentales de flores, no se producen a temperaturas muy altas o muy bajas.

Además de la temperatura, los ornamentales requieren como todas las plantas de suficiente agua pero no en exceso. Estas plantas deben crecer en ambientes bien drenados y con el suministro de agua a su debido tiempo. Además, el control de la humedad relativa es también muy importante. El movimiento de aire por viento es bueno para las plantas, sin movimiento de aire se pueden producir problemas de enfermedades, y con vientos excesivos se pueden tener daños físicos en las plantas, por la condición climática tan cambiante en la posición geográfica en donde nos encontramos.

El uso de invernaderos de diferente tipo y construcción, ha permitido desarrollar el cultivo de una gran variedad de ornamentales. En este documento en particular se presentarán algunos aspectos importantes de la fertilización foliar en ornamentales bajo invernadero. La producción de ornamentales ha sufrido una serie de cambios constantes, lo que ha obligado a perfeccionar más la relación que existe entre los sustratos, el riego, fertilidad y nutrición mineral de las plantas. Cuando se trabaja con ornamentales bajo invernadero, el sistema de riego juega un papel muy importante y resulta indispensable comprender la relación planta-suelo-agua, ya que los tres aspectos influyen sobre el momento apropiado para realizar las diferentes prácticas agrícolas en el cultivo. Antes de comentar diversos aspectos de la fertilización foliar en ornamentales, es importantes revisar otros componentes que influyen en el adecuado manejo de la nutrición de las plantas.

2. SUSTRATOS

La mayoría de los suelos naturales poseen ciertas propiedades que son inherentes a ellos, y tan es así, que son clasificados según estos atributos. Por lo tanto, cuando se examina el potencial productivo de un suelo dado, se puede estar relativamente seguro de que de acuerdo con sus propiedades, el suelo se comportará de una forma particular. Sin embargo, esto no es cierto cuando se utilizan sustratos para cultivar plantas, como es el caso de algunos ornamentales. La mayoría de los sustratos que existen, son una mezcla de uno o varios componentes, pero las propiedades físicas y químicas del medio resultante no siempre son iguales a la suma de las partes.

Las funciones del sustrato en una producción de ornamentales cumple varias funciones; entre ellas se destacan: proporcionar agua, suministrar nutrimentos, permitir el intercambio

de gases desde y hacia las raíces y proporcionar soporte a las plantas. Algunos materiales en forma individual pueden proveer las cuatro funciones antes indicadas, pero no el nivel apropiado de cada una de ellas. La arena por ejemplo, permite un adecuado soporte e intercambio de gases, pero presenta insuficiente retención de humedad y nutrimentos.

3. FERTILIZACIÓN AL SUELO EN ORNAMENTALES

En la fertilización de ornamentales se realizan dos tipos de fertilización: una denominada presiembra y otra post-siembra. La primera de ellas se realiza con el objeto de establecer un suficiente suministro de nutrimentos al sustrato para satisfacer las necesidades de la planta al inicio de su desarrollo. Los fertilizantes presiembra pueden incluir la mayoría de los nutrimentos esenciales, pero generalmente incluyen el calcio y el magnesio con el objeto de ajustar el pH del suelo y/o del sustrato. Además, se aplica nitrógeno, potasio y fósforo, para promover el desarrollo tanto de la parte aérea como del sistema radical.

La fertilización post-siembra o de mantenimiento, estará conformada por aquellos elementos que la planta va requiriendo en su ciclo de cultivo y que el suelo no supe o no es capaz de suplirlos permanentemente.

4. FERTILIZACIÓN FOLIAR DE PLANTAS ORNAMENTALES

Actualmente se reconoce que la nutrición foliar solamente puede complementar y en ningún momento sustituir la fertilización al suelo. Esto se debe a que las dosis de aplicación que pueden suministrarse por vía foliar son muy pequeñas, en relación con los niveles de fertilización utilizados por los cultivos para alcanzar altos rendimientos y los ornamentales no son una excepción. Los nutrimentos deben penetrar la cutícula del follaje o los estomas para entrar en la planta. Este método de fertilización provee una utilización más rápida de los nutrimentos y permite la corrección de deficiencias de nutrimentos en menor tiempo que se realiza por aplicación al suelo.

La justificación de la fertilización foliar se da cuando se tiene una limitante muy severa a nivel radicular que afecta la absorción y eficiencia de nutrimentos aplicados al suelo. Una vez aplicados los fertilizantes al suelo, estos sufren una serie de reacciones y transformaciones y están sujetos a procesos que determinan pérdidas importantes de los nutrimentos a quedar fuera del alcance de las raíces. Dentro de estos procesos se tiene a la lixiviación, que es la pérdida de nutrimentos por arrastre por el agua tanto a nivel horizontal como vertical en el suelo. Dentro de los elementos más fácilmente lixiviados están el nitrógeno, principalmente en su forma nítrica (NO_3), por ser un anión débilmente retenido y muy móvil en el suelo. El potasio, aunque en menor proporción que el nitrógeno, también se pierde por lixiviación. Sin embargo, su condición de catión le facilita una relativa estabilidad en el suelo. El fósforo, por ser un elemento poco móvil, las pérdidas por lavado son menores. Otros elementos como el calcio, magnesio, azufre también están sujetos a la lixiviación. La magnitud de las pérdidas de nutrimentos por lixiviación en el suelo depende de varios factores entre los que se destacan:

- 1- Frecuencia e intensidad de las lluvias
- 2- Textura y estructura del suelo
- 3- Tipo de arcilla predominante
- 4- Contenido de materia orgánica
- 5- Uso y manejo del suelo
- 6- Tipo de fertilizante aplicado

Otro proceso importante de considerar en el suelo es la fijación, que se refiere a una serie de reacciones de transformación que sufren los nutrimentos una vez que se aplican al suelo, como resultado de esas transformaciones los elementos aplicados pasan a estados químicos no disponibles para las plantas. Uno de los elementos más afectados por el proceso de fijación es el fósforo, el cual dependiendo del tipo de suelo, se puede fijar hasta un 95% de lo aplicado. En menor proporción el nitrógeno y el potasio pueden ser fijados por arcillas expandibles, aunque no se han reportado cantidades considerables. Al igual que la lixiviación, la fijación depende de varios factores; en el caso del fósforo, nitrógeno, potasio y otros elementos se destacan:

- 1- pH del suelo
- 2- Tipo de arcilla predominante
- 3- Contenido de óxidos de hierro y/o aluminio
- 4- Contenido de materia orgánica
- 5- Tipo de fertilizante fosfórico aplicado
- 6- Época y forma de aplicación
- 7- Incidencia de ciclos secos y lluviosos

La pérdida en forma de gas es otro factor que afecta eficiencia de la fertilización al suelo. En particular la pérdida más considerable es la que produce con el nitrógeno especialmente por la transformación del amonio a amoniaco. En varios cultivos, se han reportado pérdidas hasta del 60% de lo aplicado. Los factores que colaboran en este tipo de pérdida son:

- 1- Tipo de fertilizante nitrogenado
- 2- Forma de aplicación
- 3- Temperatura ambiente
- 4- pH del suelo
- 5- Cantidad de bases cambiables

Otra forma de pérdida nitrogenada es lo que se conoce como denitrificación, que ocurre cuando el fertilizante nitrogenado, en particular la forma nítrica, se convierte a formas gaseosas del nitrógeno (NO, N₂O, N₂) cuando el suelo tiene mal drenaje y hay falta de aireación.

La actividad de los microorganismos del suelo, pueden bajo ciertas circunstancias producir la inmovilización temporal de nutrimentos y disminuir la disponibilidad de los nutrimentos aplicados con la fertilización. Este tipo de proceso afecta principalmente al nitrógeno, fósforo y el azufre.

Los factores anteriormente mencionados disminuyen la disponibilidad y eficiencia de los nutrimentos adicionados al suelo. Bertsch (1995) indica que la eficiencia de la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica, oscila entre 50 y 70%, 30 y 50%, y entre 60 y 80% respectivamente.

La fertilización foliar también es muy importante para suplir nutrimentos en los momentos de mayor demanda y que las condiciones del suelo no permite suministrar adecuadamente. Las curvas de absorción de nutrimentos, demuestran que las plantas dependiendo de su especie, requieren más nutrimentos en diferentes estados fenológicos, como es el caso del nitrógeno cuya demanda se incrementa durante los períodos de crecimiento acelerado, floración y fructificación y del fósforo durante el desarrollo radical. El potasio aumenta su requerimiento durante el proceso de producción de la planta. Es en estos momentos, donde la fertilización foliar como complemento puede cumplir un papel muy especial para obtener mayor productividad.

El estado nutricional es un factor muy importante en la resistencia o susceptibilidad de la planta a las enfermedades. Plantas bajo una condición de estrés nutricional son más susceptibles a enfermedades, al igual que plantas con exceso de ciertos nutrimentos pueden estar predispuestas también (Piening 1989). Los elementos minerales en la planta están directamente relacionados con todos los mecanismos de defensa de la planta al ser componentes de las células, sustratos, enzimas, acarreadores de electrones, o como activadores, inhibidores y reguladores del metabolismo (Hubber 1980).

Altos contenidos de nitrógeno generalmente aumentan la resistencia a patógenos facultativos en tejidos tiernos, pero aumenta la susceptibilidad a patógenos obligados (Kiraly 1976). Esta diferencia de respuesta es el resultado de la diferencia en requerimientos nutricionales de los dos patógenos.

Patógenos obligados requieren de asimilados suministrados por las células vivas mientras que los patógenos facultativos son semisaprófitos que prefieren los tejidos senescentes o producen toxinas que dañan o matan las células vivas. Por esta razón, cualquier factor nutricional que mantenga las actividades metabólicas y sintéticas de las células de las plantas, aumentan la resistencia a los patógenos facultativos (Marschner 1995).

Aún cuando el fósforo está relacionado con procesos vitales para la planta, su papel en la resistencia a enfermedades es muy variable y un poco inconsistente (Kiraly 1976). La literatura indica una amplia relación entre el potasio y la resistencia a enfermedades. Generalmente, la fertilización con potasio reduce la intensidad de varias enfermedades infecciosas causadas por patógenos facultativos y obligados. Los cuadros 1 y 2 muestran el efecto de altas y bajas dosis de nitrógeno y potasio en la resistencia a ciertas enfermedades.

Cuadro 1. Efecto de altas y bajas concentraciones de nitrógeno en la severidad de algunas enfermedades

Patógeno o enfermedad		Bajo N	Alto N
Parásitos obligados	<i>Puccinia graminis</i>	*	***
	<i>Erysiphe graminis</i>	*	***
	<i>Plasmiodiophora brassicae</i>	*	*
	Tobacco mosaic virus	*	***
Parásitos facultativos	<i>Xanthomonas vesicatoria</i>	***	*
	<i>Alternaria solani</i>	***	*
	<i>Fusarium oxysporum</i>	***	*

* Severidad de enfermedad baja

*** Severidad de enfermedad alta

Tomado de Kiraly 1976

Cuadro 2. Efecto del potasio y del calcio en la severidad de algunas enfermedades

Patógeno o enfermedad	Bajo K	Alto K	Bajo Ca	Alto Ca
<i>Puccinia graminiae</i>	***	*		
<i>Alternaria solani</i>	***	*		
<i>Fusarium oxysporum</i>	***	*		
<i>Xanthomonas oryzae</i>	***	*		
Tobacco mosaic virus	***	*		
<i>Erwinia phytophthora</i>			***	*
<i>Rhizoctonia solani</i>			***	*
<i>Sclerotium rolfsii</i>			***	*
<i>Botrytis cinerea</i>			***	**
<i>Fusarium oxysporum</i>			***	*
Jonathan spot (nonparasitic)			***	**
Bitter pit (nonparasitic)			***	**

* Severidad de enfermedad baja

*** Severidad de enfermedad alta

Tomado de Kiraly 1976

El calcio es un elemento muy importante en la integridad de todas las membranas y paredes celulares. Este ha sido considerado con el mecanismo principal que el calcio ofrece contra enfermedades como *Pythium*, *Sclerotium*, *Botrytis* y *Fusarium* (Graham 1983). Muchos problemas de desórdenes fisiológicos en frutas, vegetales, raíces y follaje tierno están relacionados con el contenido de calcio. El magnesio y el azufre aún con poca información al respecto, participa en el combate de ciertas enfermedades. El azufre se aplica para combatir varias enfermedades en papa. El magnesio en altas cantidades disminuye el contenido de calcio y predispone a la planta a enfermedades tales como *Rhizoctonia* y *Pythium* papa (Huber 1980). De los elementos menores, el zinc participa en la supresión de muchas enfermedades bacteriales y virales. El boro se relaciona con la resistencia a la planta, al ataque de diferentes tipos de hongos. Mientras que bajos contenidos de

manganeso hacen a la planta muy susceptible a hongos, bacterias y virus (Graham 1983, Huber, 1980).

El cobre, elemento muy usado en el combate de enfermedades, por su participación en la lignificación de tejidos y retardo de la senescencia de las hojas, es un microelemento esencial en el combate de enfermedades fungosas principalmente a *Alternaria*, *Pyricularia* y *Puccinia* (Graham 1983; Marschner 1995). El hierro también es importante en el control de enfermedades. Se reporta que aplicaciones foliares de hierro son muy eficientes en el combate de *Fusarium* en pastos y Wallace y North (1962) indican que el hierro puede enmascarar o corregir problemas de virus de plantas. El cloro por su actividad en el potencial osmótico de las plantas previene el ataque de enfermedades especialmente fungosas tanto a nivel radical como foliar (Christensen *et al.*1981). El silicio que es considerado como un elemento no esencial, juega un papel muy importante en la prevención de enfermedades al mejorar y fortalecer la estructura de la planta. La aplicación de silicio ha sido reportada como muy beneficiosa en el combate de enfermedades tales como la *Pyricularia* y *Helminthosporium* ya que un buen contenido de silicio en la epidermis de las hojas produce una barrera física a la entrada de los hongos (Yamauchi y Winslow 1987).

La aplicación de micronutrientos vía foliar es una manera muy eficiente de nutrir a las plantas. Como es conocido, los requerimientos de micronutrientos por los cultivos son muy bajos. Esto hace que la aplicación de tales nutrientes en soluciones de baja concentración sean muy apropiadas sin causar efecto fitotóxico. Además, la fertilización vía suelo de micronutrientos tiene el inconveniente de que las dosis de aplicación son muy bajas, lo que presenta problemas de uniformidad en la aplicación, lo que se evita con una aplicación foliar.

La aplicación foliar de nutrientes también presenta ciertas limitaciones tales como el riesgo de fitotoxicidad. Esta situación se presenta cuando las dosis a aplicar de ciertos elementos exceden ciertos valores. Como es obvio, la fertilización foliar será efectiva en la medida que la planta tenga un buen follaje. Por esa razón, la efectividad estará directamente relacionada al área foliar existente en el cultivo, lo que indica que en etapas iniciales de desarrollo del cultivo, la eficiencia de la fertilización foliar es muy reducida. Se ha estimado que en aplicaciones al inicio del desarrollo del cultivo, solo de 10 al 30% de la solución aplicada queda en el follaje, el resto cae al suelo. Las pérdidas por lavado de nutrientes en el follaje es otro factor a considerar, la acción de la lluvia, el viento o por acción de la gravedad son factores que afectan la eficiencia de la aplicación. Por esta razón, es muy importante el uso de aditivos.

La eficiencia agronómica de la fertilización foliar en ornamentales depende de varios factores, dentro de los que se destacan: (1) Tipo de planta. De los factores inherentes a la planta y que son controlados genéticamente son importantes el grosor y permeabilidad de la cutícula, el número de estomas, vellosidad o pubescencia de la superficie, ángulo de inserción de las hojas. Otros factores de planta son el contenido de nutrientes (antagonismos y sinergismos) y la función del nutriente a aplicar de acuerdo con el estado fenológico de la planta. (2) Factores ambientales. Son muchos los factores ambientales que afectan la eficiencia de la fertilización, dentro de los que destacan:

temperatura, luminosidad y fotoperíodo, humedad relativa, hora del día y humedad del suelo. (3) Sistema de aplicación. En la medida que sean controlados son importantes: concentración y tipo de solución, dosis de aplicación, pH de la solución, polaridad e higroscopicidad y productos utilizados en particular los adictivos o coadyudantes que aseguran una mejor cobertura y distribución de la solución sobre el follaje y ayudan la capacidad de penetración de los nutrimentos, disminuyendo las pérdidas. La combinación más apropiada de todos ellos se obtendrá a través de la experiencia y condiciones del medio.

Dentro de los aspectos prácticos que se deben conocer de las aplicaciones foliares sobresale la concentración de la solución. Si la solución no tiene la concentración apropiada se pueden producir quemaduras de follaje o puede ser muy diluida que no surca el efecto deseado. El Cuadro 3 ilustra un ejemplo práctico de cómo calcular la concentración apropiada de una solución foliar.

Cuadro 3. Cantidades de fertilizante requerido para una aplicación foliar a diferentes concentraciones en una hectárea de cultivo

Concentración, % fertilizante en solución	Gramos/litro	kg de fertilizante para 400 litros
0.5	5	2
1.0	10	4
1.5	15	6
2.0	20	8
2.5	25	10

La concentración máxima de una solución depende del tipo de fertilizante a aplicar. Con aplicaciones de alto volumen que producen gotas grandes, la concentración no debe exceder de 3 a 5%. Con aplicaciones de bajo volumen, la concentración puede ser de 12 a 15% y son más eficientes por el tamaño de la gota y la permanencia en el follaje. En el Cuadro 4 se presentan algunos fertilizantes en la concentración máxima tolerante para la mayoría de los cultivos.

Cuadro 4. Tolerancia de concentración de nutrimentos en aplicaciones foliares

Nutrimento	Fertilizante	Kg/400 L. agua (*)
Nitrógeno	Urea	3-5
	NH ₄ NO ₃ , (NH ₄) ₂ HPO ₄ ,	2-3
	(NH ₄) ₂ SO ₄ , NH ₄ Cl, NH ₄ H ₂ PO ₄	2-3
Fósforo	H ₃ PO ₄ , otros (ver N)	1,5 – 2,5
Potasio	KNO ₃ , K ₂ SO ₄ , KCl	3-5
Calcio	CaCl ₂ , Ca(NO ₃) ₂	3-6
Magnesio	MgSO ₄ , Mg(NO ₃) ₂	3-12
Hierro	FeSO ₄	2-12
Manganeso	MnSO ₄	2-3
Zinc	ZnSO ₄	1,5-2,5
Boro	Sodio borato	0,25-1
Molibdeno	Sodio molibdeno	0,1-0,15

(*) 400 L, cantidad suficiente para 1 ha de cultivo.

Tomado de Fageria *et al.* 1997

En general para realizar aplicaciones de fertilizantes foliares se deben tener en mente los siguientes aspectos:

- 1- Identificar bien la deficiencia antes de realizar la aplicación
- 2- Usar la adecuada concentración de nutrimento
- 3- Revisar bien los cálculos de concentración de la solución
- 4- Ajustar la concentración de acuerdo al tipo de sistema de aplicación
- 5- No realizar aplicaciones en días muy soleados y calurosos y con fuerte viento
- 6- Aplicar soluciones bien filtradas
- 7- Evitar realizar aplicaciones en días muy lluviosos
- 8- Utilizar los adecuados humectantes y adherentes
- 9- No esperar que la aplicación tenga un efecto prolongado

Algunos métodos correctivos de deficiencias nutricionales en plantas ornamentales vía aplicaciones foliares son:

- 1- Deficiencia de Nitrógeno: Aplicación de solución a base de urea de 0.25 a 0.50%
- 2- Deficiencia de Potasio: Aplicación de solución al 1.5% de nitrato de potasio
- 3- Deficiencia de Calcio: Aplicación de solución de 0.75 a 1% de nitrato de calcio
- 4- Deficiencia de Magnesio: Aplicación de solución al 2% de sulfato de magnesio
- 5- Deficiencia de Azufre: Aplicación de solución al 2% de sulfato de magnesio
- 6- Deficiencia de Zinc: Aplicación de solución de 0.1 a 0.5% de sulfato de zinc
- 7- Deficiencia de Hierro: Aplicación de solución al 2% de sulfato de hierro a 0.02 a 0.05% de quelato de hierro.
- 8- Deficiencia de Cobre: Aplicación de solución de 0.1 a 0.2% de sulfato de cobre
- 9- Deficiencia de Boro: Aplicación foliar de 0.1 a 0.25% de borato de sodio

10- Deficiencia de Molibdeno: Aplicación de solución de 0.07 a 0.1% de molibdato de amonio

11- Deficiencia de Manganeso: Aplicación de solución al 0.1% de sulfato de manganeso

5. EJEMPLOS DE EXPERIMENTOS CON FERTILIZACIÓN FOLIAR EN ORNAMENTALES

Son escasos los experimentos con aplicaciones foliares en ornamentales en el país, lo más reciente se relaciona con el cultivo de helechos “Hoja de cuero” realizada por González *et.al.* (1999). El experimento tuvo como objetivo determinar la absorción foliar de Ca, Mg, K, P, B, Fe, Mn, Zn, aplicados como fertilizantes foliares en tres estados de desarrollo de la planta (celes, sazona y madura). Los fertilizantes se aplicaron en forma individual en mezcla con el adherente-penetrante (solo el B y el P se aplicaron juntos). Los resultados se analizaron en términos de incremento de concentración foliar de cada elemento con respecto al testigo. La aplicación foliar de elementos mayores no incrementó el contenido foliar de los mismos en ninguna edad de la fronda, pero sí produjo una mejora cuantitativa de la producción. Los elementos menores aumentaron los niveles foliares en forma importante aunque su repercusión en producción no fue tan evidente; solamente el caso del hierro se observó que afectó negativamente la calidad de las frondas, al aumentar la producción de soros.

Cuadro 5. Porcentaje de incremento en la concentración de las parcelas aplicadas con fertilizantes foliares con respecto al testigo, para frondas celes, sazonas y maduras de helecho en 3 evaluaciones* y rendimiento de campo**

Estado de hoja	Momento de aplicación	Calynit	Quelato de Mg	Mascafé	Boro orgánico		Quelato de Fe	Quelatozín Plus	Quelato de Mn
		Ca	Mg	K	P	B	Fe	Zn	Mn
Celes	1 día	0	0	14	39	24	16	0	0
	7 días	38	4	16	11	4	52	100	144
	14 días	15	19	8	15		28	116	150
Sazonas	1 día	0	0	10	61	0	8	108	36
	7 días	0	0	9	0	38	21	71	96
	14 días	0	8	0	0		51	100	37
Maduras	1 día	0	3	0	33	0	31	271	4
	7 días	0	0	2	0	0	8	0	72
	14 días	17	0	13	14	0	228	89	118
Cosecha (# frondas /45 m ²)		688	1285	1133	1120		889	1061	1040
% fronda con espora		4.9	5.2	6.1	4.6		15.7	5.1	5.6

* El porcentaje de incremento se calculó mediante la siguiente fórmula: (Nivel foliar de parcela aplicada-Nivel foliar de parcela testigo x 100)/Nivel foliar de parcela testigo. Cuando el porcentaje es menor a cero, el valor se redondea a cero, debido a que no puede haber absorción negativa, dicha prueba es debida al error experimental.

** El rendimiento de la parcela testigo correspondió a 1000 frondas/45 m² y 63% de fronda con espora.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertsch F. 1995. La fertilidad de suelos y su manejo. 1^{ra} ed. ACCS. San José, Costa Rica.
- Christensen N.W., R.G. Taylor, T.L. Jackson, B.L. Mitchell. 1981. Chloride effects on water potentials and yield of winter wheat infected with take-all root rot. *Agron. J.* 73:1053-1058.
- Fageria N.K., Baligar V.C., Jones C.A. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A.
- González C. 1999. Absorción foliar de fertilizantes en helecho hoja de cuero (*Rumohra adiantiformis*). *In: XI Congreso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos.* P. 363.
- Graham R.D. 1983. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. *Adv. Bot. Res.* 10:221-226.
- Huber D.M. 1980. The role of mineral nutrition in defense, pp. 381-406. *In: J.G. Horsfall and E.B. Cowling (eds.). Plant Pathology. An advance treatise.* Academic Press, New York.
- Kiraly Z. 1976. Plant disease resistance as influenced by biochemical effects on nutrients in fertilizer, pp. 33-46. *In: International Potash Institute (ed.). Fertilizer use and plant health.* Bern, Switzerland.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Piening L.J. 1989. Fertilizer can reduce plant diseases, pp. 18-20. *In: PPI (ed.). Better Crops with plant food. Summer 1989.* Atlanta, Georgia.
- Wallace A., C.P. North. 1962. Metal chelates and virus disease, pp. 142-145. *In: A. Wallace (ed.). A decade of synthetic chelating agents in inorganic plant nutrition.* Edward Brothers, Ann Arbor, Michigan.
- Yamauchi M., M.D. Winslow. 1989. Effect of silica and magnesium on yield of upland rice in humid tropics. *Plant Soil* 113:265-269.

FERTILIZACIÓN FOLIAR DE HORTALIZAS EN INVERNADEROS

Guido C. Barquero, Ing.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el desarrollo de la plasticultura en cultivos protegidos en el ámbito mundial ha revolucionado el mundo de la producción vegetal. La superficie de invernaderos se ha incrementado notoriamente. En España de un área 3800 has pasaron a 42000 has de cultivo bajo invernadero de 1980 a 1994, mientras que Japón ha tenido un incremento de un 34% en ese mismo tiempo. Por su parte Colombia cuenta con 5000 has de invernadero y Argentina posee 2000 has cubiertas de las cuales, 1200 has son dedicadas a la producción de hortalizas.

En Centroamérica los cultivos bajo invernadero se remontan a unos diez años, iniciándose en el área de la floricultura y hace unos pocos años en el cultivo hortalizas.

Los nuevos conceptos de producción, la adaptación de nuevas tecnologías como el aprovechamiento de las condiciones controladas en invernadero nos obligan a adquirir mayores conocimientos para crear tecnologías adaptadas a cada una de las situaciones posibles de producción que se den en nuestro país.

Establecer un programa nutricional para un cultivo en invernadero depende de muchos aspectos teóricos y prácticos que deben establecerse para poder trabajar de una forma adecuada. Analizar por ejemplo, la relación de los fertilizantes a utilizar con el tipo de suelo y la planta es indispensable e independiente para cada cultivo y cada suelo.

Por lo tanto, el valor nutricional a utilizar depende de muchos aspectos como el tipo y la variedad del cultivo, el tipo de suelo, las condiciones del invernadero, su altura, el sistema de siembra, el uso o no de las coberturas, el sistema de dosificación o inyección y desde luego la forma en que se mezclen los nutrientes a utilizar y su calidad.

Desde el año 1997, en la zona de Carrizal de Alajuela se inició un estudio para medir cuales eran los requerimientos nutricionales adecuados que se necesitaban en el chile dulce y el tomate. Sin embargo, los resultados, que se fueron dando, iban siendo desactualizados en el mismo momento en que se mejoraban las condiciones del invernadero en que se estaba realizando la experiencia.

En el año 99 se llegó a un modelo que facilitó el manejo de los cultivos y con todas las experiencias acumuladas a través de dos años de trabajo se determinaron los requerimientos básicos de estos dos cultivos. Paralelamente se creó una propuesta de fertilización foliar exclusivamente a base de micro nutrientes que de acuerdo a la edad fenológica se convirtieran en proceso preventivo que luego fue complementario al manejo nutricional del suelo que se desarrollaba a través de fertirrigación.

2. INVERNADERO MODELO UTILIZADO

Consiste en una estructura individual de tipo arco, totalmente modular y armable, diseñado para que los arcos sean soportados por columnas verticales, únicamente en los costados, dejando completamente libre de obstáculos el área interna del invernadero.

Está confeccionado en tubo redondo galvanizado de diferentes diámetros, fijado a la estructura a través de una base de concreto con una plancha de metal. Por todo lo anterior es necesario una previa nivelación del terreno y el adecuado trazado de los puntos para la colocación de las bases fijas y puntos de partida del modulo.

Sus dimensiones son de 5,25 m de alto, 12 metros de ancho y el tamaño standard es de 52 metros de largo. Para una área efectiva de 624 m². Esta longitud se puede aumentar o disminuir en múltiplos de 4 metros. El techo está cubierto con una lamina plástica de polietileno. Sus paredes laterales están tapizadas con malla anti-insectos que permite la ventilación. La cara frontal y final del invernadero están tapizadas con una combinación de plástico y malla anti-insectos de acuerdo a la forma en que circula el viento la mayor parte del tiempo.

Este tipo de estructura, por su forma aerodinámica y por las características de los materiales con que se construyen, como son los tubos de diámetro apropiado y el hecho de ser reflectivos, reducen convenientemente el sombreado interno, siendo esto uno de los principales problemas en otros diseños de invernaderos los cuales llevan materiales que absorben la luz y cuyos diámetros mayores influyen de manera notoria en el aprovechamiento de la luz por las plantas, obligándolas a elongar sus tejidos para captar la luz necesaria para su desarrollo vegetativo, sacrificando en este proceso la energía destinada a la producción de flores y frutos, afectando también la homogeneidad en el desarrollo del cultivo. Además la altura de 5,25 metros, dentro del invernadero, permite aprovechar al máximo la relación vertical de producción y la vida útil de los cultivos, sin tener que recurrir a renovaciones frecuentes.

3. EXPERIENCIAS EN NUTRICIÓN FOLIAR EN INVERNADEROS EN COSTA RICA

En el año 1999, por fin se llegó a un modelo de invernado que lograba características ideales para la producción de chile y tomate, por lo tanto se afinó el programa nutricional a través de patrones de siembra con diferentes niveles y con evaluaciones foliares semanales para determinar cuales eran las curvas de requerimientos óptimos.

En el caso del programa de fertilización foliar se estableció un sistema de aplicaciones semanales con cuatro niveles diferentes de aplicación de Boro, Zinc, Hierro, Manganeso, Cobre y Molibdeno. Se realizó un monitoreo bisemanal desde los 15 días después de transplante hasta los 150 días en el caso del tomate. Para el chile dulce se continuó el monitoreo hasta el día 270 pero en forma mensual.

Los niveles que después de la tercera repetición consideré los más adecuados, correlacionando la respuesta en producción. Además siempre se utilizaron los mismos niveles nutricionales por fertirrigación de los macro nutrientes y secundarios. Estos datos los resumimos en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Fertilización foliar en chile dulce

Nutriente	Semanas				
	0-2	0,3 - 8	0,9 - 15	16 - 22	23 y más
	Gramos por cada 1000 plantas				
Ácido Bórico 17,5 % B,	9	22	38	30	30
Sulfato de Zinc 36% Zn, 18% S,	10	14	22	18	18
Sulfato de Hierro 20,8 % Fe, 11,5% S,	0	9	15	12	12
Sulfato de Cobre 25,2% Cu, 12,8% S	0	5	9	7	7
Sulfato de Manganeso 32% Mn, 18% S,	0	24	40	32	32
Molibdato de Sodio 39,7% Mo	0	0,75	1	1	1

Dosis semanales en gramos para cada 1000 plantas de chile dulce variedad Nathalie.

Cuadro 2. Fertilización foliar en tomate

Nutriente	Semanas				
	0 - 2	0,3 - 7	0,7 - 12	13 - 17	18 y más
	Gramos por cada 1000 plantas				
Ácido Bórico 17,5 % B	15	30	45	38	38
Sulfato de Zinc 36% Zn, 18% S	22	18	30	22	22
Sulfato de Hierro 20,8 % Fe, 11,5% S	0	12	20	15	15
Sulfato de Cobre 25,2% Cu, 12,8% S	0	7	10	9	9
Sulfato de Manganeso 32% Mn, 18% S	15	32	50	40	40
Molibdato de Sodio 39,7% Mo	0	1	1,5	1	1

Dosis semanales en gramos para cada 1000 plantas de tomate, variedad Electra.

Para determinar que estos valores son los más adecuados en las condiciones en las que trabajamos a partir del año 99, a continuación presento en forma de resumen y conjuntándolo con la fenología de los cultivos, los resultados en producción y el nivel foliar presente en cada una de las evaluaciones realizadas.

En el Cuadro 3 se puede valorar una producción promedio de 52 chiles por planta, esto significa una producción promedio de 218 chiles por metro cuadrado efectivo de invernadero. Es decir que puede alcanzar hasta 1.700.000 unidades por hectárea. Esta experiencia se ha repetido ya en dos ciclos completos.

Cuadro 3. Ciclo Fenológico del Chile Nathalie y sus niveles de Boro y Zinc Carrizal de Alajuela, Costa Rica 1999 – 2000

DDT	Altura	D. Tallo	# flores	# de Frutos	Nivel Foliar presente	
					B(ppm)	Zn(ppm)
0	0	0	0	0		
15	21	0,65	0	0	15-20	20-25
30	39	0,9	0	0	20-25	25-35
45	52	1,2	1	0	40-50	50-65
60	71	1,6	6	0	50-60	60-75
75	86	2	11	0	70-80	80-100
90	99	2,2	12	1	mayor a 75	Mayor 110
105	113	2,2	8	3	mayor a 80	Mayor 110
120	122	2,3	14	5	mayor a 80	Mayor 110
135	138	2,4	11	6	mayor a 80	Mayor 110
150	160	2,4	10	6	mayor a 80	Mayor 110
180	172	2,5	12	8	mayor a 80	85-100
210	195	2,8	12	8	70- 80	70 – 90
240	218	2,8	10	9	70- 80	70 – 90
270	222	2,8	6	6	70- 80	70 – 90
			113	52		

Esta respuesta solamente se ha completado una vez mas después de la obtención de los resultados aquí expuestos, sin embargo a la fecha se llevan dos experiencias más en forma independiente y en zonas muy diferentes, como se muestra en el Cuadro 4.

Como se puede observar se pueden obtener prácticamente 70 frutas comerciales, dentro de estas el 80% presentan tamaños mayores o iguales a 225 grs, en otras palabras se pueden obtener mas de 15 kilos por planta, o bien más de 285.000 kilos por hectárea.

Cuadro 4. Ciclo fenológico del tomate Electra y sus niveles de Boro y Zinc Carrizal de Alajuela, Costa Rica 1999 – 2000

DDT	Altura	D. Tallo	# flores	# de Frutos	Nivel Foliar presente	
					B(ppm)	Zn(ppm)
0	0	0	0	0		
15	22.3	0,6	0	0	25-30	20-25
30	39.3	0,9	2	0	30-40	25-35
45	57.7	1,2	14,7	1,3	40-50	50-65
60	83.8	1,6	24,6	6,4	mayor a 85	80-85
75	101.3	1,75	29,5	11,3	70-85	70-80
90	113.6	1,9	23,4	12,1	mayor a 82	Mayor 100
105	118.2	1,99	4,6	14,2	mayor a 82	Mayor 100
120	128	2,05	21,4	11	mayor a 82	Mayor 100
135	137	2,15	22,1	7,4	mayor a 82	Mayor 100
150	140.1	2,15	15,1	6,2	mayor a 82	Mayor 100
			157,4	69,9		

El garantizar el éxito de un sistema de producción novedoso, solo se puede lograr a través de repeticiones de experiencias como las anteriores. Sin embargo, quiero recalcar que en este caso las condiciones de aplicación y control del ambiente es lo suficientemente bueno para garantizar estos resultados. Pero en otras condiciones climatológicas y de niveles nutricionales del suelo esta experiencia no necesariamente es válida.

BIBLIOGRAFÍA

- Burgueño H.. 1999. La fertgación en cultivos Hortícolas. 2ta edición. México. 79p.
- Shaljo E.. 1993. Manual sobre cultivos protegidos. Ministerio de la producción. Chile. 89p.
- Bertsch F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Universidad de Costa Rica. 6p.
- Bertsch F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. ACCS. 157p.
- Burgueño H. 1998. Experiencias personales.

FERTILIZACIÓN FOLIAR DE CULTIVOS FRUTÍCOLAS

Eloy A. Molina, M.Sc.

1. INTRODUCCIÓN

La fertilización foliar ha sido utilizada como un medio para suplir nutrimentos, hormonas, bioestimulantes y otras sustancias benéficas para las plantas. Los efectos observados de la fertilización foliar normalmente se traducen en un incremento en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, mayor resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a déficit hídrico, y un mejoramiento en la calidad de la cosecha. Obviamente, la respuesta de la planta a la nutrición foliar dependerá de varios factores tales como la especie, la fuente del fertilizante, la concentración, la frecuencia de aplicación, así como el estado de crecimiento de la planta.

La fertilización foliar ha sido enfocada a menudo hacia el suministro de micronutrimentos, principalmente debido a que los cultivos requieren cantidades muy pequeñas de estos elementos que es fácil suplir a través del abonamiento foliar. Elementos como el boro y el zinc con frecuencia son incluidos en los programas de fertilización foliar. Desde el punto de vista económico, el abonamiento foliar también ha sido enfocado hacia cultivos hortícolas y frutícolas, que son de mayor valor económico y, generalmente, de mayor demanda nutricional que los cultivos agronómicos como maíz, sorgo, frijol, arroz, caña de azúcar, etc.

Las aplicaciones de nutrimentos foliares a menudo coinciden con estados específicos de crecimiento y fructificación, lo que permite ajustar la fórmula y dosis del fertilizante. El suministro de elementos nutritivos vía follaje también ayuda a las plantas a recuperarse del estrés del transplante, daño por frío, intoxicación de herbicidas, etc. Otro beneficio atribuido a la fertilización foliar es que favorece la absorción de nutrimentos del suelo, debido a que la planta actúa como una “bomba” que expulsa azúcares y otros exudados desde sus raíces hasta la rizosfera.

Los cultivos que producen frutas presentan altos requerimientos nutricionales durante ciertos estados de desarrollo como la floración, y la formación y llenado de las frutas. En cultivos como piña y banano, la capacidad de extracción de nutrimentos es considerablemente elevada en plantaciones de alta productividad, y la tasa de absorción de elementos como N, K, Ca y Mg es más intensa durante el período de crecimiento y desarrollo de la fruta. En hortalizas de fruto como chile y tomate, con varios períodos de floración y fructificación, la demanda de nutrimentos en esas etapas es también muy intensa y se produce en un tiempo muy corto, por lo que a menudo la fertilización edáfica no es suficiente para suplir las exigencias nutricionales de estos cultivos. Las aplicaciones de nutrimentos foliares a menudo coinciden con estados específicos de crecimiento y fructificación, lo que permite ajustar la fórmula y dosis del fertilizante.

Las estrategias de fertilización foliar en cultivos frutícolas pueden influenciar las etapas de floración, cuaje de frutos, peso y tamaño de frutos, contenido de azúcares, acidez, etc. Mediante la selección cuidadosa de un programa de fertilización foliar es posible adelantar o retrasar la fructificación, o incrementar el cuaje de frutos. Por ejemplo, en cultivos como naranja y café, las aplicaciones de nitrógeno y potasio durante la formación y llenado de frutos puede incrementar el tamaño de los mismos. En forma general, las aplicaciones de nitrógeno nítrico, potasio, calcio y magnesio pueden aumentar el tamaño de frutos, en tanto que el nitrógeno amoniacal, fósforo, azufre, boro y zinc estimulan el cuaje de frutos y semillas.

2. NUTRICIÓN MINERAL Y FERTILIZACIÓN FOLIAR

Se han reconocido al menos 16 elementos minerales que son esenciales para la nutrición de las plantas. De ellos el carbono, hidrógeno y oxígeno son suministrados a través del agua y el aire. El suelo contiene cantidades variables del resto de los elementos, y cuando hay deficiencias o desbalances de uno o más de estos elementos es necesario utilizar fertilizantes para su corrección. El uso correcto de la fertilización foliar constituye una alternativa eficaz para el suministro de micronutrientes, pero también se ha demostrado que es efectiva para complementar la nutrición de macronutrientes y elementos secundarios. Para comprender mejor la importancia del abonamiento foliar y su efecto en el crecimiento y producción de plantas frutícolas es necesario relacionar la función específica de los nutrientes de acuerdo con el estado de crecimiento de la planta.

2.1 Nitrógeno

El nitrógeno es constituyente de aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila, etc., y tiene un gran impacto en el crecimiento vegetativo. El N tiene influencia en la floración y fructificación, y por ende en el rendimiento del cultivo. El N es el elemento más comúnmente aplicado en cultivo frutícolas, usualmente en formas inorgánicas al suelo como urea y nitrato de amonio. Aspersiones foliares de N en frutales se realizan como complemento al abonamiento edáfico utilizando como fuente principalmente urea en cultivos como naranja. Combinaciones de urea y nitrato de amonio son comunes en aspersión foliar en piña, donde la mayoría de la fertilización se aplica al follaje. El N también se aplica foliarmente de manera indirecta en muchos casos debido a que se utiliza como coadyuvante para facilitar la penetración de otros iones disueltos en la solución.

2.2 Fósforo

El fósforo es constituyente del ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y ciertas enzimas. Cumple una función importante en el sistema de transferencia de energía dentro de la planta. El P es esencial para el crecimiento radical, en el proceso de floración, y en la formación de frutos y semillas. El P se aplica usualmente al suelo en cultivos frutícolas y pocas veces se realizan aspersiones foliares, quizás en parte debido a su lenta absorción foliar de la mayoría de las fuentes, especialmente las sales como los fosfatos de amonio. Por lo general es poco utilizado en los programas de fertilización foliar en frutales, quizás con la excepción en piña donde algunas empresas aplican MAP o ácido fosfórico.

2.3 Potasio

Los cultivos que producen frutas son muy extractores de potasio y en muchos de ellos es el elemento de mayor absorción. El K fomenta la fotosíntesis mediante la activación de numerosas enzimas que participan en este proceso, mejora la eficiencia en el consumo de agua al aumentar la presión osmótica de las células, volviéndolas más turgentes. De esta forma, las plantas bien provistas de K cierran rápidamente sus estomas, impidiendo la pérdida de humedad durante periodos de déficit hídrico. El K acelera el flujo y translocación de los productos asimilados, tales como los azúcares y almidones que son formados durante la fotosíntesis y luego transportados desde las hojas hasta los órganos de reserva (frutos, semillas, tubérculos, etc) con la participación del K. Este elemento cumple un papel vital en el llenado de frutas, granos y semillas. Asimismo el K incrementa el rendimiento y calidad de la cosecha, mejorando el sabor, el contenido de azúcares y el color de los frutos. Favorece la resistencia a enfermedades al fortalecer los tejidos vegetativos. El K también mejora las propiedades de almacenamiento poscosecha de frutas y hortalizas, al promover mayor firmeza y resistencia de los tejidos.

Dado que el K se absorbe en gran cantidad en cultivos frutícolas, la fertilización al suelo es la principal fuente del elemento a la planta. Sin embargo, las aplicaciones foliares de K durante el periodo de fructificación han sido muy recomendadas, como complemento al abonamiento edáfico. La nutrición foliar con K tiene como objetivo ayudar a incrementar el peso y tamaño de los frutos, favorecer la acumulación de azúcares y sólidos solubles, y mejorar la firmeza y calidad de los frutos. Un contenido adecuado de K en la fruta mejora la vida útil de la misma en almacenamiento poscosecha.

2.4 Calcio

El calcio (Ca) es requerido para mantener la integridad de la membrana y se encuentra en las paredes celulares en forma de pectatos de Ca. El calcio ayuda a mantener la integridad de la célula y la permeabilidad de la membrana celular, favorece el crecimiento y la germinación del polen, y activa gran cantidad de enzimas que intervienen en la mitosis, división y elongación celular. El Ca interviene en la síntesis de proteínas y la transferencia de carbohidratos, y ayuda a desintoxicar la planta de la presencia de metales pesados. La deficiencia de Ca disminuye el crecimiento de la planta y del sistema radical, debilita los tejidos foliares haciéndolos más susceptibles al ataque de patógenos.

El Ca es crítico para el crecimiento y calidad de los frutos. Algunos desórdenes fisiológicos que alteran la calidad de los frutos están relacionados con problemas de Ca, como los daños conocidos como mancha corchosa y pudrición basal del fruto, muy comunes en frutos de tomate, chile, melón, naranja, etc. Los problemas de Ca en frutas se presentan incluso en suelos con contenidos adecuados del elemento, y muchas veces están relacionados con desbalances con otros cationes como NH_4 , Mg y K. El Mg y K son más fácilmente absorbidos por los pelos radicales de las raíces y transportados a las hojas y frutos vía floema. Ambos nutrientes pueden moverse desde esos órganos a otras partes de la planta en respuesta a la demanda metabólica. En contraste, la absorción de Ca es más restringida y puede ser afectada por exceso de K y Mg en el suelo, o por el uso de fertilizantes nitrogenados amoniacales. La absorción de Ca por la raíz es un

proceso pasivo que depende del movimiento del agua a través del xilema. En árboles frutales el transporte de Ca se da principalmente vía xilema junto con el movimiento del agua. Como consecuencia de esto el movimiento del Ca desde la raíz ocurre en la misma dirección hacia donde se mueve el agua. Este movimiento es causado por transpiración. Las hojas tienen mayor tasa de transpiración que los frutos, lo cual explica que el Ca es depositado en mayor grado en las hojas y muy poco en los frutos. Además de esto el Ca es inmóvil dentro de la planta y una vez que se acumula en las hojas no puede ser transportado a otros órganos de la planta. Con frecuencia el contenido de Ca en las hojas no es un buen indicador del estado nutricional del elemento en la planta porque no se relaciona directamente con la cantidad de Ca presente en el fruto. Las aplicaciones de Ca al suelo no han sido tan efectivas para incrementar la concentración del elemento en las hojas y frutos debido a las dificultades de movilización que tiene este mineral en la planta.

El suministro adecuado de Ca que garantice un buen contenido en la fruta también está relacionado con una mejor resistencia de la misma al almacenamiento poscosecha. La incidencia de enfermedades poscosecha puede ser prevenida cuando hay suficiente Ca en la fruta.

El suministro de Ca a través de la fertilización foliar se convierte en una herramienta importante en árboles frutales y hortalizas. Las aspersiones foliares de Ca han resultado muy efectivas para prevenir los desórdenes que se producen en los frutos, debido que la aspersión del nutrimento llega directamente a las hojas jóvenes y los frutos en formación que son los que demandan en mayor grado el elemento. Las fuentes más utilizadas para aplicación foliar de Ca son el nitrato de calcio, cloruro de calcio y quelatos de Ca formulados con EDTA, lignosulfatos y aminoácidos principalmente.

2.5 Magnesio

El magnesio es componente de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que se encarga de capturar la energía suplida por el sol durante el proceso de fotosíntesis. Además sirve como cofactor en muchos procesos enzimáticos y de fosforilación. Estabiliza las partículas de ribosomas en la configuración para la síntesis de proteínas. La deficiencia de Mg se presenta generalmente como una clorosis intervenal en hojas maduras, que eventualmente podría causar defoliación. La deficiencia de Mg disminuye el crecimiento vegetativo y el llenado de frutos, acelera la maduración prematura y puede causar la caída de los frutos en precosecha.

Los problemas de Mg en frutales han sido también asociados con anomalías en el desarrollo de las yemas florales, y con frutas que no se conservan bien en el período de almacenamiento poscosecha. El Mg es un elemento muy móvil en la planta y las aplicaciones al suelo son adecuadas para satisfacer los requerimientos. Sin embargo, en períodos de gran demanda nutricional como es la formación y llenado de frutos, la deficiencia de Mg puede ser difícil de corregir exclusivamente con abonamiento edáfico. El uso de fertilizantes foliares con Mg durante esta etapa de desarrollo de la planta constituye una alternativa eficaz para superar problemas de Mg y complementar la fertilización al suelo. El suministro de Mg durante la formación del fruto previene el

amarillamiento de las hojas adyacentes al fruto y la defoliación, contribuyendo con ello a favorecer el llenado y el tamaño.

Las fuentes de Mg de mayor uso en fertilización foliar incluyen el sulfato de Mg, nitrato de Mg y quelatos de Mg.

2.6 Zinc

Está involucrado en numerosas reacciones enzimáticas en procesos como la fotosíntesis, transporte de electrones, activación del ácido indolacético, etc. El Zn es importante en la regulación del crecimiento vegetal y participa como activador de numerosas enzimas como la anhidrasa carbónica, e interviene en la síntesis de proteínas. La deficiencia de Zn se presenta en los brotes nuevos de los árboles frutales por ser un elemento inmóvil, como una clorosis intervenal en hojas jóvenes y una disminución del tamaño de las hojas y reducción del crecimiento. Como efectos adversos en el rendimiento, la deficiencia de Zn puede reducir el peso y tamaño de los frutos, y alterar la formación de granos y semillas.

La fertilización foliar es más recomendable para el suministro de micronutrientes que como en el caso del Zn la planta los requiere en pequeñas cantidades. De tal manera que la aspersión foliar de Zn es una práctica común en cultivos que producen fruta como naranja, mango, banano, café, piña, melón, tomate. Además es bien reconocido que muchos suelos del país son deficientes en Zn y que por lo tanto es necesario incluir este elemento en los programas de fertilización. El Zn junto con el boro son los dos micronutrientes que con mayor frecuencia se presentan deficientes en los suelos y cultivos del país. Las fuentes de Zn más utilizadas son los quelatos (EDTA, lignosulfatos, aminoácidos, etc) y las sales como el sulfato de Zn y nitrato de Zn.

2.7 Boro

El B participa en la síntesis del uracilo que sirve para la formación de RNA e interviene en actividades celulares como división, diferenciación, maduración, respiración, crecimiento, etc. El B ha sido asociado con la germinación y crecimiento del polen y puede afectar la prolongación del tubo polínico debido a su papel en la síntesis de la membrana plasmática y la pared celular, produciendo una disminución en el cuaje y alteraciones fisiológicas en los frutos. El B por lo tanto es esencial en el desarrollo de la flor y en la fecundación y su deficiencia reduce el cuaje de las flores y disminuye en forma severa el rendimiento de frutos y semillas.

El B también cumple una función importante en el transporte de azúcares y otros compuestos orgánicos desde las hojas a los frutos. La mayoría de los cultivos frutícolas son particularmente sensibles a la deficiencia de B, tal es el caso de café, cítricos, papaya, maracuyá, tomate, chile, etc.

La deficiencia de B causa que las hojas jóvenes se deformen, con amarillamiento de las venas central y laterales. Las hojas más viejas se enrollan y deforman. Se produce muerte descendente de ramas y formación múltiple de yemas vegetativas, acortamiento de entrenudos en las ramas de los árboles, y formación de roseta en ramas terminales de

hortalizas de fruta como el tomate. La deficiencia de B produce paralización del crecimiento de los ápices radiculares. La deficiencia de B también afecta la calidad de los frutos. En el caso de los cítricos, la falta de B causa que sean pequeños, con poco jugo, duros, de cáscara gruesa y áspera, con puntos de goma en el interior de los gajos. En otras frutas como manzana y pera, la deficiencia de B causa la aparición de manchas corchosas debido a la muerte de células, y al continuar el crecimiento del fruto se producen rajaduras y caída anticipada de los mismos.

Las aplicaciones foliares de B resultan muy efectivas y económicas para suplir el elemento y las fuentes más empleadas son por lo general sales de boratos de sodio y ácido bórico que son incluidos en los atomizos fitosanitarios en cultivos como naranja, café, banano, mango, papaya, etc. Estudios realizados en España (Sosa 1999) con frutales caducifolios como manzana, durazno, pera y almendro, han mostrado que las aplicaciones de B en forma de ácido bórico mezclado con urea en prefloración y al botón floral incrementan el cuaje de las flores. Además un buen suministro de B en frutales ayuda a evitar problemas de corchosis en los frutos, prevenir la maduración prematura y disminuir el decaimiento interno durante el almacenamiento poscosecha en frío

2.8 Manganeso

El Mn cumple funciones de activador enzimático. Participa en la fotosíntesis y en la conversión de N nítrico en aminoácidos para la síntesis de proteínas. El Mn también participa en la síntesis de clorofila por lo cual los síntomas de deficiencia en las plantas generalmente se manifiestan como una clorosis en hojas jóvenes. La deficiencia severa de Mn puede disminuir la tasa de crecimiento de la planta, y producir frutos suaves y de color pálido. Aparentemente la deficiencia de Mn en árboles frutales afecta más directamente al tejido foliar que a la fruta.

La deficiencia de Mn no es común en suelos de Costa Rica. Los problemas de Mn se pueden presentar en suelos de pH alto, suelos de texturas arenosas, suelos sobreencalados, sustratos o medios de crecimiento. El exceso de Fe podría inducir una deficiencia de Mn.

Las aplicaciones foliares de Mn parecen ser más efectivas que la fertilización al suelo, además de que producen efectos más inmediatos en corregir los síntomas en el follaje. Aplicaciones de Mn son más comunes en cítricos, tomate, chile, melón y piña. Los quelatos de Mn y el sulfato de Mn son las fuentes más utilizadas.

2.8 Hierro

El Fe es requerido para la síntesis de clorofila y es parte esencial de los citocromos que se encargan de transportar los electrones durante los procesos de fotosíntesis y respiración. El Fe causa clorosis intervenal en hojas jóvenes, y al avanzar los síntomas las hojas se tornan por completo amarillas o blanquecinas.

El Fe es un elemento abundante en los suelos y su disponibilidad es favorecida por la acidez. Los contenidos de Fe disponible en nuestras condiciones de suelos generalmente

oscilan entre suficiente a alta, por lo que los problemas nutricionales por Fe no son muy comunes. Sin embargo algunos cultivos como la piña son sensibles a deficiencias de Fe, lo cual se atribuye en parte a una baja capacidad de su sistema radicular para extraer Fe del suelo. El Fe es antagonico con Mn, por lo que un exceso de éste último puede inducir a deficiencia de Fe, tal y como ocurre en algunos suelos ácidos del país cultivados con piña.

La clorosis férrica es un síntoma común en frutales cultivados en suelos alcalinos de zonas templadas, especialmente en cítricos, pera, manzana, durazno, etc. Las aspersiones foliares de Fe resultan la mejor alternativa para el control de la deficiencia, con quelatos de Fe y sulfato de Fe principalmente.

2.9 Molibdeno

El Mo cumple una función importante en fijación simbiótica de N en leguminosas y como activador enzimático en la reducción de nitrato por parte de la enzima nitrato reductasa. Los síntomas de deficiencia de Mo son muy variables entre plantas, pero en árboles frutales causan clorosis o amarillamiento de hojas viejas, deformación de hojas y reducción del crecimiento. Los contenidos de Mo en suelo y tejido foliar son muy bajos, lo que hace difícil con frecuencia su determinación mediante el análisis de suelos y foliares.

La deficiencia de Mo restringe el desarrollo de la flor y en casos severos causa el aborto de flores, disminuyendo el rendimiento. Problemas de Mo no están bien documentados en nuestro país quizás por la limitación de diagnóstico en el laboratorio. Sin embargo existen reportes de respuesta a la aplicación en leguminosas, crucíferas, melón y en flores ornamentales cultivadas en sustratos sin suelo. La deficiencia de Mo es fácil y simple de corregir con aplicaciones foliares de molibdato de amonio o sodio. No existen quelatos de Mo debido a que el nutrimento es suministrado a las plantas en forma aniónica.

3. FERTILIZACIÓN FOLIAR

La fertilización foliar en cultivos que producen frutos es de gran importancia para asegurar altos rendimientos y calidad. A continuación se discuten aspectos generales de la nutrición foliar de algunos cultivos frutícolas de interés.

3.1 Cítricos

La fertilización foliar en cítricos es una práctica común dentro de las labores agronómicas del cultivo. El objetivo de la nutrición foliar es suplir micronutrientes como B, Zn y Mn, y complementar el abonamiento al suelo con N y K. El programa de fertilización foliar se divide en 3-5 ciclos de aplicación anual, iniciando poco después de la cosecha principal, entre marzo y mayo para la zona norte del país. Posterior a la floración principal se continúa con las aplicaciones para suplementar K y ayudar al árbol a favorecer el crecimiento y engrosamiento de la fruta. En la mayoría de las aspersiones foliares se adiciona N en forma de urea, en dosis que normalmente oscilan entre 20-25 kg

N/ha. El propósito de la urea es estimular crecimiento vegetativo para la emisión de nuevas ramas que producirán botones florales y para facilitar la penetración de los otros nutrimentos mezclados en el caldo de aplicación. La deficiencia de Zn está muy generalizada en las plantaciones de naranja por lo que este elemento es incluido en la mayoría de los atomizos foliares, generalmente como sulfato de zinc debido a su menor costo. Sin embargo también se utilizan quelatos de Zn. El B es suplido con ácido bórico principalmente y cumple un papel importante para el cuaje de las flores, por lo que debe ser aplicado en prefloración. Posterior al cuaje de flores, el B es suplido para prevenir alteraciones fisiológicas en la fruta y favorecer la translocación de asimilados.

En los últimos años se ha generalizado el uso de aspersiones foliares de K, principalmente con el uso de nitrato de potasio en dosis de 20-30 kg K₂O/ha. El K incrementa el peso y tamaño de los frutos, el grosor de la cáscara, la acidez y la concentración de sólidos solubles totales en el jugo (Booman 1997). El incremento en el tamaño del fruto es una característica favorable para el mercado de fruta fresca, en tanto que la concentración de sólidos solubles y acidez es de gran importancia para la industria de concentrado de jugo. Estas aplicaciones usualmente se realizan entre setiembre y noviembre para las plantaciones de la zona norte del país.

Las aplicaciones de Fe al follaje deberían ser innecesarias debido a que la mayoría de los suelos presentan contenidos altos de este elemento. Dada la importancia que tiene el Ca en el desarrollo de la fruta, y las dificultades que se presentan en el árbol para que este elemento se acumule en ella, su inclusión en el programa de fertilización foliar podría ser recomendable. El Mg es otro elemento que podría ser necesario para complementar el suministro de este elemento, el cual es muy importante durante el llenado de frutos, además de que un gran porcentaje de los suelos cultivados de cítricos presentan niveles bajos de Mg.

La aplicación de abonos foliares en cítricos se realiza generalmente en forma mecanizada con la utilización de tanquetas de fumigación acopladas a un chapulín. Se utilizan volúmenes de agua muy altos de alrededor de 1200 l/ha. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de prácticas recomendadas de abonamiento foliar para cítricos.

Cuadro 1. Recomendaciones de fertilización foliar en cítricos en Costa Rica

Elemento	Fuente	Dosis/aplicación	Comentarios
Nitrógeno	Urea	10-25 kg N/ha (2-3 aplic./año)	Favorece crecimiento vegetativo Incrementa sólidos solubles Favorece penetración de iones por la cutícula
Potasio	KNO ₃	10-30 kg K ₂ O/ha (2-3 aplic./año)	Incrementa tamaño de fruta Favorece acidez y sólidos del jugo Aumenta grosor cáscara Aumenta firmeza del fruto
Calcio	Nitrato de calcio Quelatos de calcio	10-20 kg/ha 1-2 L/ha (2 aplic./año)	Mejora firmeza y calidad de frutos Previene desórdenes fisiológicos Mejora consistencia de tejidos
Zn	Sulfato de Zn Quelatos de Zn	5-8 kg/ha 1-2 L/ha (2-3 aplic./año)	Deficiencia muy marcada en cítricos Favorece crecimiento de brotes nuevos Favorece calidad del fruto
Boro	Acido bórico Borato de sodio	2-3 kg/ha 2-3 kg/ha (2-3 aplic./año)	Favorece el cuaje de flores Reduce el aborto de frutos Formación de frutos Transporte de azúcares Previene alteraciones fisiológicas en frutos (piel áspera, poco jugo, gomosis interna, etc)
Manganeso	Sulfato de Mn Quelato de Mn	3-5 kg/ha 1-2 aplic./año	Deficiencia poco frecuente Alto Fe en el suelo puede limitar su absorción Favorece crecimiento de brotes

3.2 Mango

La fertilización foliar en mango en Costa Rica generalmente se distribuye en 4 aplicaciones anuales: la primera en crecimiento vegetativo (mayo-junio), la segunda en prefloración (octubre), la tercera poco después del cuaje de flores (diciembre-enero), y la cuarta en llenado de fruta (febrero-marzo) (Ríos y Corella, 1999). La nutrición foliar en mango incluye aplicaciones Ca, K, B y Zn. El B es un elemento fundamental para asegurar la polinización de la flor y el cuaje de frutos, y se recomienda aplicarlo antes de la floración junto con el Zn. Después del cuaje de flores, elementos como Ca y K son de gran importancia para mejorar el peso, tamaño y llenado del fruto. Las aplicaciones

foliares de Ca favorecen una mejor firmeza y consistencia del fruto, y mejoran en general la calidad de la fruta. Se debe evitar hacer aplicaciones durante la floración porque podría dañar las flores y causar aborto. El K es utilizado en dos formas: como inductor de floración y para el llenado de fruta. La inducción de floración es uno de las prácticas agronómicas más importantes del cultivo y se realiza para prevenir los efectos de la bianualidad en la producción que son comunes en esta planta. Las aplicaciones foliares de KNO_3 en concentraciones del 1-3%, han sido por lo general efectivas para inducir la floración en mango. El modo de acción del KNO_3 se ha relacionado con la síntesis del etileno. La aspersión foliar de KNO_3 acelera la formación de la enzima nitrato reductasa que se encuentra en las plantas cuando hay presencia de nitratos y que los convierte en amonios para que ocurra las síntesis de aminoácidos. Uno de estos aminoácidos es la metionina, que es un precursor de la síntesis del etileno, el cual a su vez induce la floración. Los mejores resultados se obtienen asperjando la mezcla sobre los brotes vegetativos sazones que tengan más de seis meses de edad. Generalmente es necesario realizar 2-3 aplicaciones poco antes del período normal de floración (octubre). Durante la fase de llenado del fruto, el K es también muy importante, y si no se cuenta con riego, la fertilización foliar es la mejor alternativa. La aplicación foliar de fuentes con sales durante la fructificación puede ser riesgosa sin no se toman precauciones para prevenir la quema de frutos. El uso de quelatos de EDTA, ácidos húmicos y aminoácidos es preferible en esta etapa por su menor efecto fitotóxico.

3.3 Piña

La piña es un cultivo que ha experimentado una gran expansión en el área de siembra en los últimos 10 años, llegando a alcanzar actualmente más de 8000 hectáreas. La piña es un cultivo de gran extracción de nutrimentos, principalmente N y K, por lo que requiere de un programa de fertilización intensivo para alcanzar los altos rendimientos que son comunes en Costa Rica (90-120 ton/ha) (Cuadro 2). La piña además es exigente en otros nutrimentos como Ca, Mg, Zn y Fe. Dado que la mayoría de los suelos donde se cultiva son de naturaleza ácida, con frecuencia es necesario la aplicación de esos nutrimentos para llenar los requerimientos del cultivo.

Una característica particular en este cultivo es que la mayoría de la nutrición se realiza a través del abonamiento foliar. Las hojas de piña tienen facilidad para absorber nutrimentos y toleran altas concentraciones de sales en el caldo de aplicación. Esto ha fomentado que la fertilización se realice casi exclusivamente por el follaje utilizando "sprayboom" con brazos mecánicos con boquillas de aspersión a ambos lados y que pueden cubrir hasta 16 m o más de ancho de franja. El sistema permite además combinar las aplicaciones de nutrimentos con las de agroquímicos y aumentar la densidad de siembra hasta 65 000 -70 000 plantas/ha.

Con excepción del P que generalmente se aplica al suelo a los 22 días después de la siembra de la semilla vegetativa, todos los demás elementos se distribuyen en 15-17 ciclos de fertilización foliar con dosis crecientes de los nutrimentos de acuerdo con el desarrollo de la planta. El espaciamiento entre cada ciclo varía entre 10-15 días.

Cuadro 2. Requerimientos de fertilización en piña

Elemento	Dosis (kg/ha)		Fuentes
	1º cosecha	2º cosecha	
Nitrógeno (N)	550-600	400-450	Urea Nitrato de amonio 31-0-0 L
Potasio (K ₂ O)	450-600	350-400	KCl K ₂ SO ₄ KNO ₃ 0-0-14,5 L
Calcio (CaO)	40-60	20-30	Nitrato de Ca Cloruro de Ca Quelato de Ca
Magnesio (MgO)	30-50	15-30	Nitrato de Mg Sulfato de Mg
Hierro (Fe)	5-15	5-10	Sulfato de Fe
Zinc (Zn)	8-15	5-10	Sulfato de Zn Nitrato de Zn Quelatos de Zn
Boro (B)	5-8	3-7	Ácido bórico Borato de Na

Por aspectos de costos y tolerancia de la planta, la mayoría de las fuentes de fertilizantes utilizadas en piña son sales, tanto en presentación sólida como líquida. El N se aplica generalmente como una combinación urea y nitrato de amonio, que presenta una mejor respuesta que cuando sólo se utiliza urea. La mayoría de las plantaciones utilizan fertilizante líquido para suplir N, siendo la fórmula 31-0-0 L de uso muy generalizado, y está compuesta por la mezcla de urea y nitrato de amonio. El K es un elemento fundamental en el desarrollo de la fruta por su efecto favorable en el peso, tamaño, concentración de azúcares y acidez del jugo. La fuente de K más empleada en fertilización foliar de piña es el KCl debido a su menor costo por unidad de K. Contrario a lo que menciona la literatura y las recomendaciones en otros países, el KCl no es fitotóxico en piña y produce resultados similares que el nitrato de potasio y sulfato de potasio.

El Fe es incluido en el abonamiento foliar a pesar de que la piña se cultiva principalmente en suelos ácidos. Esto es por cuanto su sistema radical no es muy efectivo para absorber Fe del suelo, y algunos de estos suelos presentan contenidos muy altos de Mn que interfieren con la absorción de Fe.

El uso de quelatos en este cultivo está más restringido por efecto de costos que por eficiencia. Sin embargo, algunos productores utilizan quelatos de Ca y Zn con muy buenos resultados.

3.4 Banano

El interés por la fertilización foliar en banano se ha incrementado en los últimos años (Guzmán *et al.* 1995). El abonamiento foliar en banano se ha convertido en una práctica agrícola en muchas fincas bananeras para complementar la intensa fertilización al suelo que normalmente se realiza. A través de los análisis foliares se ha comprobado por ejemplo la presencia de contenidos bajos de Zn y B, y se ha observado con mayor frecuencia la manifestación de síntomas visuales de deficiencias de estos elementos. También se ha promovido las aplicaciones foliares de K con el objeto de mejorar las características de calidad de la fruta, conociendo el papel que cumple este nutrimento en mejorar el peso y tamaño.

La aplicación de fertilizantes foliares en banano se realiza junto con la mezcla fungicida utilizada en el combate de sigatoka negra, aprovechando la frecuencia de aplicación y la infraestructura presente (Guzmán *et al.* 1995). De tal manera que un requisito necesario para el uso de una fuente foliar, además de su efectividad, es que sea compatible con la mezcla fungicida, que normalmente contiene aceite. Los resultados de un estudio preliminar de fertilización foliar (Cuadro 3) mostraron cierto grado de respuesta en las variables de altura de planta y diámetro del tallo.

Cuadro 3. Efecto de la aplicación de fertilizantes foliares sobre la altura y el diámetro de las plantas de banano

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (cm)
Urea 1 kg/ha	129,33	9,85 b
KNO ₃ 400 g/ha	129,71	10,17 a
Folivex Zinc 400 g/ha	129,65	10,17 a
Humiforte N6 1 L/ha	125,58	9,65 b
Testigo (sólo fungicidas)	122,48	9,30 b

Valores con la misma letra no difieren significativamente. Tomado de Guzmán *et al.* 1995

La fertilización foliar en banano se inició a principios de los 90 con aplicaciones de Zn, poco después de la sustitución de fungicidas protectores como el mancozeb por el uso de sistémicos como benomyl y triazoles que no contienen Zn. Estos cambios causaron una disminución en los contenidos foliares de Zn que promovieron la aplicación de este elemento. Las fuentes de Zn de mayor uso en banano incluyen el sulfato de Zn y nitrato de Zn, y los quelatos de EDTA. Aparentemente el nitrato de Zn se absorbe mejor que el sulfato. El Zn se aplica en dosis que oscilan entre 1,5-2,2 kg/ha/año, y parte del éxito es fraccionar la dosis en un gran número de aplicaciones. Las sales y quelatos de Zn se prefiere aplicar con fungicidas protectores para evitar problemas de incompatibilidad que ocurren con los sistémicos. El Zn ayuda a incrementar el largo de los dedos en la fruta y disminuye los problemas de cicatriz que ocurre cuando los dedos de una mano se encorvan y dañan los de otra mano debajo. El B se utiliza principalmente como ácido

bórico. También se aplica KNO_3 con el objeto de complementar la fertilización edáfica y mejorar el llenado de la fruta, en dosis de 250-700 g/ha/aplicación, en 13-22 ciclos por año. El KNO_3 es compatible con las mezclas de fungicidas. Algunas empresas también utilizan aspersiones de urea, en dosis de 500-800g/ha/aplicación.

3.5 Café

La fertilización foliar de café ha sido tradicionalmente para suplir B y Zn, dos elementos que usualmente son deficientes en el cultivo. De acuerdo con Chávez (1999) la nutrición foliar del café debe verse como un complemento al abonamiento al suelo y en ningún caso como un sustituto del mismo. Las recomendaciones generales son de 2-3 aplicaciones de abonos foliares que suplan principalmente B y Zn distribuidas en la época lluviosa (mayo-octubre para Valle Central). En café se aplica el criterio de fertilización foliar preventiva y complementaria en estado reproductivo.

Los primeros estudios realizados con B en Costa Rica mostraron respuesta a su aplicación en café (Pérez, Chaverri y Bornemisza 1956). Investigaciones posteriores en la década de los 80 mostraron el efecto benéfico de dos o tres aplicaciones anuales de 3 kg/ha de Solubor (borato de sodio) en diferente zonas cafetaleras del país (ICAFE-MAG 1993). Un estudio reciente de fertilización con B al suelo y foliar en tres zonas cafetaleras (Cuadro 4) no mostró diferencias significativas entre tratamientos, pero si una pequeña tendencia en una localidad a incrementar el rendimiento con la aplicación foliar de 1,5 kg/ha de ácido bórico tres veces al año.

La respuesta a aplicaciones de Zn al suelo y foliar también ha sido evaluada y los resultados del estudio más reciente (Fonseca y Obando 2000) se presentan en Cuadro 5. Se observa respuesta a la aplicación foliar y al suelo en Pérez Zeledón aunque no hubo diferencias significativas. En Desamparados hubo respuesta significativa a la aplicación al suelo de 25 kg/ha de sulfato de Zn. Los tratamientos de fertilización foliar superaron al testigo y presentaron valores muy similares entre sí.

Cuadro 4. Efecto de la aplicación de boro al suelo y follaje en el rendimiento de café en tres localidades de Costa Rica

Tratamiento	Fan/ha		
	Naranjo	Dota	Poás
<u>Suelo</u>			
0 kg B_2O_3 /ha	58,3	47,0	76,4
10 kg B_2O_3 /ha	59,2	48,1	71,1
20 kg B_2O_3 /ha	56,2	46,8	75,0
40 kg B_2O_3 /ha	56,0	47,7	75,5
<u>Foliar</u>			
0	60,0	44,2	74,9
Acido bórico	55,8	50,6	74,0
Solubor	56,6		

Tomado de Rodríguez *et al.* 1998

Cuadro 5. Efecto de la fertilización con Zn al suelo y al follaje en el rendimiento de café en dos localidades de Costa Rica, promedio de tres cosechas

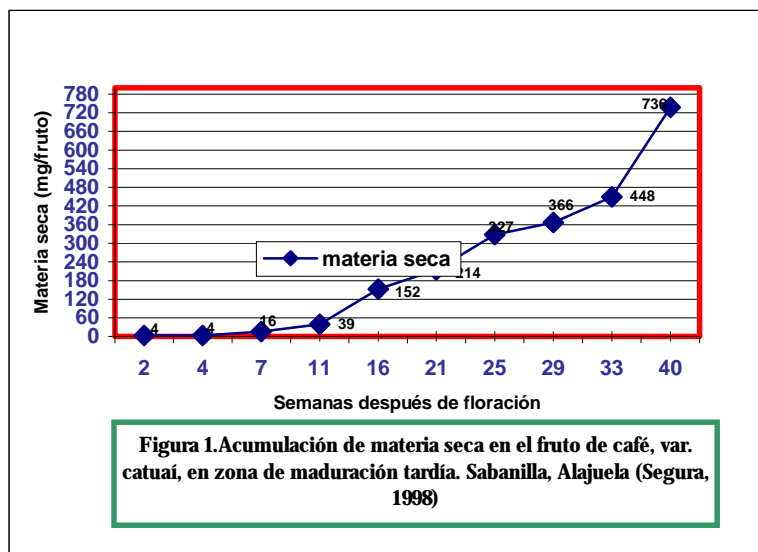
Localidad	Tratamiento	Rendimiento Fan/ha
Pérez Zeledón	Testigo	66,1
	Metalosato de Zn (0,13%)	69,0
	Rimafolizinc (0,13%)	69,2
	Zitrilón (0,13%)	69,4
	Zinvert (0,25%)	70,3
	Quelatozinc (0,50%)	73,7
	Excelzinc (0,13%)	74,6
	Sulfato Zn 30 kg/ha (suelo)	73,3
	Sulfato Zn 90 kg/ha (suelo)	73,7
	Desamparados	Testigo
Metalosato Zn (0,25%)		70,3
Sulfato Zn 25 kg/ha (suelo)		80,6**
Sulfato Zn 75 kg/ha (suelo)		79,3
Sulfato Zn 124 kg/ha (suelo)		71,8

** Diferencia significativa según análisis estadístico. Tomado de Fonseca y Obando 2000

De acuerdo con estudios de crecimiento y absorción de nutrimentos en frutos de café (Figura 1) realizados por Segura (1998), el ritmo de absorción intenso de elementos durante la floración y llenado de fruto hacen necesario una mejor distribución en el tiempo de los nutrimentos aplicados foliarmente, de manera tal que propone el siguiente esquema:

Época Semanas después de floración	Aplicación foliar
6-10	Zn, B
14-18	K, B, Zn
20-22	Ca, Mg, K
24-28	Ca, Mg, B

Las recomendaciones generales mencionan como fuentes de B el ácido bórico en dosis de 0,5 kg/200 L (0,25%), o los boratos de sodio como el poliboro. Este último incrementa el pH del caldo de aplicación por lo que se recomienda utilizar un estabilizador de pH como el ácido cítrico. Para el caso del Zn, las recomendaciones del ICAFE muestran preferencia por los quelatos (Chaves 1999), entre los que se mencionan los de EDTA y aminoácidos.



Los quelatos de Zn son de gran uso en café, pero la crisis reciente de precios ha obligado a muchos productores a restringir su utilización. en Brasil las recomendaciones de abonamiento foliar de organismos oficiales usualmente se refieren al uso de sales como se aprecia en el cuadro 6.

Cuadro 6. Recomendaciones de fertilización foliar para café en Brasil

Elemento	Producto y Concentración (%)
N	Urea 0,5-2
N+P	Fosfato monoamónico 0,5-1,0
N+K	nitrato de potasio 1-2
N+Ca	Nitrato de calcio 0,5-1
B	Ácido bórico 0,3
Cu	Sulfato 0,3
Fe	Sulfato 0,5
Mn	Sulfato 1,0
Mo	Molibdato 0,01
Zn	Sulfato 0,6
B+Zn	Ácido bórico 0,3+Sulfato de zinc 0,6+ Cloruro de potasio 0,25
Mn+Zn	Sulfato de manganeso 0,6 +Sulfato de zinc 0,6 + Cloruro de potasio 0,25
B+Cu+Zn	Ácido bórico 0,3+ Sulfato de cobre 0,3+ Sulfato de zinc 0,6+Cloruro de potasio 0,25
B+Cu+Mn+Zn	Ácido bórico 0,3+ Sulfato de cobre 0,3+ Sulfato de manganeso 0,6+Sulfato de zinc 0,6+Cloruro de potasio 0,25

Tomado de Malavolta *et al.* 1993

La fertilización foliar se distribuye en 3-4 aplicaciones al año, iniciando la primera en prefloración o inicios de floración, la segunda en post floración o inicio de formación de frutos, y las dos siguientes durante el período de llenado de frutos. Para la zona agroclimática del Valle Central, la distribución del abonamiento foliar ocurre entre abril-mayo y setiembre-octubre. La aplicación de foliares también se realizan junto con la de productos fitosanitarios, especialmente los fungicidas utilizados para el control de enfermedades. Otros elementos importantes de suplir como fertilización complementaria en estado reproductivo son Ca, Mg y K. Se ha observado que en plantaciones de alta productividad sembrados en suelos volcánicos o ácidos, las deficiencias de Mg y K pueden aparecer durante el proceso de llenado de frutos, causando defoliación y caída de frutos en las bandolas. La fertilización foliar con estos elementos puede ser de gran ayuda para prevenir este problema.

3.6 Tomate

El uso de fertilizantes foliares es más intensivo en cultivos de hortalizas como el tomate. Quizás una de las justificaciones principales es que el crecimiento de la planta es muy rápido y sus necesidades nutricionales son muy elevadas y se producen en un tiempo muy corto. Con frecuencia el abonamiento al suelo no es suficiente y debe ser complementado con fertilización foliar. Las aplicaciones de abonos foliares se inician desde la etapa de almácigo, pero se vuelven más frecuentes e intensivas en prefloración y formación de frutos, etapas donde los requerimientos nutricionales son más altos.

Las deficiencias de B y Zn son comunes en tomate, lo que obliga a realizar aplicaciones de abonos foliares con estos elementos bajo el concepto de fertilización foliar preventiva. Con el inicio de la floración, el abonamiento foliar se realiza una vez por semana junto con las aplicaciones de productos fitosanitarios.

Uno de los problemas fisiológicos más conocidos en tomate es la pudrición basal del fruto, conocido en inglés como “blossom end rot”, que causa malformaciones y corchosis en la parte final del fruto. Este desorden fisiológico está relacionado con problemas de Ca y se presenta aún en suelos con niveles adecuados del elemento. El Ca es un elemento inmóvil dentro de la planta y se acumula principalmente en las hojas. Los frutos de tomate son muy exigentes en Ca y con frecuencia la planta no puede translocar todo el Ca necesario para el desarrollo de los frutos. El problema se presenta durante la formación temprana de las frutas y durante períodos de gran producción y estrés de humedad. La aplicación de dosis altas de N amoniacal al suelo incrementan los problemas de Ca en las fruta debido al antagonismo que existe a nivel de absorción radicular entre ambos cationes. Las aspersiones foliares de Ca dirigidas a los brotes nuevos y las frutas han dado excelentes resultados para el control de la pudrición basal.

El K también es aplicado bajo el concepto de fertilización foliar complementaria en estado reproductivo, y se utiliza para favorecer un mayor tamaño de frutos y mayor acumulación de sólidos solubles. El K también produce frutos más firmes y de piel gruesa, que resisten mejor el transporte y almacenamiento poscosecha.

En este cultivo es más popular el uso de fertilizantes quelatados a base de EDTA, lignosulfatos, ácidos húmicos, aminoácidos, etc. Dado que se requiere una respuesta muy

rápida, los quelatos funcionan muy bien y el mayor costo de su uso es compensado con el valor económico del cultivo. Además existe menor riesgo de fitotoxicidad con los quelatos en comparación de las sales, ya que las flores y frutos de tomate son muy sensibles a la salinidad. También es muy frecuente el uso de bioestimulantes.

BIBLIOGRAFÍA

Boman B. 1997. Effectiveness of fall potassium sprays on enhancing grapefruit size. Proc. Flo. State Hort. Soc. 110: 1-7.

Boaretto A E; Rosolem C.A. 1989. Adubacao foliar. Vol. I y II. Fundacao Cargill, Campinas, Brasil, 669 p.

Chaves V. 1999. Manejo de la fertilización en café. *In*: Congreso Agronómico Nacional XI, Colegio de Ingenieros Agrónomos, UNED, San José, Costa Rica. Vol. III. p. 163-173.

Enyelstad O. 1985. Fertilizer technology and use. 3th ed. SSSA Madison, Wisconsin. 663 p.

Espinoza J. 1996. La nutrición foliar. Informaciones Agronómicas (INPOFOS). No.25: 4-9.

Fonseca C.; Obando J.J. 2000. Evaluación de diferentes dosis de sulfato de zinc aplicados al suelo y fuentes de zinc foliares en dos zonas cafetaleras de Costa Rica. *In*: XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. Memoria. IICA/PROMECAFE-ICAFE. San José, Costa Rica, p. 203-211.

Guzmán M. *et al* 1995. Aplicación de fertilizantes foliares en mezclas con fungicidas utilizados en el combate de sigatoka negra del banano. Informe Anual 1995. CORBANA. San José, Costa Rica. p. 73-75.

Herrera W. 2001. Manejo de suelos y fertilización de piña, In Memorias Seminario de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos en Costa Rica, ed. por G. Meléndez y E. Molina, Laboratorio de Suelos, CIA-UCR, San José, Costa Rica. p. 106-112.

Hignett T.P.; McClellan G.H. 1985. Sources and production of micronutrient fertilizers, Fertilizer Research 7:237-259.

Hiroce R.; Dechen A.R. 1989. Adubacao foliar en café, In Adubacao foliar, vol II, ed, por A,E, Boaretto y C.A. Rosolem, Fudacao Cargill, Campinas, Brasil, p. 335-366.

ICAFE-MAG. 1993. Informe Anual de Labores 1991-1992. San José, Costa Rica. p. 322.

International Fertilizer Development Center. 1979. Fertilizer Manual, Muscle Shoals, Alabama, 353 p.

Karim M.R.; Wright G.C.; Taylor K.C. 1996. Effect of foliar boron sprays on yield and fruit quality of citrus, 1996 Citrus Research Project. University of Arizona, College of Agriculture, Tucson, USA. Series p-105.

Kuepper G. 2000. Foliar fertilization. ATTRA Project, USDA. 11 p. <http://www.attra.org>

- Lonstroth M. 1994. Calcium bitter pit management in apples. The Great Lakes Fruit Growers News 33(5) <http://www.msue.edu/vanburen/bitpit.htm>
- Lonstroth M. 1994. Optimizing fertilizer application for fruit crops. Michigan State University, USA. <http://www.msue.edu/vanburen/frtfert.htm>
- Loué A. 1988. Los microelementos en agricultura, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 354.
- Malavolta E. 1990. La fertilización foliar: bases científicas y significado en la agricultura. Suelos Ecuatoriales 20(1):29-43.
- Malavolta E. *et al.* 1993. Sea o doutor de seu cafezal. Informacoes Agronómicas(Brasil) No. 64: 1-10.
- Melare J.R. 1989. Adubacao foliar em citros. *In:* Adubacao foliar, vol II, ed, por A,E, Boaretto y C.A. Rosolem, Fudacao Cargill, Campinas, Brasil, p. 367-370.
- Molina E. 1999. Fertilización y nutrición de naranja en Costa Rica, In Congreso Agronómico Nacional XI, Colegio de Ingenieros Agrónomos, UNED, San José, Costa Rica, Vol. III, p. 291-304.
- Morverdt. J. 1991. Micronutrients in Agriculture, 2ª ed. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 760 p.
- Pérez V.; Chaverri G.; Bornemisza E. 1956. Algunos aspectos del abonamiento del cafeto con boro y calcio en las condiciones de la Meseta Central de Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola, San José, Costa Rica, Información Técnica No 1, 14 p.
- Ríos R.; Corella F. 1999. Manejo de la nutrición y fertilización del mango. *In:* Congreso Agronómico Nacional XI, Colegio de Ingenieros Agrónomos, UNED, San José, Costa Rica, Vol. III, p. 277-290.
- Rodríguez O.M.; Alfaro R.; Cisneros B. 1998. Estudio de la respuesta a la fertilización con boro vía foliar y al suelo en café en tres localidades de Costa Rica. *In:* III Seminario de resultados y avances de investigación, Memoria, ICAFE, San José, Costa Rica, p. 29-36.
- Roper T.R.; Combs S.M. Mineral nutrition of fruit crops, University of Wisconsin, Madison, USA. www.hort.wisc.edu/cran/hort375/fruitmin.pdf
- Rosolem C.A. 1992. Eficiencia da adubacao foliar, In XX Reunion Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutricao de Plantas, Fundación Cargill, Piracicaba, Brasil, p. 315-351.
- Santos A.T., Aguilar D. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Terra 17(3):247-255.
- Segura A. 1998. Efecto del fenómeno del Niño sobre la producción y calidad del café: un enfoque fisiológico, In Seminario Agrícola Internacional, Memoria, FERTICA, San José, Costa Rica. sp.
- Sosa D.H. 1999. El boro en los frutales del género Prunus, Pyrus y Malus, <http://www.members.tripod.com/intecace/articulos/boro>.

Tisdale S. 1993. Soil Fertility and Fertilizers, 5^a ed. McMillan Co, Columbus, Ohio, 454 p.

Witney G. 1997. Fruit mineral uptake augmentation in the orchard: postharvest quality implications. In 13 th Annual Postharvest Conference, Washington State University, Washington, USA.

FERTILIZACIÓN FOLIAR DE CULTIVOS CON ÁCIDOS HÚMICOS

B.K. Singh, Ph.D.

1. INTRODUCCIÓN

Las sustancias húmicas (SH) son compuestos orgánicos derivados de humus provenientes de diferentes fuentes. Los ácidos húmicos y fúlvicos son componentes principales de las SH. La composición química de estos ácidos es compleja y varía en relación con la materia prima que se usa para su extracción. A nivel mundial, los países como EEUU, España, Rusia, Rumania, Bulgaria y Polonia son productores mayores de SH. La materia prima usada por estos países, por lo general, proviene de leonardita (carbón de baja calidad). La leonardita contiene ácidos orgánicos de alto peso molecular y relativamente pocos grupos funcionales. Otra materia prima son turbas de pantanos, aguas de los ríos y en algunos casos humus producidos en pantanos artificiales.

Mina de leonardita



Turba



Río Negro, Brasil



Materia prima para la extracción de las sustancias húmicas

2. QUÍMICA DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS

El papel de SH en agricultura fue investigado por mucho tiempo. El trabajo de la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS) se concentra en la determinación de la estructura y en la búsqueda de la aplicación en la agricultura y el ambiente. Las investigaciones de muchos años indican que las moléculas complejas de SH están compuestas por carbohidratos, proteínas y aminoácidos, esqueleto de lignina, polifenoles y otros compuestos en un arreglo geométrico variable y altamente polimerizado. Los ácidos húmicos son solubles exclusivamente en una solución alcalina. El último limita su aplicación en los suelos ácidos del Trópico Húmedo. En los suelos de la zona templada muchas veces los efectos positivos se observan después de aplicación de una dosis mayor de 50 kg ha⁻¹.

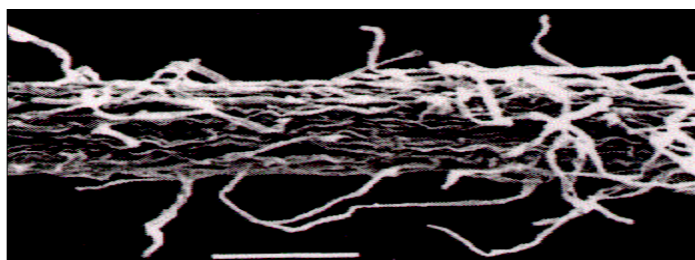
Cuadro 1. Principales grupos funcionales en las sustancias húmicas de los suelos tropicales (cmol + /kg)

Grupo funcional	Ácido húmico	Ácido fúlvico
- COOH	360	820
- OH total	650	910
Acidez Total	670	1030

Tomado de Stevenson 1982

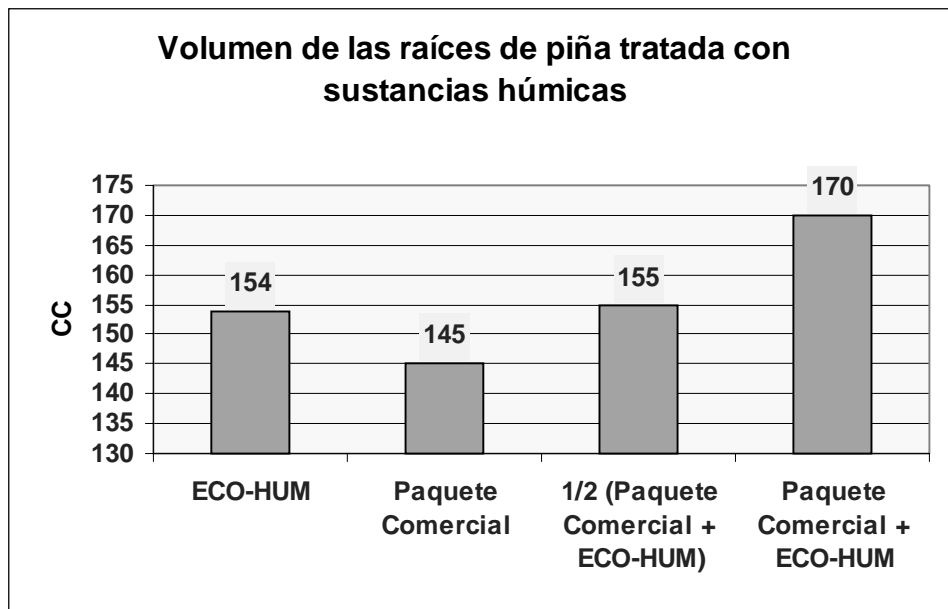
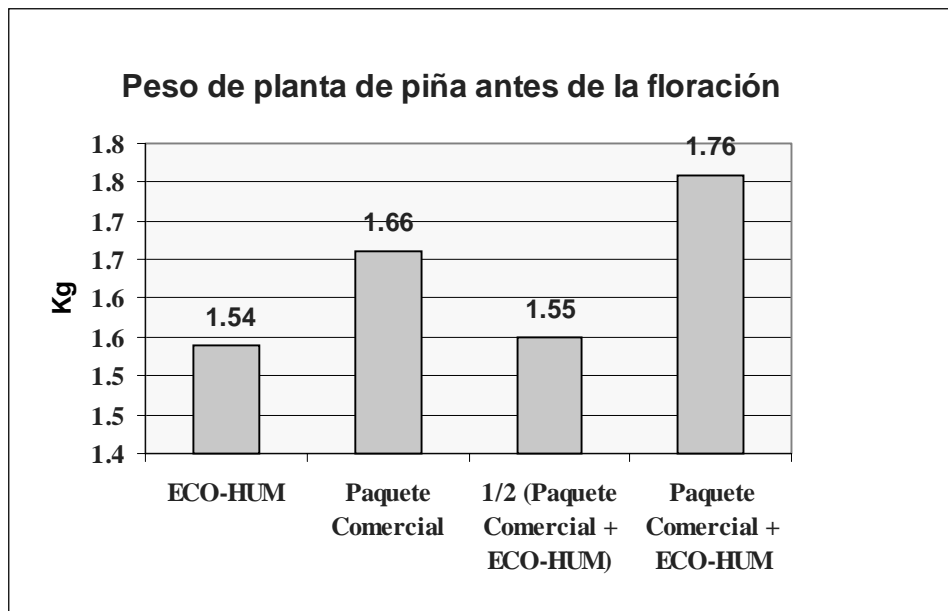
3. INVESTIGACIÓN Y RESULTADOS

Los estudios hechos con las soluciones nutritivas con ácidos húmicos y fúlvicos indican que los fúlvicos son más eficientes en mantener un mejor estado nutricional de las plantas y se recomienda mantener una concentración entre 150-300 mg L⁻¹ en las soluciones nutritivas. En los últimos diez años la aplicación directa en el suelo y/o foliar de los ácidos húmicos y fúlvicos y sus sales (humatos y fulvatos), ha recibido mayor atención científica y comercial. Como la calidad varía basada en la fuente de extracción, los resultados agronómicos son también muy variables. En general, hay un consenso entre científicos que los efectos sinérgicos de las SH son evidentes si las moléculas son pequeñas, con mayor concentración de los grupos funcionales. Estas moléculas son capaces de funcionar como quelatantes débiles, permeabilizadores de la membrana celular y a la vez promotores de crecimiento celular.



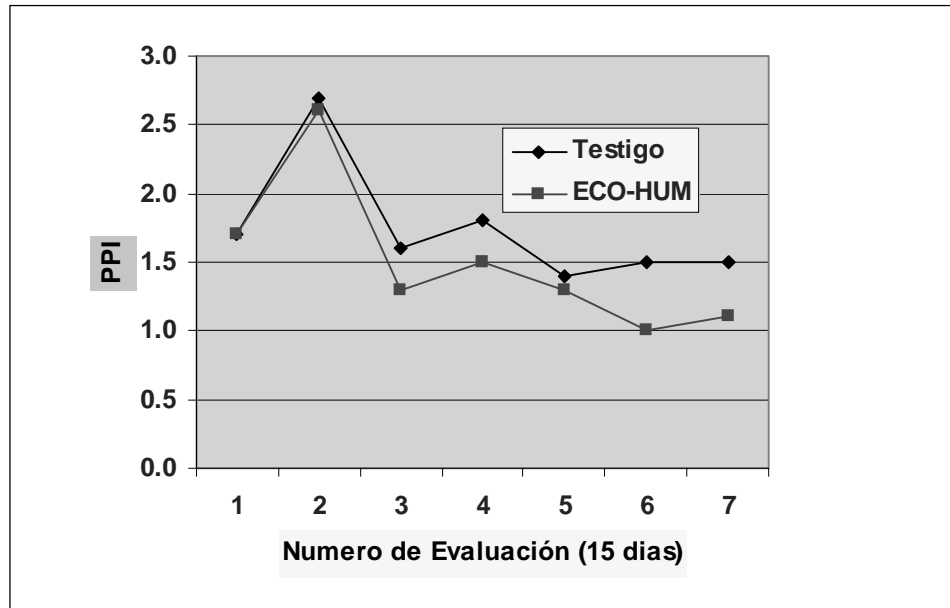
Abundancia de los pelos absorbentes en las raíces de una planta tratada con sustancias húmicas

Las investigaciones hechas en Costa Rica desde 1993-2001, indican que la aplicación foliar o al suelo de SH tiene un efecto positivo sobre los cultivos de café, banano, papa, y china sultani (Plochanski 1998, Pajuelo 1996, Ramírez 1998, Deras 1998). Algunas de estas afirmaciones se pueden apreciar en las figuras que se presentan abajo, otros se pueden consultar en las bibliografías citadas en este trabajo. En un estudio reciente, Pajuelo (1996) demostró que el volumen de las raíces de piña tratada con SH junto con el paquete comercial aumentó a un 17% en comparación con el paquete comercial. En la misma investigación se observó que las plantas tratadas con SH llegaron a un peso ideal para la inducción de floración a una edad más temprana.

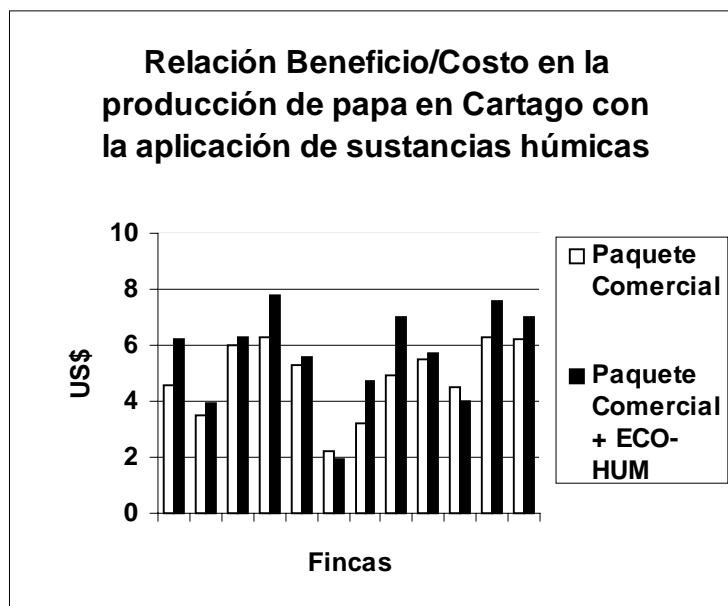


Ramírez 1998, en una investigación en banano estudió el efecto de diferentes productos comerciales en control de la sigatoka negra y observó que la aplicación de SH redujo el índice promedio ponderado de infección (PPI) en comparación con el control. Este trabajo fue continuado por García 2001 y se concluyó que posiblemente la reducción en la incidencia de sigatoka fue por el mejoramiento en la absorción de microelementos por la planta, específicamente el Zn y Fe.

Efecto de sustancias húmicas sobre el índice promedio ponderado de infección de sigatoka negra de banano



Deras 1998, estudió el efecto de sustancias húmicas y de un paquete comercial, en la producción de papa en la provincia de Cartago. El estudio fue extendido a 12 fincas situadas a diferentes alturas sobre nivel del mar y con diferentes niveles de manejo del cultivo. Los resultados indicaron que 10 de estas 12 fincas tuvieron un aumento significativo en la relación beneficio/costo con la aplicación de SH junto con el paquete comercial. En algunas fincas estas relaciones aumentaron de U.S. \$4.5 a U.S. \$6.2 – un aumento de 38%.



La aplicación de SH en el suelo mejora la disponibilidad de fósforo y quelación de los microelementos (Rojas *et al.* 1999, Ávila 1993). Los suelos con alto contenido de materia orgánica de buena calidad (contenido de materia orgánica soluble en agua más de 120 mg/L), no responden positivamente a la aplicación de SH.

4. CONCLUSIONES

Podemos concluir que las SH presentan mayor potencial para el uso en agricultura. Aplicado en el suelo pueden mejorar balance nutricional, aprovechamiento de fósforo y microelementos. La aplicación foliar ayuda de una manera muy veloz en la corrección de las deficiencias nutricionales en las plantas, reducción de fertilizantes a aplicar, un aumento en el volumen de las raíces con mas pelos absorbentes y sobre todo un retorno económico muy aceptable.

BIBLIOGRAFÍA

Arroyo M. y Gerhardt M. 1999. Efecto de un sustrato orgánico enriquecido en la dinámica de fósforo de tres suelos de la zona atlántica de Costa Rica. Tesis. pp 42. Universidad EARTH, Costa Rica.

Ávila M. y Regalado, E. Luis. 1993. Rehabilitación de suelos contaminados con cobre. Tesis. pp 57. Universidad EARTH. Costa Rica.

Deras J.E. 1998. Evaluación del bioestimulante ECO-HUM-DX para la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en la provincia de Cartago, Costa Rica. Tesis. pp 83. EARTH, Costa Rica.

García E., Ruiz V. y H. Apezteguia. 2001. Estudio del lixiviado de compost y su efecto sobre el control de sigatoka negra (*mycosphaerella fijiensis morelet*) y el crecimiento del cultivo de banano (*Musa aaa*). Tesis. pp 64. EARTH, Costa Rica.

Hernández F. y J. Solano. 1998. Efecto de bioestimulantes en el mejoramiento nutricional y en el combate de sigatoka negra en banano, clon gran enano. Tesis. pp 53. EARTH, Costa Rica.

Pajuelo C. 1996. Respuesta de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) a la aplicación de bioestimulantes ECO-HUM-DX, bajo las condiciones climáticas de Pocora, Costa Rica. Tesis. pp 39. EARTH, Costa Rica.

Plocharski J. 1999. El efecto de Eco-Hum-DX y su rentabilidad en café bajo poda total. Tesis. pp 65. Universidad EARTH, Costa Rica.

Ramírez M. 1995. Uso de extractos húmicos en el cultivo de china sultani (*Impatiens sultani*). Tesis. pp 53. EARTH, Costa Rica.

<http://www.earth.ac.cr/esp/productos/prdecohum.html>

http://www.horizonag.com/Why_Humates.htm

<http://www.earthgreen.com/research.html>

BIOESTIMULANTES EN FERTILIZACIÓN FOLIAR

Francisco Saborío, Ph.D.

1. DEFINICIÓN DE BIOESTIMULANTE

El término el bioestimulante se refiere a sustancias que a pesar de no ser un nutrimento, un pesticida o un regulador de crecimiento, al ser aplicadas en cantidades pequeñas generan un impacto positivo en la germinación, el desarrollo, el crecimiento vegetativo, la floración, el cuajado y/o el desarrollo de los frutos.

Esta definición resulta poco específica y ello ha conducido a que en el mercado el término bioestimulante se utilice para describir una amplia gama de productos, que van desde extractos de plantas hasta extractos animales, además combinaciones de estos con productos de reconocida función, tales como nutrimentos, vitaminas o reguladores de crecimiento. A continuación se presenta una descripción de los diferentes tipos de bioestimulantes clasificados de acuerdo con su origen o su composición, haciendo énfasis en los bioestimulantes que contienen reguladores de crecimiento.

2. FORMULACIONES DE BIOESTIMULANTES

Existen diversos tipos de bioestimulantes, unos químicamente bien definidos tales como los compuestos por aminoácidos, polisacáridos, oligopéptidos o polipéptidos. Existen otros más complejos en cuanto a su composición química, como pueden ser los extractos de algas y ácidos húmicos, los cuales contienen los componentes anteriormente citados pero en combinaciones diferentes y en algunos casos con sus concentraciones reportadas en rangos y no con valores exactos.

2.1. Formulaciones a base de aminoácidos

Estos bioestimulantes poseen aminoácidos en diferentes composiciones: libres, en cadenas cortas (1-10 aminoácidos) oligopéptidos, o en cadenas largas (mayor de 10 aminoácidos) polipéptidos.

Los aminoácidos son las unidades básicas que componen las proteínas y estas juegan un papel clave en todos los procesos biológicos como en el transporte y el almacenamiento, el soporte mecánico, la integración del metabolismo, el control del crecimiento y la diferenciación (Figura 1).

Las plantas sintetizan los aminoácidos a través de reacciones enzimáticas por medio de procesos de aminación y transaminación. El primero de ellos es producido por sales de amonio absorbidas del suelo y ácidos orgánicos, producto de la fotosíntesis. La transaminación permite, además, producir nuevos aminoácidos a partir de otros preexistentes.

La síntesis de proteínas por la planta se realiza a partir de los aminoácidos sintetizados, siendo indispensable la presencia de todos y cada uno de ellos.

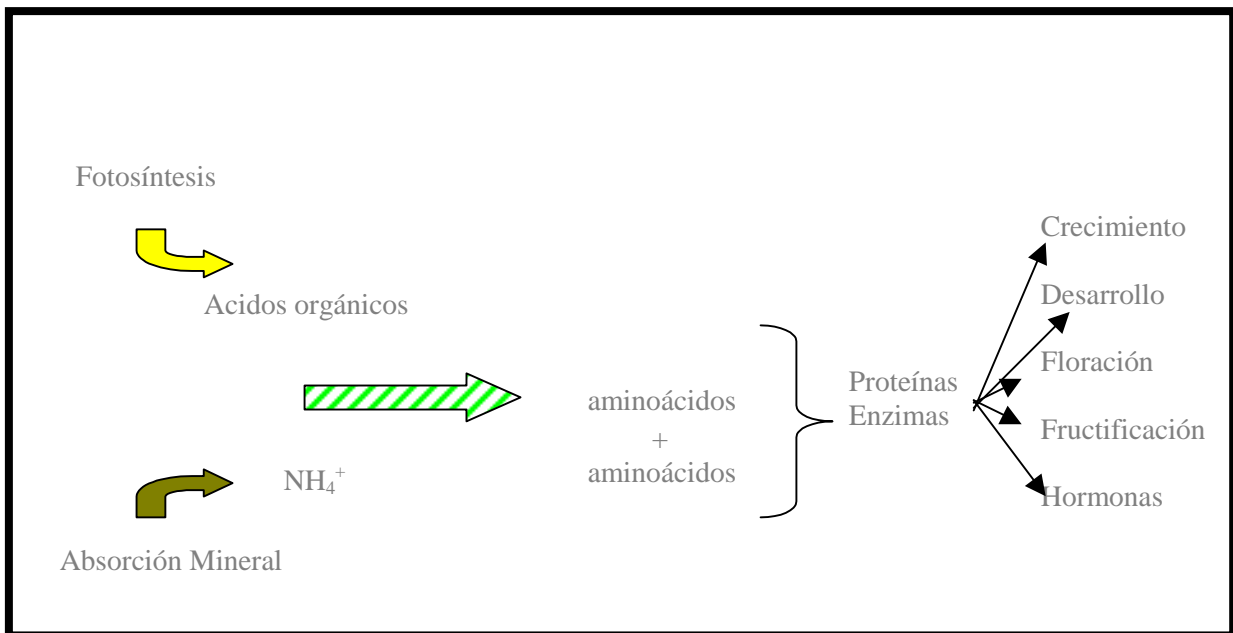


Figura 1. Simplificación de los procesos de síntesis de aminoácidos, proteínas y enzimas

El número y orden de los aminoácidos en las proteínas determina las propiedades fisiológicas y biológicas de estas. Aunque el número de proteínas es muy amplio, estas están compuestas por tan solo 20 diferentes aminoácidos (Figura 2).

La estructura básica de un aminoácido se encuentra conformada por un grupo amino, un grupo carboxilo, un átomo de hidrógeno y un grupo R distintivo, unidos todos a un átomo de carbono central. Los diferentes aminoácidos se unen mediante enlaces peptídicos para formar las proteínas. Estos enlaces unen el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino del siguiente amino ácido.

Las cadenas laterales o grupo R, difieren en tamaño, forma, carga, capacidad para formar enlaces de hidrógeno y reactividad química. De esta manera, los diferentes aminoácidos, pueden ser agrupados de acuerdo con las propiedades de estas cadenas:

- 1) aquellos con cadenas laterales alifáticas: glicina, alanina, valina, leucina, isoleucina y prolina;
- 2) cadenas laterales hidroxialifáticas: serina y treonina;
- 3) cadenas laterales aromáticas: fenilalanina, tirosina y triptófano;
- 4) cadenas laterales básicas: lisina, arginina e histidina;
- 5) cadenas laterales ácidas: ácido aspártico y ácido glutámico;
- 6) cadenas laterales de amidas: asparagina, y glutamina y
- 7) cadenas laterales de azufre: cisteína y metionina.

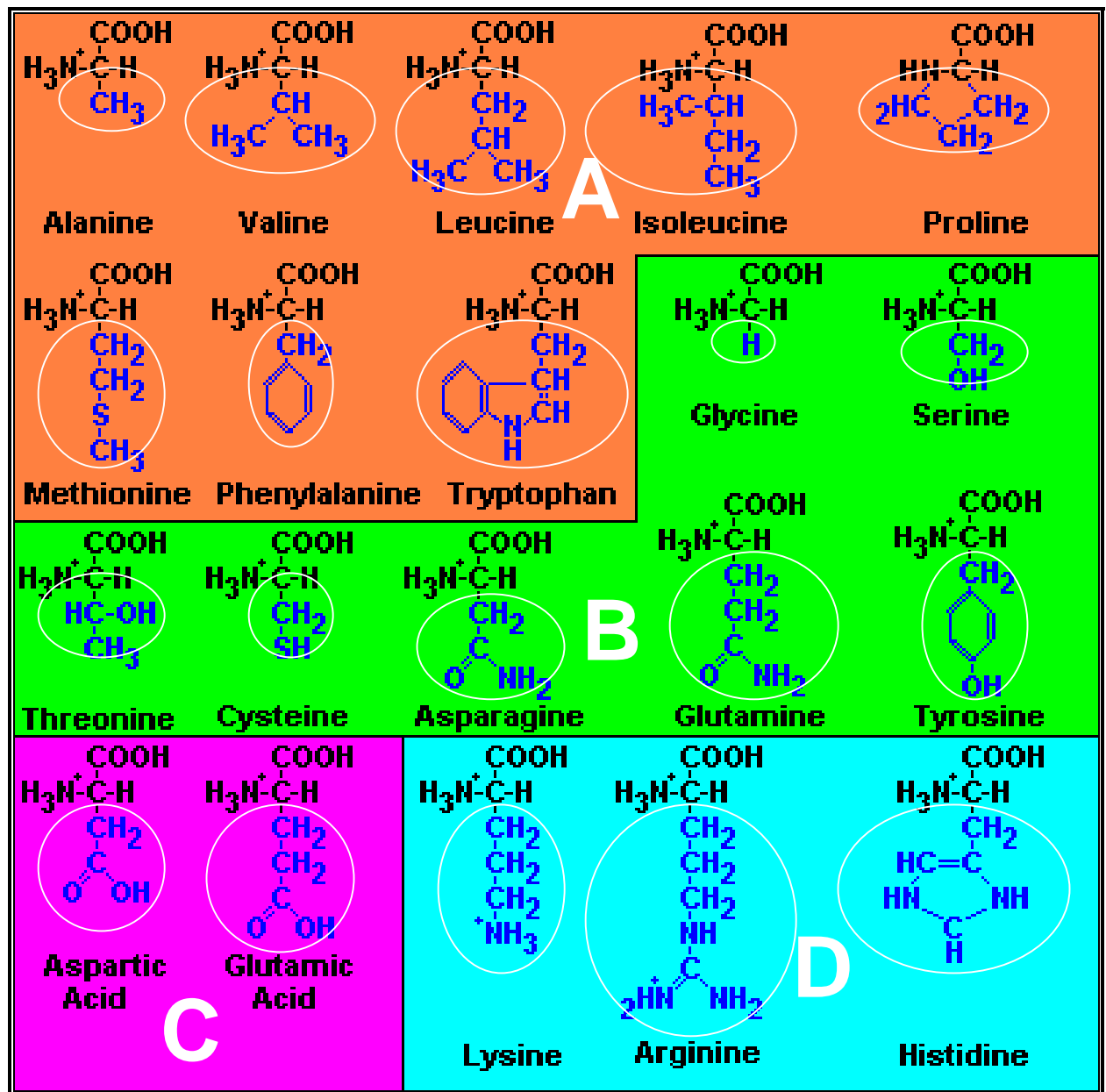
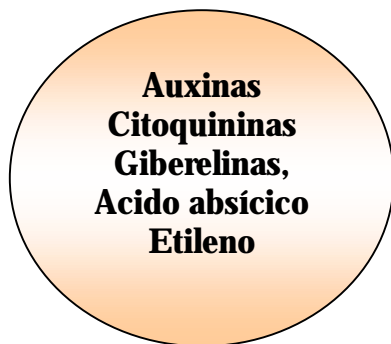


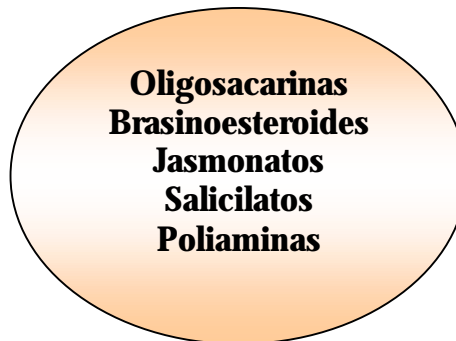
Figura 2. Lista de aminoácidos y sus estructuras. En este dibujo puede verse la fórmula de los aminoácidos, en color negro la parte común, mientras que encerrado en un círculo puede verse la parte variable, que da a los aminoácidos distinto comportamiento. La clave de letras es la siguiente: A = aminoácidos hidrofóbicos; B = aminoácidos polares; C = aminoácidos ácidos; D = aminoácidos básicos

2.2. Formulaciones a base de aminoácidos con reguladores de crecimiento

Los reguladores de crecimiento (RC) de plantas son compuestos orgánicos, diferentes de los nutrimentos que en pequeñas cantidades promueven, inhiben o modifican uno o varios procesos fisiológicos en las plantas. El término RC incluye sustancias presentes en la naturaleza o compuestos sintéticos (Basra 2000). Grill y Himmelbach (1998) describen la función de estos diciendo que los RC son mediadores del programa de desarrollo endógeno y sirven para integrar las señales extracelulares para regular y optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas. Existen 5 clases de RC bien definidos, considerados clásicos:



Otros RC descubiertos más recientemente incluyen a:



2.2.1. Auxinas

Charles Darwin a finales del siglo diecinueve se refirió a una “influencia” en las plantas que induce a estas hacia la luz. En 1928 Went demuestra que en los coleoptilos de avena existe una sustancia difusible a la que llamó “auxina” del griego aumentar. En 1934 es purificada y debido a su efecto en el crecimiento es conocida como la “hormona del crecimiento” y por más de 25 años figura como la única hormona vegetal y a partir de la cual se explicaban todos los procesos de crecimiento celular.

Las auxinas están involucradas en diversos procesos fisiológicos: crecimiento, respuesta a la luz y a la gravedad (tropismos), dominancia apical, senescencia, diferenciación de xilema y

floema, diferenciación de yemas axilares y raíces, crecimiento de frutos, regeneración de tejido vascular y la inducción de raíces adventicias. Su síntesis se concentra en el meristema apical y hojas jóvenes y su transporte es siempre de las partes superiores a las inferiores (dirección basípeta). Este tipo de movimiento tiene una influencia directa en el crecimiento y diferenciación de la planta.

El precursor de las auxinas es el aminoácido triptofano. La auxina más común es el ácido indole acético, pero existen una serie de auxinas sintéticas con mayor actividad y estabilidad. Entre ellas están: ácido indole butírico (IBA), el 2,4 D (que es usado como herbicida a altas concentraciones), el ácido naftalene acético (ANA), el dicamba, el tordón o picloram y el 2,4,5 T (ácido 2,4,5 Triclorofenoxiacético). Sus aplicaciones comerciales más frecuentes son la inducción de raíces adventicias y la inducción de la floración en piña.

Cuadro 1. Sitios de síntesis de los diferentes reguladores de crecimiento

Regulador de Crecimiento	Sitio de Síntesis
Auxinas	Polen, meristemas, primordios foliares Hojas Jóvenes Semillas y frutos en expansión
Giberelinas	Semillas en desarrollo Brotos en activo crecimiento
Citoquininas	Raíces, frutos tejidos seminales
Etileno	Todos los tejidos según etapa de desarrollo
Acido Abscísico	Hojas (cloroplastos y plastidios)
Brasinoesteroides	Polen, hojas, flores, semillas, brotes
Salicilatos	Hojas, estructuras reproductivas
Jasmonatos	Meristema apical Hojas jóvenes Frutos inmaduros Meristema radical

2.2.2 Citoquininas

En 1892 Wiesner sugirió que debía existir una sustancia que regulara la división celular en plantas, pero fue hasta 1955 que Miller logró aislar una sustancia a partir de tejido animal que inducía la división celular en presencia de auxinas, la kinetina. En 1964 Lethan aisló la primera citoquinina de plantas, la zeatina.

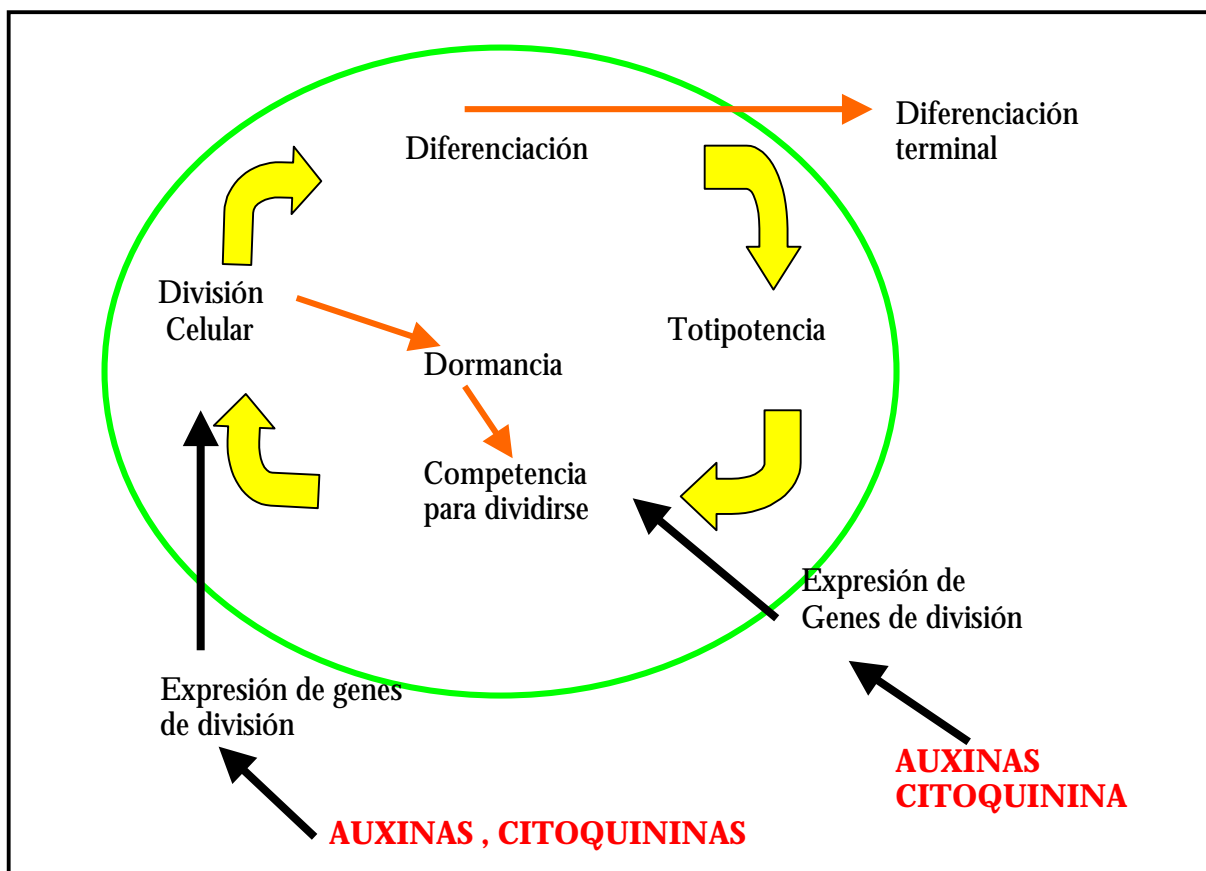
Las citoquininas están involucradas en una serie grande de actividades fisiológicas en las plantas: división celular, formación de órganos, alargamiento celular, retraso en la degradación de la clorofila, desarrollo de cloroplastos, retraso de la senescencia y translocación de nutrimentos.

Tal y como se muestra en el Cuadro 1, los sitios de síntesis son las semillas en desarrollo, los brotes en crecimiento y las raíces. Su biosíntesis ocurre a partir de la adenosina

monofosfato y el isopentenil pirofosfato. La zeatina es la citoquinina con mayor actividad, pero existen otrascitoquininas naturales como la adenina, la kihidrozeatina, la dimetilaliladenina (DMAA), la metiltiozeatina y otras de origen sintético como la kinetina, la benziladenina (BA), la tetrahidropiranilbenziladenina (PBA) y la difenilurea.

Las aplicaciones prácticas más comunes de las citoquininas se dan en la micropropagación de plantas a través del cultivo de tejidos, donde la aplicación de esta sustancia es esencial para la regeneración de brotes. En la Figura 3 se describe gráficamente un ejemplo de interacción y función entre las citoquininas y auxinas en la división celular. La mayoría de las células vegetales mantienen su capacidad de división durante todo su ciclo de vida, otros entran en una etapa de diferenciación terminal después de la cual no son capaces de dividirse nuevamente. Sin embargo, pueden entrar en períodos de reposo o dormancia temporal durante la cual no se dividen. Estas células pueden reintegrarse al proceso de división luego de recibir estímulos de auxinas y citoquininas y de la condición nutritiva de la planta.

Figura 3. Simplificación del modo de la interacción de las citoquininas y las auxinas en la división celular



Sacarosa, Nivel nutricional N y P, Indicadores metabólicos

2.2.3. Giberelinas

Las giberelinas fueron descubiertas en 1926 por Kurosawa como un compuesto que induce un crecimiento desproporcionado en plantas de arroz y que es sintetizado por el hongo *Giberella fujikori*. Estos compuestos luego fueron hallados en otros hongos y en las plantas y en 1950 se caracterizan como el segundo grupo de RC.

Las giberelinas son diterpenoides ácidos derivados del hidrocarburo diterpenoide tetracíclico ent-kaureno. Este es originado a partir de la acetil coenzima A la cual forma primero el mevalonato. La mayoría de las giberelinas poseen 20 átomos de carbono de su precursor. Los demás han perdido el átomo de carbono número 20. La nomenclatura de las giberelinas es GA₁, GA₂, ... GA_n, donde el subíndice solo indica el orden de su descubrimiento. Actualmente existen más de 80 siendo GA₁, GA₃, GA₄ y GA₇ los más comunes.

Las giberelinas tienen actividad en los procesos de crecimiento del tallo, en la floración, en la germinación, la dormancia, la expresión sexual, la senescencia, el amarre y crecimiento de los frutos y la partenocarpia. Son sintetizadas en semillas en desarrollo y en brotes en activo crecimiento. Existe una interacción directa entre las citoquininas y las giberelinas, ambos comparten la isopentenilpirofosfato como intermediario en su biosíntesis.

Entre las aplicaciones prácticas de las giberelinas se encuentra la inducción de la germinación de semillas, el fomento al crecimiento de frutos de uva y manzana, la sustitución de la necesidad de fotoperíodo o vernalización.

2.2.4. Ácido absísico

En contraste con las auxinas, las citoquininas y las giberelinas, el ABA y el etileno actúan como inhibidores del crecimiento e inhibidores de procesos metabólicos.

Ohkuma *et al.* (1963) descubrieron una sustancia que promovía la abscisión de frutos de algodón y fue denominada abscisina, por su relación con el proceso de abscisión, sin embargo, luego se encontró que es el etileno, y no el ácido absísico (ABA), el RC mayormente involucrado con el proceso de abscisión.

El ABA se encuentra presente en todas las plantas vasculares. Ha sido detectado en la mayoría de los órganos de las plantas. Es sintetizado en todas las células que contienen cloroplastos o amiloplastos. Se transporta por el xilema y el floema.

Su estructura química determina su actividad. La estructura química semeja la sección terminal de algunas moléculas de carotenoides. Se sintetiza, al igual que las giberelinas, a partir del mevalonato, lo cual puede explicar su actividad opuesta a la de las giberelinas: induce la dormancia de yemas y semillas e inhibe el crecimiento inducido por auxinas. Otras funciones asociadas al ABA son el cierre estomático bajo condiciones de estrés, lo que permite a la planta mantener su control hídrico. Se asocia también a procesos de abscisión y senescencia.

2.2.5. Etileno

En 1934 Gane identifica al etileno como un producto natural de las plantas, pero fue hasta 1954, con el advenimiento de la cromatografía de gases, que se logró demostrar y cuantificar la actividad del etileno.

El etileno es el compuesto inorgánico insaturado más sencillo (C_2H_4). Es un gas en condiciones fisiológicas de temperatura y presión, producto natural del metabolismo vegetal que influye sobre el crecimiento de las plantas en cantidades muy pequeñas. Su movimiento es pasivo y la distribución es sistémica y rápida, pues esta ocurre a través de los espacios intercelulares y además el etileno es soluble en agua y lípidos.

Es sintetizado en todos los órganos de la planta pero en mayor grado en tejidos senescentes y frutos inmaduros. Se sintetiza a partir del aminoácido metionina y las reacciones que lo generan han sido ampliamente estudiadas, lo que ha permitido la manipulación de su acumulación.

Su síntesis es promovida durante la maduración de los frutos, por la aplicación exógena de auxinas, por daños físicos y químicos y por condiciones de estrés hídrico o de temperatura. Su actividad fisiológica está relacionada con: maduración de los frutos, abscisión, epinastia, apertura del gancho de germinación, rotura de la dormancia en semillas, promoción del crecimiento, inducción de la formación de raíces, inducción/inhibición de la floración dependiendo del cultivo, e inducción de la senescencia.

2.2.6. Otros RC

Cuadro 2. Actividades fisiológicas relacionadas a reguladores de crecimiento (RC)

RC	Actividad
Brasinoesteroides	Germinación Incremento a la resistencia al frío Resistencia a ataques de plagas y patógenos Resistencia a daños por herbicidas Aumento de producción
Salicilatos	Inducción de floración Resistencia a ataque de plagas y patógenos
Jasmonatos	Aumento en la respuesta a estímulos externos: heridas, elicitores, fuerzas mecánicas, estrés osmótico
Poliaminas	División celular Envejecimiento

2.2.7. Respuesta de las plantas a los RC: Concentración vs Sensibilidad

La magnitud de la respuesta a un RC se considera que depende de la concentración de este, es decir a una concentración dada se espera una respuesta específica. En términos

bioquímicos esto se dice que la concentración de un RC en un compartimento específico que contiene el receptor determina la magnitud de la respuesta.

Sin embargo, es común que al aplicar concentraciones idénticas, bajo condiciones similares, se observen resultados diferentes. Esta respuesta la explica Trewavas (1982) utilizando el término SENSIBILIDAD, el cual considera el concepto de concentración pero contempla además otros factores que influyen en la respuesta a un RC, estos son:

1. La concentración del RC
2. La capacidad del tejido de absorber el RC
3. La concentración de los receptores al RC
4. La afinidad de los receptores por los RC
5. La reacciones posteriores a la interacción del RC/receptor
6. La actividad de las enzimas que metabolizan los RC

Estos factores son afectados por condiciones de la planta y del ambiente:

1. *Distintos tejidos y órganos responden diferente a los RC*, lo cual tiene implicaciones importantes pues se pueden dar efectos secundarios de la aplicación de los RC.
2. *El equilibrio fitohormonal y específico de cada especie*. Esto impide extrapolar resultados de un cultivo a otro, y aún dentro del mismo cultivo creciendo bajo condiciones diferentes.
3. *Edad de la planta (etapa de desarrollo)*. El balance de RC varía durante el desarrollo de la planta y por ello debe analizarse el efecto de los RC en los diferentes estadios. Esto retoma mayor importancia en cultivos en los cuales se mezclan diversos estadios en un mismo espacio (ej. helechos).
4. *Temperatura*. En zonas templadas mayor importancia.
5. *Estado hídrico*. La condición de humedad en el suelo afecta la absorción y el balance hormonal interno. El ácido absícico en altas concentraciones durante periodos de estrés.
6. *Fotoperíodo*. Esto se observa claramente en plantas de día corto/día largo.
7. *Residualidad*. La planta es capaz de almacenar RC y liberarlos lentamente por lo que la respuesta puede extenderse por largos periodos de tiempo.

Todos estos factores condicionan el uso de los RC a tener un conocimiento claro del patrón de crecimiento del cultivo en cuestión. Obliga también a evaluar en el tiempo la respuesta a un RC aplicado, por lo menos por los dos ciclos de cultivo siguientes.

Adicionalmente, algunos de los efectos secundarios observados a la aplicación de RC son: caída de hojas, disminución de rendimiento en años posteriores, disminución del vigor de la planta, áreas foliares cloróticas, distorsión de flores/pedúnculos y deformaciones foliares.

2.3. Formulaciones a base de aminoácidos con nutrimentos

Los bioestimulantes también puede incluir micronutrimentos o fertilizantes de nitrógeno, fósforo y potasio. Típicamente, el nivel de NPK en bioestimulantes es bajo, por lo que las plantas requieren de aplicaciones de fertilizantes tradicionales.

2.4. Formulaciones a base de aminoácidos con vitaminas

Los bioestimulantes también pueden contener varios paquetes de vitaminas. Por definición, las vitaminas son compuestos orgánicos que, en concentraciones bajas, tienen funciones catalizadoras y reguladoras en el metabolismo de la célula. Debe anotarse que a diferencia de los animales, las plantas tienen la habilidad de sintetizar vitaminas.

2.5. Formulaciones combinadas

Otras formulaciones incluyen combinaciones de las formas expuestas anteriormente.

2.6. Formulaciones húmicas

Los bioestimulantes a base de ácidos húmicos son formulaciones líquidas de sustancias húmicas que se emplean habitualmente mediante el agua de riego o en pulverización foliar para incrementar la absorción y asimilación de los nutrientes minerales, de tal forma que actúan sobre el cultivo incrementando el vigor, rendimiento y calidad de la producción. Al ser aplicado al suelo mejora sustancialmente las características agronómicas de este, su textura y estructura, porosidad y permeabilidad.

Las sustancias húmicas son compuestos de naturaleza polimérica derivados de la lignina y celulosa, formados por cadenas de propanil benceno con cadenas alifáticas laterales en las que hay grupos reactivos carboxílicos, quinónicos, oxihidrilos, etc. y se componen de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos que se separan en fabricación gracias a su diferencia de solubilidad en medio ácido o alcalino.

2.7. Formulaciones a partir de algas

En 1979, dos biólogos marinos y un ingeniero mecánico descubrieron niveles altos de bioestimulantes presentes en las células del alga marina fresca, *Ecklonia maxima*. En la actualidad existen varios tipos de algas a partir de las cuales se obtienen bioestimulantes, entre ellas el alga marina noruega (*Ascophyllum*), la cual se recoge fuera de las costas de Inglaterra, Irlanda, Noruega, Gulfweed (*Sargassum*), una planta del mar flotante que se siega fuera de la costa de Carolina del Norte; y Kelp (*Macrocystis gigante*) encontrada en el noroeste del Pacífico de Estados Unidos.

El alga marina contiene 60 o más minerales y algunos reguladores de crecimiento de plantas. No es, sin embargo, un fertilizante completo. Tiene una cantidad regular de nitrógeno y potasio, pero es muy bajo en fósforo.

3. SÍNTESIS DE BIOESTIMULANTES

Los productos a base de aminoácidos que existen en el mercado nutricional proceden principalmente de:

- 1) Síntesis química

- 2) Fermentación bacteriana
- 3) Hidrólisis ácida
- 4) Hidrólisis enzimática
- 5) Doble hidrólisis enzimática
- 6) Digestión alcalina
- 7) Congelamiento
- 8) Estallido celular mecánico

4. MODO DE ACCIÓN DE LOS BIOESTIMULANTES

El efecto de los bioestimulantes va a depender de su composición, y de cómo se expuso anteriormente esta presenta una gran diversidad. Si se excluye el efecto de componentes de acción conocida como los reguladores de crecimiento (auxinas, citoquininas, etileno, etc.) el modo de acción de los bioestimulantes puede explicarse de diferentes maneras:

4.1. Ahorro energético

Las plantas a través de procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la respiración sintetizan sus propios aminoácidos a partir de los nutrientes minerales que absorben. Los aminoácidos luego se unen formando cadenas, dando lugar a las proteínas y enzimas que constituyen parte del material vivo de la planta.

Al aplicar bioestimulantes formulados a base de aminoácidos se sule a la planta con estos bloques estructurales (aminoácidos). Esto favorece el proceso de producción de proteínas con lo que se produce un ahorro de energía que la planta puede dirigir hacia otros procesos tales como floración, cuajado y producción de frutos. Este ahorro de energía tiene un valor especial cuando estos productos son aplicados en un momento en el cual el cultivo está debilitado por alguna condición extrema como un estrés hídrico, una helada, ataque de una plaga, un trasplante, el transporte de una localidad a otra, enfermedades y/o efectos fitotóxicos tales como la aplicación indebida de productos fitosanitarios, etc.

4.2. Suplemento de aminoácidos de alto consumo

En los momentos iniciales de la emergencia y primer crecimiento es cuando la planta necesita mayor aporte de nitrógeno que es necesario para la formación de porfirinas, que son los pilares estructurales de la clorofila y los citocromos. La síntesis de porfirinas precisa de glicina, un aminoácido que se encuentra presente en distintas formulaciones de bioestimulantes.

Otro importante aminoácido incluido en la formulación de estos productos es el ácido glutámico. Esta sustancia, a través del proceso de transaminación, produce una larga serie de aminoácidos en los que interviene en algún lugar de su proceso biosintético.

4.3. Formación de sustancias biológicamente activas

La respuesta de la planta a la aplicación de los aminoácidos se ha asociado a la formación de sustancias biológicamente activas, las cuales actúan vigorizando y estimulando la vegetación, por lo que resultan de gran interés en los períodos críticos de los cultivos, o en aquellos cultivos de producción altamente intensiva (invernaderos, cultivos hidropónicos, etc.). Aunque la naturaleza de estas sustancias no es conocida, se ha demostrado que estimulan la formación de clorofila, de ácido indolacético (AIA), la producción de vitaminas y la síntesis de numerosos sistemas enzimáticos.

La acción combinada de los efectos bioestimulantes y hormonal suele traducirse en estímulos sobre la floración, el cuajado de los frutos, adelanto en la maduración y mejora del tamaño, coloración, riqueza en azúcares y vitaminas. Por ejemplo, hay cremas a base de algas, que contienen elementos que estimulan el metabolismo de poliaminas (estas son indispensables en el desarrollo de la fruta), favoreciendo así el desarrollo de flores, polinización y la primera fase en la formación de fruta.

Las transformaciones de aminoácidos en nuevos aminoácidos, así como otras reacciones bioquímicas, son reguladas por hormonas y principalmente por las enzimas que juegan el papel de catalizadores biológicos. Los bioestimulantes a base de aminoácidos parecen afectar de algún modo positivo alguno de estos mecanismos.

4.4. Producción de antioxidantes

Una reciente investigación sugiere que la planta bajo estrés reduce su metabolismo debido a un aumento de sustancias oxidantes. Los antioxidantes pueden evitar niveles tóxicos de estas sustancias, pero una planta no siempre puede producir suficientes antioxidantes para ser beneficioso. Se ha encontrado que tras aplicaciones de extracto del alga marina se refuerza el número de antioxidantes, con lo cual se mejora el metabolismo de la planta.

En los bioestimulantes orgánicos, los componentes más activos son las vitaminas de estrés. El ascorbato es la sustancia más activa, seguida por hidrolizado de caseína. Además de actuar como un antioxidante, el ascorbato parece que promueve la formación del xilema.

4.5. Efecto regulador sobre el metabolismo de los microelementos

Los aminoácidos pueden formar quelatos con diferentes microelementos (hierro, cobre, zinc y manganeso especialmente), favoreciendo su transporte y penetración en el interior de los tejidos vegetales. Esta cualidad de introducir moléculas al interior de los tejidos vegetales se aprovecha actualmente para mejorar la eficacia de diversos productos fitosanitarios sistémicos o penetrantes como herbicidas, fitoreguladores etc., permitiendo reducir incluso sus dosis de aplicación.

Sin embargo, en algunos casos esta característica de los bioestimulantes puede tener efectos negativos. Existe una incompatibilidad biológica entre productos a base de aminoácidos y compuestos cúpricos, debido a que los aminoácidos forman uniones con el cobre y al penetrar en los tejidos vegetales produce fitotoxicidad en cultivos como la viña o las plantas hortícolas.

Los bioestimulantes que contienen ácido ascórbico, además de su acción como antioxidante promueven la formación del xilema. Además favorecen la captación de nutrimentos al actuar como bombas de microelementos. Así, plántulas de árboles tratados con ellos desarrollan mejores sistemas vasculares (en el caso de pino se da un mayor número de traqueidas, con un diámetro mayor y paredes más densas) para transportar agua y nutrimentos, y es más eficaz en captación de nutrimento debido a un sistema radical más grande.

4.6. Incremento de polifenoles

Se sugiere que las plantas tratadas con bioestimulantes son más resistentes a los insectos, posiblemente porque ellas son más vigorosas, y pueden producir más de los compuestos defensivos (los cuales son energéticamente caros) como los polifenoles.

4.7. Regulación fisiológica bajo condiciones de estrés hídrico

Se ha demostrado que el estrés ambiental produce una reducción de la producción en los cultivos agrícolas que oscila entre un 60 al 80%, siendo los factores más limitantes la sequía y la salinidad, los cuales tienen en común que afectan directamente el estado hídrico de la planta. Se supone que si se mejora el nivel hídrico de la planta durante los momentos de estrés se puede mejorar significativamente la producción total final.

Mladenova, *et al.* 1998 evaluaron el efecto de un bioestimulante, el SIAPTON (bioestimulante formulado a base de aminoácidos), en el cultivo del maíz bajo condiciones de estrés hídrico causados por una condición salina. Este producto es aplicado foliarmente, y es inmediatamente absorbido y translocado hacia las partes aéreas y principalmente a aquellas con una tasa relativa de crecimiento mayor.

Para estudiar la respuesta al SIAPTON, se evaluaron variables cuyo comportamiento es conocido bajo condiciones de estrés: la asimilación del nitrógeno, la actividad de la enzima glutamato deshidrogenasa y la respuesta del aparato fotosintético.

En el caso de la asimilación del nitrógeno se estudió la actividad de la nitrato reductasa (NR) que es una enzima esencial en el mecanismo de absorción de nitrógeno reducido. El SIAPTON logró aminorar el decrecimiento de la NR inducido por el estrés salino posiblemente previniendo la degradación de la NR.

También se estudió la glutamato deshidrogenasa (GDH) que tiene un rol principal en el catabolismo del glutamato, asegurando de esta forma esqueletos de carbono para el

funcionamiento eficiente del ciclo de Krebs bajo condiciones limitantes de carbón. En cuanto a la GDH el SIAPTÓN logró aumentar su actividad y con ellos fomentar la síntesis de solutos orgánicos.

Cuadro 3. Efecto del SIAPTÓN en plantas expuestas a condiciones salinas

GENOTIPO	L-GDH		
	Mmoles NAD.H * min * mg proteína * 1000		
	CONTROL	SAL	SAL + SIAPTÓN
Genotipo intolerante al estrés	8,56 ± 0,11 100 %	4,28 ± 0,29 50 %	5,26 ± 0,17 61,5 %
Genotipo tolerante al estrés	6,19 ± 0,20 100 %	4,79 ± 0,19 77,4 %	6,17 ± 0,33 99,7 %

La aplicación de SIAPTÓN también reduce el efecto negativo del efecto salino sobre la tasa de fotosíntesis y reduce el desbalance causado por la sal en tres niveles de la fotosíntesis, acercando los niveles de fijación de carbono a los del control. También se midió el efecto del SIAPTÓN en relación con los cambios de otros parámetros de los cuales depende la fotosíntesis en condiciones de deficiencia de agua, se midió los cambios en la capacidad de retención de agua en hojas cortadas ante la presencia del medio salino, como una medida de la deshidratación natural, también se midieron los cambios en el estado hídrico (turgencia relativa) y la estabilidad de la membrana celular. Se demostró el efecto positivo de la aplicación del SIAPTÓN sobre todas estas variables.

Adicionalmente, un efecto benéfico del SIAPTÓN se observa en la ultraestructura del plastidio. En la grana del cloroplasto en plantas sometidas al estrés salino se produce un cambio en la organización del complejo de la grana laminar, reduciéndose el empaquetamiento de esta y reduciéndose también la densidad del estroma. La aplicación del SIAPTÓN permite reorganizar la estructura.

En conclusión, la adición de SIAPTÓN a plantas estresadas osmóticamente con NaCl permite la recuperación de la planta a valores normales en variables metabólicas, estructurales y fisiológicas, independiente del genotipo estudiado. Esto sugiere que el SIAPTÓN puede interferir en el metabolismo dañado de las plantas como un bioestimulante no específico con un potencial múltiple para aliviar el estrés. Es posible que el SIAPTÓN actué en estructuras celulares y moleculares, por ejemplo un efecto de protección en enzimas cuaternarias/estructura de isoenzimas o un efecto en los estomas o la resistencia cuticular.

5. MODO DE APLICACIÓN DE LOS BIOESTIMULANTES

Se aplican normalmente por vía foliar pero también por vía radicular. Se utilizan en pulverizaciones foliares o a través de los sistemas de riego (tradicional, localizado, etc.) para activar o estimular el desarrollo vegetativo, la floración, el cuajado o el desarrollo de los

frutos. Con frecuencia los aminoácidos también se emplean mezclándolos con productos fitosanitarios (insecticidas, fungicidas, herbicidas) para potenciar la acción de los mismos.

Aún cuando son nutrimentos, no es este aspecto el que justifica su utilización sino el efecto activador que producen sobre el metabolismo del vegetal. Por ello, resulta aconsejable, en la mayoría de los casos, que sean aplicados junto con un abono mineral adecuado al cultivo y a su estado fenológico. Algunos formulados, además de micronutrimentos, contienen cantidades respetables de nitrógeno, fósforo y potasio.

6. ABSORCIÓN DE LOS BIOESTIMULANTES

En general, estos productos se caracterizan por ser, en mayor o menor medida, directamente asimilables por las plantas, no dependiendo su absorción de la función clorofílica; es decir, pasan a través de la epidermis al haz vascular desde el cual y con un consumo mínimo de energía, entran a formar parte de las células en lugares de activo crecimiento.

Se ha comprobado que utilizando aminoácidos marcados con C_{14} la absorción y la translocación interna se hace muy rápidamente tras su aplicación y que emigran de forma inmediata hacia las partes de la planta en crecimiento.

7. MOMENTO DE APLICACIÓN DE LOS BIOESTIMULANTES

Estas sustancias ayudan a la planta durante períodos de estrés o cuando está debilitada por alguna condición extrema como una helada, un ataque de una plaga, trasplantes, transportes, enfermedades o efectos fitotóxicos a consecuencia de la aplicación indebida de productos fitosanitarios, etc.

En maíz, se obtuvieron resultados que probaron la efectividad de un bioestimulante a base de aminoácidos. Se probó el efecto que tuvo la inducción de salinidad sobre el medio de crecimiento donde crecían plántulas y al que después se aplicó un bioestimulante, contra unas plántulas a las que no se les aplicó el bioestimulante. Luego se evaluaron parámetros metabólicos, funcionales y estructurales relacionados con la asimilación de nitrógeno y fotosíntesis, una vez que las plantas se encontraron lo suficientemente desarrolladas. Las plantas a las que se les aplicó el bioestimulante lograron reponerse del estrés ocasionado por la salinidad y llevaron los valores de los parámetros antes mencionados, cercanos a los de las plantas control (Mladenova, *et al.* 1998).

En árboles de maple la aplicación de bioestimulantes a base de sustancias húmicas afectó el crecimiento temprano de raíces y el flujo de savia a través del tronco, después de transplantados desde el invernadero. Es común que después del trasplante se dé un crecimiento reducido de las plantas (conocido en inglés como transplant-shock) como resultado de un estrés hídrico causado por una pérdida de raíces durante el traspaso del vivero al campo (Kelting, Appleton 1998).

En una prueba realizada por la Universidad de Clemson en Carolina del Sur, las semillas se humedecieron con un extracto líquido de algas. Estas mostraron una rápida germinación y las plántulas resultantes tuvieron una masa radical y un crecimiento mucho más vigoroso que las plántulas de las semillas que no fueron tratadas. También tuvieron una tasa de supervivencia más alta. Este procedimiento, además de reducir el efecto retardante en crecimiento que se da después de transplante, también impulsa el crecimiento rápido de raíces.

Es de esperar un efecto positivo de la aplicación de bioestimulantes antes de aquellos momentos en los cuales las plantas realizan un mayor uso de nutrimentos y fotoasimilados, necesarios para la formación de frutos y otros órganos. En estos momentos las plantas se encuentran más propensas a sufrir desbalances metabólicos, y por ende a ser más susceptibles al ataque de enfermedades y plagas.

8. LISTA DE ALGUNOS BIOESTIMULANTES EN EL MERCADO NACIONAL Y SUS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Producto	Casa distribuidora	Composición	Dosis y cultivos
SIAPTON Verdón	Agro Superior	Aminoácidos, péptidos y polipéptidos	0,5-1 L/200 cc de agua Hortalizas, aguacate, arroz, frutales, cítricos
Amigo	Agro Superior	Micronutrientes aminoácidos	250cc-1 L/200cc de agua Puede ser utilizado en cualquier cultivo
Katabion	Ecorganic		5 cc/ L de agua Banano, legumbres, cítricos
Micromins	AgroPro	Citoquininas, auxinas, giberelinas, ácidos orgánicos y polisacáridos	130 mL/ha Se utiliza en cultivos pertenecientes a las gramíneas, leguminosas, solanáceas, cucurbitáceas, rubiáceas, crucíferas, entre otras
Aminofol	Seracsa	Aminoácidos	
Ácidos húmicos	Biorganic	Líquidos: Ácidos húmicos al 6% Ácidos húmicos al 15% Fórmula completa 10-10-10 + ácidos húmicos y elementos menores Polvo: Acido húmico y fúlvico + P al 76% KNO ₃ + ácidos húmicos Ácidos húmicos + fúlvicos+NPK 60%	15-25 L/ha Se pueden utilizar en cualquier cultivo 2-3 kg/ha Se pueden utilizar en cualquier cultivo
Blossom Pop	Agrícola Piscis	Nitrogeno orgánico Estimulante de floración	3 oz/bomba Se puede utilizar en cualquier cultivo
Kadostim	Bioquim	K, aminoácidos y micronutrientes	0,5 - 0,7 L/ha Especial para cultivos en los que se aprovechan raíces y frutos
Humiforte	Bioquim	Aminoácidos, materia orgánica y micronutrientes	NPK, 1-1,5 L/ha Se puede usar en cualquier cultivo
Fosnutren	Bioquim	P, aminoácidos y micronutrientes	0,5-0,75 L/ha Especial para cítricos, leguminosas, hortalizas, cultivos para la producción de semillas, florales y frutales
Biovit	Bioquim	Aminoácidos	1-2 cc/L de agua, 1L/ha Se puede usar en cualquier cultivo
Biozyme	Químicas costarricenses S.A.	Reguladores de crecimiento, lactona cíclica	Para apio y begonia se usa en dosis de 20-40 g Para ciruela y cereza de 20-50 y para violeta de 10-20 g

BIBLIOGRAFÍA

Barcelo J., Nicolás G., Sabater B. y Sánchez R. 1980. *Fisiología Vegetal* Ediciones Pirámide S.A. Madrid, España. 750 p.

Firn R.D. 1986 Growth Substance sensitivity: The need for clearer ideas, precise terms and purposeful experiments. *Physiol. Plant.* 67:267-272.

Mladenova Y.I., Maini P., Mallegni C., Goltsev V., Vladova F., Vinarova K. and Rotcheva S. 1998. SIAPTON An aminoacid based biostimulant reducing osmostress metabolic changes in maize.

Taiz L. and Zeiger E. 1991. *Plant Physiology*. Benjamin-Cummings Publishing Co. Inc. 559 p.

Trewavas A.J. 1982. Growth Substance sensitivity: The limiting factor in plant development. *Physiol. Plant.* 55:60-72.

UTILIZACIÓN DE ESTUDIOS DE CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS PARA AFINAR PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN FOLIAR

Floria Bertsch, M.Sc.

El estudio del crecimiento y absorción de nutrientes por parte de los cultivos se discutirá a través de dos ejemplos específicos. El primer caso discutirá, la aplicación de estudios de crecimientos en los cultivos de melón y sandía, y el segundo, la absorción de nutrientes por los frutos y las bandolas de café.

CURVAS DE CRECIMIENTO Y DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN MELÓN (*Cucumis melo*) “Honey Dew” Y SANDÍA (*Citrullus lanatus*) “Crimson Jewel”¹

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de establecer la secuencia de necesidades nutricionales del melón y la sandía a lo largo del ciclo, se elaboraron las curvas de crecimiento y de absorción de nutrientes en dos de las variedades más utilizadas de cada cultivo en Costa Rica, a saber, “Honey Dew” para melón, y “Crimson Jewel” (sin semillas) para sandía, en una finca comercial de la zona de Parrita, Puntarenas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron tres muestras por edad de plantas sanas y vigorosas, seleccionadas al azar en diferentes lotes de una plantación comercial, y se determinaron los correspondientes pesos secos y concentraciones de nutrientes de cada uno de sus tejidos (radical, vegetativo y reproductivo) asociables a un rendimiento definido.

En melón se consideraron las siguientes edades: 12, 22, 33, 40, 46, 54 y 61 días después de la siembra (dds), que estuvieron asociadas con los cambios fenológicos más relevantes del cultivo. Para sandía se tomaron plantas de 15, 33, 40, 45, 50 y 65 dds, con el mismo criterio. Dado que todas las edades coexistían en el campo (pues en la finca comercial se hacen siembras diarias) fue muy fácil establecer los momentos de mayor cambio.

En general, las muestras se hicieron por superficie, 1 m² de cama y los entresurcos asociados (los dos en el caso de melón 1,7 m² y uno para sandía, 0,85 m²), que en las edades adultas llega a estar totalmente cubierto por el cultivo, aunque en algunos casos, especialmente en las edades tempranas, se utilizaron plantas enteras. Para melón, en una ha, en este tipo de plantación comercial hay 8725 m² útiles (5400 m² de cama, y 3325 m² de pasillo útil; el resto se usa para movilizar tractores), y se siembran 18016 plantas.

¹ Floria Bertsch, Floria Ramírez

En el caso de sandía, el crecimiento de los entresurcos por donde pasa el tractor es acomodado en la cama, por lo que los 10000 m² de la ha se considerarían útiles (5400 m² de cama, 4600 m² de entresurcos). Lo importante de detallar es que en este caso, junto a esta variedad sin semillas Crimson Jewel, en un 33% del área, se siembra un polinizador (variedad Mikili), entonces la ha comercial se reduce a 6600 m², con una densidad total de 2640 plantas.

La recuperación de raíces se hizo por planta, y se trató de recuperar la mayor cantidad de tejido que existiera en un espacio de 0,4 x 0,4 m y la profundidad de la pala. En todo momento en este trabajo, los resultados se refieren a ha comerciales de melón (8725 m²) y sandía (6600 m²), como se muestra continuación:

Cultivo	Variedad	área útil m ² /ha	# plantas/ha
Melón	“Honey Dew”	8725	18016
Sandía	“Crimson Jewel”	6600	2640

La sandía se siembra junto con un polinizador que ocupa 33% del área

Para las edades mayores, luego de medir el peso fresco total de las muestras vegetativas y de frutos se tomó una submuestra para el análisis de laboratorio. En el laboratorio del Centro de Investigaciones Agronómicas, se secaron las muestras, se midió el peso seco y se calculó el porcentaje de humedad de cada sección. Se realizó el análisis químico de las muestras para los elementos N, P, Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn, Zn y B.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curvas de crecimiento

Como se muestra en la Figura 1, la acumulación total de Materia Seca (MS) de melón asciende a 3,5 t/ha comercial (8725 m²), de los cuales el 64% (aproximadamente 2000 kg/ha) llega a formar parte de los frutos. En el caso de sandía, la máxima acumulación de MS en una ha comercial de Crimson, que corresponde a 6600 m² (pues el resto corresponde a la otra variedad polinizante Mikili), es de 2,4 t/ha comercial. De esto solo una pequeña proporción (37%) es lo que llega a convertirse en fruto. Esto significa que la mayor parte del esfuerzo en la sandía queda invertido en el material vegetativo, lo que resulta contrario a lo que sucede en el melón (36% vegetativo, 64% frutos).

Desde un punto de vista nutricional, esto significa que la “exportación” de nutrimentos por cosecha es menor en la sandía que en el melón, o lo que es lo mismo, el “reciclaje” de nutrimentos en el suelo a partir de los residuos de cosecha resultará mayor en sandía que en melón.

Otras comparaciones interesantes son:

Si la producción de biomasa de sandía se equipara al área útil de melón en una ha (8725 m²), la MS total producida por ambos cultivos se vuelve comparable (3,5 t melón, 3,2 t sandía).

En frutos, la situación es diferente: en áreas comparables, el melón produce el doble de MS en frutos (2,2 t) que la sandía (1,2 t), lo que haría pensar que el melón es más eficiente que la sandía. Esta misma comparación en términos de fruta fresca permite una valoración diferente de la situación. Mientras que el porcentaje de humedad en el material vegetativo es igual para melón y sandía (91%), los frutos muestran una diferencia de 3%. El melón acumula 95% de agua, mientras que la sandía es 98% agua y 2% materia seca.

De esta manera, con biomazas secas diferentes, ambos cultivos producen tonelajes de fruta fresca semejantes: la producción por ha comercial de melón asciende a 43,5 t, y la de sandía corresponde a 44,4 t, respectivamente. Ahora bien, hasta los 40 días (dos terceras partes del ciclo en el caso del melón), ambas plantas son en esencia material vegetativo (88-90%). A partir de los 40 días cesa la acumulación de MS vegetativa y se dispara el crecimiento de los frutos, que en el caso de la sandía es lineal.

Para el ciclo del melón, en el restante último tercio (20 días, de 40 a 60 dds) se acumulan dos tercios de la MS producida. El crecimiento vegetativo más intenso, en el que se acumula el 50% de la MS vegetal, ocurre en el período de emisión de guías (22 a 33 dds), y el 80% de la MS de los frutos se acumula en los siguientes 15 días a partir del cuaje (de 40 a 54 dds).

Al unir los picos de acumulación de las secciones vegetativa y de frutos, el incremento de MS a lo largo del ciclo, se vuelve prácticamente lineal, con aumentos aproximados al 20% entre cada etapa fenológica. Destacan dos momentos levemente más intensos: al desarrollo de las guías (22-33 dds, con 24% de acumulación) y al llenado de los frutos (46-54 dds, con 35%).

En el caso de la sandía, de los 45 a los 50 dds, la parte vegetativa vuelve a tener otra etapa de desarrollo igualmente importante que la primera (45% de acúmulo) en la que se acumula el 50% del material vegetativo. Este nuevo empuje vegetativo diferencia el comportamiento de la sandía del melón. Por esta razón, al unir las curvas de acumulación de las secciones vegetativa y de frutos, resulta en dos picos muy definidos: al desarrollo de las guías (33-40 dds, con 37% de acumulación) y al inicio del llenado de los frutos (45-50 dds, con 50%).

Concentraciones de nutrimentos en los tejidos

En términos generales, los tres nutrimentos principales, N, P y K, disminuyen su concentración en los tres tipos de tejidos, conforme avanza el desarrollo de ambos cultivos. En todos los casos, las concentraciones bajan al menos a la mitad. Solo en sandía, el P y el K en frutos suben al final consistentemente con los aumentos en absorción de estos elementos que se da en este cultivo.

En los tres elementos, las menores concentraciones las presentan las raíces y las mayores los frutos, excepto en el caso del N en sandía, que se concentra más en el tejido vegetativo.

Para la raíz y los frutos de ambos cultivos la concentración de K es mayor que la de N y estas, son mucho mayores que la de P (de 7 a 8 veces más). En el tejido vegetativo de melón se presenta la misma tendencia mientras que en sandía la concentración de N es mayor que la de K, probablemente porque este último se transloca más a los frutos.

El comportamiento de las concentraciones de Ca y Mg a lo largo del ciclo de ambos cultivos es parecido, sin embargo, en ambos casos, lo que llama la atención es la particularmente alta concentración de Ca que se presenta en el tejido vegetativo (alrededor de 5% en promedio), incluso mayor que las de K y N (3% en promedio).

Para los otros tejidos, las concentraciones de estos dos elementos Ca y Mg son, ligeramente mayores a las de P (entre 0,4 y 0,9%). Solo en los frutos, el P es más concentrado que el Mg.

Las concentraciones de elementos menores son más estables en melón que en sandía a lo largo del tiempo en los tres tejidos, pero sin tendencias muy definidas. Solo el B en melón presenta una disminución muy importante a los 33 dds (50%) en la concentración del tejido vegetativo que podría coincidir con el momento de la floración. Luego de ese período, el nivel se recupera progresivamente.

Cantidades absorbidas por melón y sandía

Las cantidades máximas totales de cada nutrimento absorbidas por una plantación de melón Honey Dew y otra de sandía Crimson Jewel de rendimientos definidos (2175 kg de PS de frutos/ha comercial o 43,5 t de fruta frescades melón/ha; y 888 kg de PS de frutos/ha comercial o 44,4 t de fruta fresca de sandía/ha) expresadas en diferentes formas.

Se comparan las cantidades de esta absorción que se invirtieron específicamente en el llenado de las frutas respectivas, esto es, la “exportación de nutrimentos” que ocurrió de la parcela en cada caso. En comparación con otros cultivos, las cantidades consumidas por el melón y la sandía son en general, moderadas. Y una ha comercial de este tipo de sandía requiere aún menos que el melón.

Solo el consumo de Ca es inusual y particularmente elevado, al punto que es el elemento que se absorbe en mayores cantidades, sin embargo, se queda ubicado casi en su totalidad en el tejido vegetativo. Le siguen, como es normal el K y después el N.

Los frutos en sí, lo que más consumen, como está reportado para muchos otros cultivos frutícolas es K y P.

Curvas de absorción de nutrimentos en melón

Para todos los elementos, en general, la acumulación máxima de nutrientes se alcanza a los 54 días. Este comportamiento concuerda con el de la MS (que presenta un máximo total a los 54 dds). Posterior a este momento, salvo para el K en frutos, el consumo descende, probablemente por la pérdida o deterioro del follaje en el caso del material vegetativo, o por el efecto de dilución en la concentración que se produce en los frutos. En términos prácticos esto significa que a los 54 dds o más allá de estos no parece tener sentido realizar aplicaciones de fertilizantes. En términos generales, las dos etapas con necesidades más fuertes de nutrimentos son dos: la de emisión de guías (de 22 a 33 dds) y la de llenado de frutos (de 46 a 54 dds). Sin embargo, el curso con que el fenómeno de absorción ocurre en cada nutrimento es diferente.

A los 33 días se ha consumido, o lo que es lo mismo, debe haber sido aplicado aproximadamente el 50% del N, el K y el Ca, y entre el 35-40% del P y el Mg. Estas cantidades de nutrimentos es lo que, principalmente, se invierte en el desarrollo vegetativo.

En el caso del N, después de los 33 dds, todo el nutriente que se consuma va a ser para el fruto y especialmente fuerte es la absorción que ocurre entre los 46 y los 54 dds. La cantidad en el tejido vegetativo se mantiene o tiende a bajar. Resulta natural que las hojas viejas sufran clorosis en esta etapa, pues en ese momento en el fruto se acumula más de un 40% del total a consumir y si no lo encuentra en el suelo lo translocará de sus otros tejidos.

El P sufre una absorción un poco más gradual, aunque en esa última etapa de 46 a 54 dds, probablemente mientras se están formando las semillas dentro del fruto, se produce un fuerte consumo de nutrimento (más del 40%). Aplicaciones tardías de este elemento podrían tener algún sentido si se busca disminuir las dosis totales.

El K es el que tiene la dinámica más interesante, porque con el curso de la curva de absorción es muy clara la importancia de mantener un suplemento adecuado a lo largo de todo el ciclo, pero especialmente durante el período de acumulación de K en el tejido vegetativo (que se extiende hasta los 40 dds), pues a este momento ha ingresado a la planta más del 75% del K que va a ser usado, cantidad de la cual, al menos un 65% de lo que se acumuló en la parte vegetativa (44 kg/ha) va a ser translocado a los frutos. Apenas una pequeña proporción, aproximadamente un 20% del total, se consume directamente por los frutos entre los 40 y los 54 dds.

Del Ca es espectacular la cantidad de este elemento que consume este cultivo (más de 100 kg/ha) y la desproporción entre la cantidad que requiere la parte vegetativa (90%) y la que consume el fruto (10%). Sin embargo, como el Ca no se transloca en modo alguno, los aproximadamente 10 kg/ha que requieren los frutos deben ingresar en esos últimos 20 días de llenado de fruto, y además, es muy importante que lo hagan.

La absorción de Mg es la que tiene el curso más gradual pues mantiene el consumo hacia la parte vegetativa por más tiempo (hasta los 54 dds), y en ningún momento se evidencia que ocurra el fenómeno de translocación.

Curvas de absorción de nutrimentos en sandía

A diferencia del melón, en sandía la absorción de nutrimentos en general continúa en forma ascendente hasta el final del ciclo, salvo en el caso del N, el Ca y el Mg, cuyo máximo se alcanza a los 50 dds. Para estos elementos, el descenso puede explicarse exclusivamente por la pérdida de follaje, porque el consumo por parte de los frutos (sea este directo o por translocación) de todos los elementos continuó hasta los 65 dds. En términos prácticos esto significa que en sandía las fertilizaciones, salvo las de N, podrían extenderse hasta el final del ciclo.

Las etapas fenológicas con necesidades más fuertes de N, Ca y Mg coinciden con los dos momentos violentos de crecimiento vegetativo: el de emisión de guías e inicio de floración (de 33 a 40 dds) y después de la máxima floración e inicio del llenado de frutos (de 45 a 50-55 dds). Esto concuerda con la función netamente estructural de estos nutrimentos.

La curva de absorción de N indica que en sandía, a los 40 dds ha sido consumido, o lo que es lo mismo, debe haber sido aplicado antes de ese momento, al menos el 60 % del N. El restante 40 % de N debe ingresar antes de los 50 dds, ya que el tejido vegetativo es el encargado de suplir el N de los frutos en las últimas etapas por medio de traslocación.

El P en sandía sufre una absorción aún más gradual que en melón, lo que sugiere la conveniencia de fraccionar sus aplicaciones. En los últimos 15 días se da una traslocación parcial del tejido vegetativo a los frutos (17 % del P total del fruto).

La dinámica del K es diferente en sandía que en melón. En sandía no ocurre una translocación fuerte en las últimas etapas como ocurre en melón, sino que el llenado de los frutos sigue produciéndose principalmente a partir del consumo directo del suelo, además de que en el pico vegetativo que se da en este período también hay absorción de K por parte del follaje (47,5%). De esta tendencia se deduce que es probable que aplicaciones tardías de K tengan sentido en sandía (contrario a lo que se señaló para melón). Del K total, a los 45 dds apenas ha sido consumido el 35%, o sea el 65% que falta que equivale a 58 kg/ha) ingresan en los últimos 20 dds en forma constante. De estos 58 kg, 33 van directamente a los frutos; el resto se deposita primero en el tejido vegetativo y luego 7 kg/ha más (o sea un 12%) se translocan para completar las necesidades de los frutos.

El Ca se comporta muy parecido en ambos cultivos, sólo que el consumo de los frutos asciende apenas a 6 kg/ha (6%). El descenso de Ca en el tejido vegetativo se explica por un deterioro del follaje y en ningún modo por translocación.

Con el consumo de Mg hecho por el tejido vegetativo hasta los 50 dds es posible, por translocación, llenar las pequeñas cantidades requeridas por los frutos.

Se obtuvo que una ha de melón que produce 43,5 t de fruta fresca (95% de humedad) consume: 114 kg Ca, 97 kg K, 83 kg N, 24 kg Mg y 15 kg P; mientras que una ha de sandía con una producción de 44 t de sandía (98% de humedad) consume: 108 kg Ca, 89 kg K, 57 kg N, 23 kg Mg y 8 kg P. Las cantidades consumidas en general son moderadas en

comparación con otros cultivos. Solo el consumo de Ca es inusualmente elevado, incluso mayor que el de K y N, y este elemento se queda acumulado en el tejido vegetal. Los elementos que más consumen los frutos son K (66% y 56%) y P (60% y 50%, para melón y sandía, respectivamente).

En melón, las dos etapas con necesidades más fuertes de nutrimentos son la de emisión de guías (22-33 dds) y la de llenado de frutos (46-54 dds). A los 33 días se ha consumido, o lo que es lo mismo, debe ser aplicado antes de ese momento, aproximadamente el 50% del N, el K y el Ca, y entre el 35-40% del P y el Mg. En el K es importante la translocación que ocurre de los tejidos vegetativos hacia los frutos (65%).

En sandía, los momentos de máxima absorción coinciden con la emisión de guías e inicio de floración (33-40 dds) y después de la máxima floración e inicio de llenado de frutos (45-50 dds). El 60% del N se consume antes de los 40 dds; el P sufre una absorción más gradual y el K se consume más tardíamente que en melón (a los 45 dds sólo se ha consumido el 35%).

Agradecimientos

A todos los ingenieros y propietarios de la Finca Frutas de Parrita por su colaboración y disposición para la ejecución del presente trabajo de investigación.

ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS POR LOS FRUTOS Y BANDOLAS DE CAFÉ CATURRA, DURANTE UN CICLO DE DESARROLLO Y MADURACIÓN DE FRUTOS EN AQUIARES, TURRIALBA, COSTA RICA²

1. INTRODUCCIÓN

Las curvas de absorción constituyen una herramienta para estimar de manera directa las necesidades nutricionales de un cultivo, ya que definen las cantidades de nutrimentos necesarias y los momentos más adecuados de aplicación. Esta herramienta justifica cuantitativamente la validez de un programa de fertilización (Bertsch y Ramírez 1997).

En zonas donde no ocurre una estación seca definida, las yemas florales de café crecen continuamente, resultando en floraciones sucesivas con las consecuentes desventajas de manejo (Rojas 1987). De acuerdo a la zonificación cafetalera de Costa Rica del Ing. Rodrigo Cléves Serrano (1975) citada por Rojas (1987), la Hacienda Aquiares ubicada en la parte norte de Turrialba, presenta las condiciones anteriores.

El objetivo de este trabajo fue la elaboración de una curva de absorción de frutos y la caracterización de las bandolas para una zona con floraciones sucesivas, con el fin de determinar los momentos de absorción más importantes durante el período de llenado, con miras al suplemento complementario de nutrimentos vía fertilización foliar.

² Floria Ramírez, Floria Bertsch, Luis Mora

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones realizadas corresponden a la cosecha 98-99 de un lote de café Caturra ubicado en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. Se seleccionó un lote sembrado en 1982 y con poda baja de 1996, con una producción esperada de 40 fan/ha.

Al inicio de la brotación de botones florales (19 febrero de 1998), se seleccionaron dos calles de café representativas del lote y se marcaron bandolas en el tercio medio de la planta; en total se marcaron 100 bandolas, una por planta. Además, a 20 de las bandolas se les colocó otra identificación para llevar un registro mensual del crecimiento de la bandola y la rama, desde la floración hasta la cosecha.

Se muestrearon al azar de 10 a 12 bandolas por mes (marzo a octubre). Estas bandolas se cortaron, se les midió su longitud (cm), se contó el número de nudos y se desprendieron las flores y los frutos. Los frutos se clasificaron en 9 tamaños y 2 categorías (maduros y verdes). A las bandolas y los frutos categorizados se les midió el peso fresco y seco y se les determinó la concentración de nutrimentos (N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, Mn, Cu, B y Zn) según la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Con los datos de peso seco y concentración se calculó la cantidad de nutrimentos absorbida por cada categoría de fruto y las bandolas a lo largo del ciclo de desarrollo y maduración de los frutos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fenológica de la planta

En el Cuadro 1 se presentan el detalle de las características fenológicas generales de la plantación evaluada. Como se puede observar, una planta de dos años de edad después de la poda total, y soportando su primera cosecha fuerte se caracteriza por tener, en promedio, unas 61 bandolas productivas (>10 cm de largo y con floración), distribuidas en sus 2-3 ejes ortotrópicos.

Las bandolas evaluadas tuvieron, durante el período de desarrollo de los frutos (feb a nov), un aumento de un 16,5% sobre su largo inicial (10 cm), y presentaron actividad reproductora (floración y fructificación) en poco más de la mitad de sus nudos (59%, 33 nudos en promedio). Durante el mismo período el eje ortotrópico creció un 20% (31 cm).

El ritmo de crecimiento de las bandolas se acopla al comportamiento descrito por Vicente-Chandler (1989), en el que hay dos momentos de crecimiento vegetativo importantes que se ubican durante la floración y más tarde (4-6 meses después) durante el desarrollo de los frutos. De acuerdo con las evaluaciones, en la Figura 1, durante los primeros tres meses de desarrollo de los frutos, se produjo el 60% del aumento en el largo de las bandolas y el 70% de la elongación del eje ortotrópico observado en el ciclo de desarrollo de los frutos.

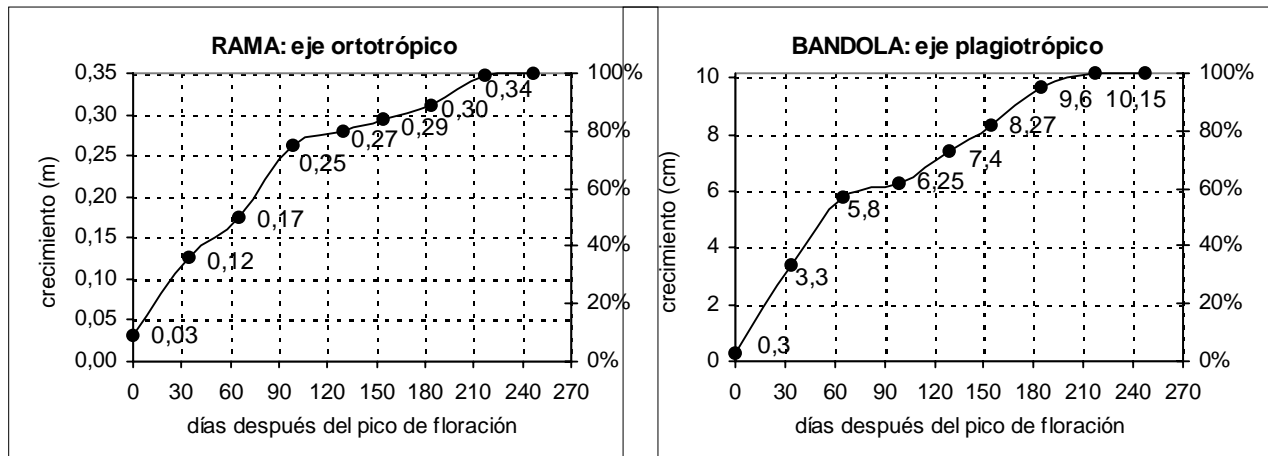


Figura 1. Evolución del crecimiento de bandolas y ramas de café después del pico de máxima floración hasta la cosecha

Al tiempo que ocurre la diferenciación de las yemas florales, puede presentarse el alargamiento de los entrenudos y la formación de los nudos, pero cuando hay crecimiento de frutos el alargamiento de las ramas se reduce (Valencia 1998). Por otro lado, Segura (1992a,b) encontró que las mayores tasas de crecimiento de bandolas de Caturra y Catuaí están relacionadas con las épocas de mayor precipitación.

Cuadro 1. Descripción de las plantas de café variedad Caturra, durante un ciclo de crecimiento y maduración de los frutos en AQUIARES, TURRIALBA, COSTA RICA

Sección	Promedio	IC	
		$\alpha = 0.05$	n
Planta	# ejes ortotrópicos (e.o.)	2,55	± 0,22 20
	altura inicial de e.o. (feb-98) (m)	1,56	± 0,06 20
	altura final de e.o. (nov-98) (m)	1,87	± 0,07 20
	# bandolas >10 cm / e.o.	33,85	± 2,95 20
	# bandolas efectivas (> 50% floreado)/ e.o.	24,05	± 2,54 20
	Largo promedio (cm)	66,9	± 1,6 98
	largo inicial de bandola (feb -98) (cm)	59,45	± 3,52 20
Bandola	largo final de bandola (nov-98) (cm)	69,30	± 5,09 20
	# nudos	63,2	± 4,5 98
	nudos/cm	0,94	± 0,06 98
	Peso fresco (g)	62,9	± 5,5 98
	Peso seco (g)	21,7	± 1,9 98
	% de Humedad de bandola	65%	± 1% 98
	nudos floreados	32,9	± 8,6 9
Floración	% de nudos floreados	59%	± 10% 9
	# botones florales grandes/5 g de peso fresco	82,7	± 4,8 6
	Peso fresco de flores/bandola (g)	10,3	± 5,4 16
	Peso seco de flores/bandola (g)	1,6	± 1,0 14
	% de Humedad de flores	83%	± 1% 14

IC= intervalo de confianza n= número de muestras

Caracterización de los frutos

En el Cuadro 2 se presenta una descripción en términos de peso fresco, peso seco, porcentaje de humedad, altura y diámetro de cada una de las categorías de frutos identificadas. Bajo las condiciones descritas, existió una relación muy estrecha entre la altura (longitud) y el diámetro de los frutos verdes de Caturra, sin importar la categoría de tamaño. Esta relación es descrita por la ecuación:

$$\text{Diámetro (mm)} = 0.6588 \times \text{altura (mm)} + 0.7569$$

$$r^2 = 0,97$$

Cuadro 2. Descripción de las categorías de tamaño y estado de los frutos de café variedad Caturra, Aquiares, Turrialba, Costa Rica

Estado	Tamaño	Mg		% humedad		n	Altura mm		Diámetro mm	
		Peso fresco	Peso seco				Min	max	min	max
	1	15 ± 1	4 ± 0,4	72 ± 4	61	<3.0		<2.5		
	2	61 ± 6	14 ± 1	76 ± 3	41	3,1 - 4,5		2,6 - 3,5		
V	3	133 ± 19	26 ± 3	80 ± 1	22	4,6 - 6		3,6 - 4,5		
E	4	253 ± 28	43 ± 6,1	83 ± 1	29	6,1 - 7,5		4,6 - 6		
R	5	555 ± 26	126 ± 12	78 ± 1	73	7,6 - 10		6,1 - 8		
D	6	851 ± 23	201 ± 17	77 ± 2	74	10,1 - 13		8 - 9,5		
E	7	1083 ± 85	263 ± 29	76 ± 2	69	13,1 - 14,5		9,6 - 10		
	8	1495 ± 186	359 ± 38	75 ± 2	34	14,6 - 16,5		10,1 - 11,5		
	9	1612 ± 201	433 ± 93	73 ± 5	4	>16.6		>11.6		
M	5	802 ± 160	212 ± 15	72 ± 4	9					
A	6	958 ± 40	281 ± 19	71 ± 2	25					
D	7	1356 ± 41	397 ± 18	71 ± 1	33					
U	8	1738 ± 70	513 ± 28	70 ± 1	21					
R	9	1921 ± 57	558 ± 37	71 ± 1	12					
O	10	2455 ± 245	711 ± 114	71 ± 3	6					
	Momias	984 ± 386	377 ± 82	52 ± 8	16					

Los frutos maduros se presentan a partir de la categoría 5 de tamaño, pero los tamaños maduros dominantes son 6, 7 y 8; los frutos extremadamente grandes (9 y 10) fueron muy pocos. Los frutos maduros se caracterizan por un porcentaje de humedad menor al del tamaño correspondiente en verde. Se presentaron frutos secos que permanecen prendidos a la bandola y que se denominaron frutos “momia”.

Debido a la presencia de frutos de diferentes tamaños y estado a lo largo del ciclo de desarrollo y maduración de los frutos en Aquiares, se procedió a determinar los momentos en que dominaba uno o varios tamaños y estados de fruto. En el Cuadro 3, se presentan los promedios ponderados de peso y humedad para los frutos dominantes y el porcentaje que éstos representan del total de frutos en la bandola.

El número de frutos por bandola disminuye conforme aumenta el tamaño, esto refleja una purga de frutos bastante fuerte; Valencia (1989) menciona que en Colombia se presenta un cuaje del 30-40%. Briceño y Arias (1992) reportan un promedio de 103 frutos por bandola a la cosecha de café Caturra, dato prácticamente idéntico al encontrado en estas evaluaciones.

Con los datos de los frutos dominantes se fabricó la curva de crecimiento de nutrimentos de los frutos de café Caturra (Figura 2). La duración del ciclo de crecimiento de los frutos de café (de antesis a maduración) es de aproximadamente 8 meses, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar (Valencia 1998).

Cuadro 3. Caracterización de los frutos dominantes en el ciclo de crecimiento y maduración de los frutos de café variedad Caturra en Aquiares, Turrialba

Edad (ddpf)	Tamaño	Peso (mg)		% humedad	# promedio frutos/ bandola	% de frutos dominantes
		Fresco	Seco			
34	1	14,6	3,9	72	351	95
65	2,3,4	124,1	23,7	79	260	57
99	5,6	764,8	179,4	77	154	69
217	7,8,9	1103,4	268,1	76	97	57
247	Maduro	1323,9	386,1	71	101	64
247	Momias	984,3	377,4	52	101	18

Ddpf= días después del pico de floración

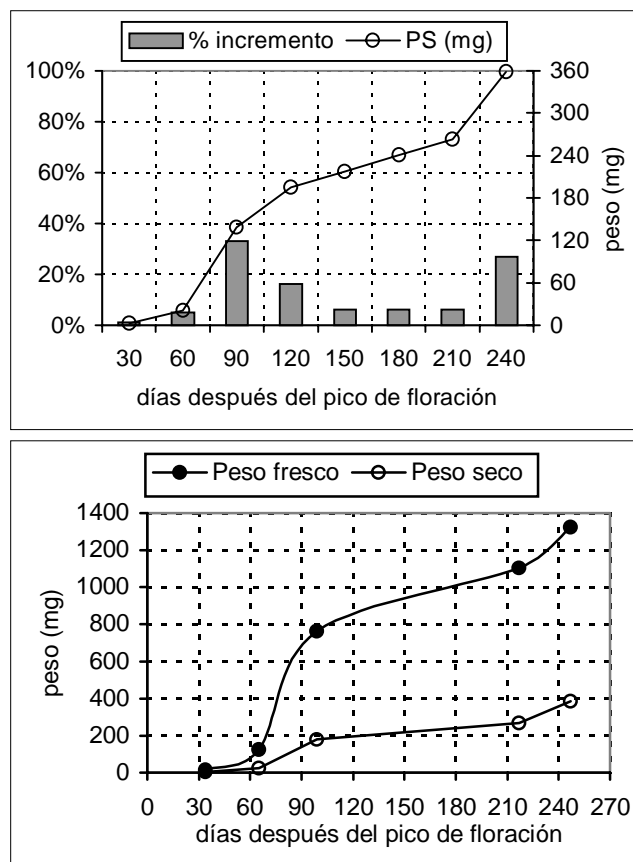


Figura 2. Curva de crecimiento de un fruto de café variedad Caturra en términos de peso (mg/fruto) y porcentual

Absorción de nutrimentos por los frutos de café

La información de peso seco (Cuadro 3) y la concentración de nutrimentos (Cuadro 4) son los dos elementos necesarios para el cálculo de absorción de nutrimentos (Cuadro 5). La absorción se estimó espaciada cada 30 días y en las Figuras 3 y 4 se presentan las curvas de absorción para cada nutrimento para un fruto de café. La absorción de nutrimentos de la bandola, no se consideró ya que presentó un comportamiento muy constante producto de concentraciones uniformes y crecimiento prácticamente lineal (Figura 1) durante el ciclo.

Al igual que en el estudio de Segura (1992d), el orden de absorción de macronutrimentos para los frutos de Caturra fue: K > N > Ca > Mg > P > S; y la proporción de elementos N(6): P₂O₅(1): K₂O(8) mencionada por Carvajal (1984) para frutos de café, es muy similar a la encontrada para Caturra.

Cuadro 4. Concentración promedio de nutrimentos en la bandola, flores y tamaños dominantes de frutos de café variedad Caturra, en Aquiares, Turrialba

	%						mg/Kg					
	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
Bandola	1,97	0,18	1,07	0,21	1,83	0,17	103	33	27	144	49,7	
Flores	3,05	0,39	0,74	0,32	2,54	0,22	175	50	22	87	45,9	
Frutos 1	2,82	0,30	1,54	0,43	2,99	0,29	157	36	22	281	55	
Frutos 2, 3, 4	2,89	0,33	0,94	0,35	2,94	0,23	82	27	18	134	41	
Frutos 5, 6	2,39	0,20	0,35	0,21	2,61	0,15	48	21	11	52	52	
Frutos 7, 8, 9	1,95	0,19	0,31	0,20	2,43	0,14	54	21	10	46	51	
Frutos Maduros	1,68	0,14	0,24	0,16	2,22	0,11	31	13	5	38	42	

Cuadro 5. Absorción estimada de nutrimentos de un fruto de café variedad Caturra en Aquiares de Turrialba, Costa Rica

ddpf	Tamaño dominante	PS (mg)	mg/fruta							ug/fruta				
			N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
30	1	3,4	0,10	0,01	0,05	0,01	0,10	0,01	0,54	0,12	0,08	0,97	0,19	
60	2,3,4	20,5	0,59	0,07	0,19	0,07	0,60	0,05	1,67	0,54	0,37	2,75	0,84	
90	5,6	138,2	3,30	0,28	0,49	0,29	3,61	0,21	6,58	2,88	1,55	7,13	7,21	
120	7,8,9	195,2	3,80	0,38	0,61	0,38	4,75	0,28	10,59	4,00	1,95	8,98	10,04	
150	7,8,9	217,7	4,24	0,42	0,68	0,43	5,30	0,31	11,81	4,46	2,18	10,02	11,20	
180	7,8,9	240,3	4,68	0,46	0,75	0,47	5,85	0,35	13,04	4,93	2,40	11,05	12,36	
210	7,8,9	262,8	5,12	0,51	0,82	0,52	6,40	0,38	14,26	5,39	2,63	12,09	13,52	
240	Maduros	358,6	6,04	0,52	0,87	0,59	7,95	0,38	11,17	4,56	1,74	13,63	14,95	

A los 30 días después del pico de floración la mayoría de los frutos de café de una bandola se encuentran en el tamaño 1, o condición de "alfiler". En este momento, sólo el Ca y el Mn se han consumido en más de un 5%, por lo que se podrían aplicar en el primer mes.

A los 60 días, la mayoría de los frutos se encuentran en el tamaño 2, 3 ó 4, que significa un máximo de 6 mm de diámetro, para un peso fresco promedio de un cuarto de gramo. Para este momento más de un 20% del total que va a ser consumido de estos dos elementos (Ca, Mn) ha ingresado al fruto, de allí que sea fundamental apoyar a la planta con ellos antes de este momento, esto es a los 45 días (6 semanas) después de la floración fuerte.

Para el tercer mes (90 días), paralelo a: una fuerte absorción de agua por parte del fruto (Figura 2), un importante aumento tamaño en que alcanza aproximadamente el 80% de las dimensiones máximas, y a la fuerte absorción de Ca y Mn, se suma el Zn, con una absorción del 45% (casi la mitad de su necesidad en ese preciso mes).

El B, el S, el Cu, el N y el P presentan el mismo comportamiento. Más del 40% del total de esos elementos se van a absorber antes del tercer mes. En términos de apoyo foliar, una aplicación de Ca, Zn y B entre los 60 y 75 días (10-11 semana) después del pico de floración parece indiscutible. Para este momento, cabe destacar que prácticamente sólo de K, no se ha consumido la mitad de su requisito

Prepararse para el cuarto mes (120 días, 17 semanas) significaría atender, dentro de los micronutrientes nuevamente al B y al Zn durante la semana 15, aunque también el Cu y el Fe presentan uno de sus mayores picos de absorción. Ya para este momento se ha iniciado la formación de frutos 6 y 7 que ofrecen diámetros mayores a 1 cm y pesos frescos mayores a 1 g.

El período que sigue, en el que se completa este desarrollo de los frutos hasta alcanzar su tamaño definitivo antes de empezar a madurar, puede alargarse desde los 120 hasta los 210 días (3 meses) y ocurre sin cambios muy abruptos. Esto significa que las exigencias de nutrimentos por mes son más graduales (entre 7 y 9% por mes) y por lo tanto, el apoyo foliar resulta menos impactante. Tres micronutrientes, Zn, Fe y Cu, alcanzan completar todas sus necesidades antes de empezar la maduración; por lo que es poco estratégico realizar aplicaciones tardías (posteriores a las 25 semanas o 6 meses) de estos elementos.

Según Valencia (1998), existe una gran demanda de nutrientes en los dos últimos meses de desarrollo del fruto, sin embargo, según este estudio solo el K, el N, y en menor medida el B y el Mg resultan de importancia para la maduración (período después de los 7 meses). Un refuerzo tardío podría complementar este proceso. Si se quisiera suplementar Mg los momentos de mayor exigencia mensual corresponden con el tercer y cuarto mes, esto es, con la aplicación que podría realizarse a las 10 semanas (70 días).

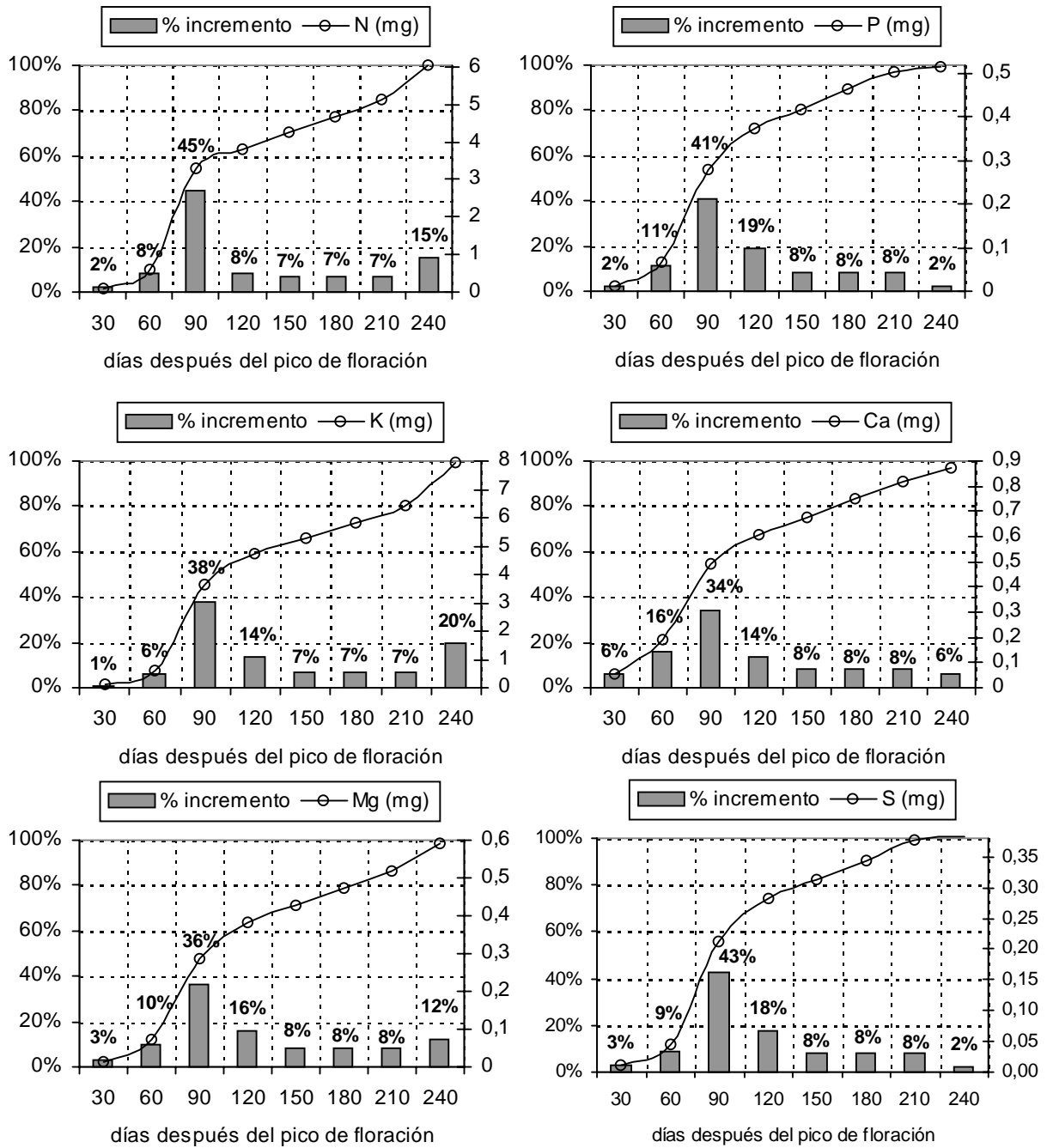


Figura 3. Curvas de absorción de macronutrientes (mg/fruto) para frutos de café Caturra

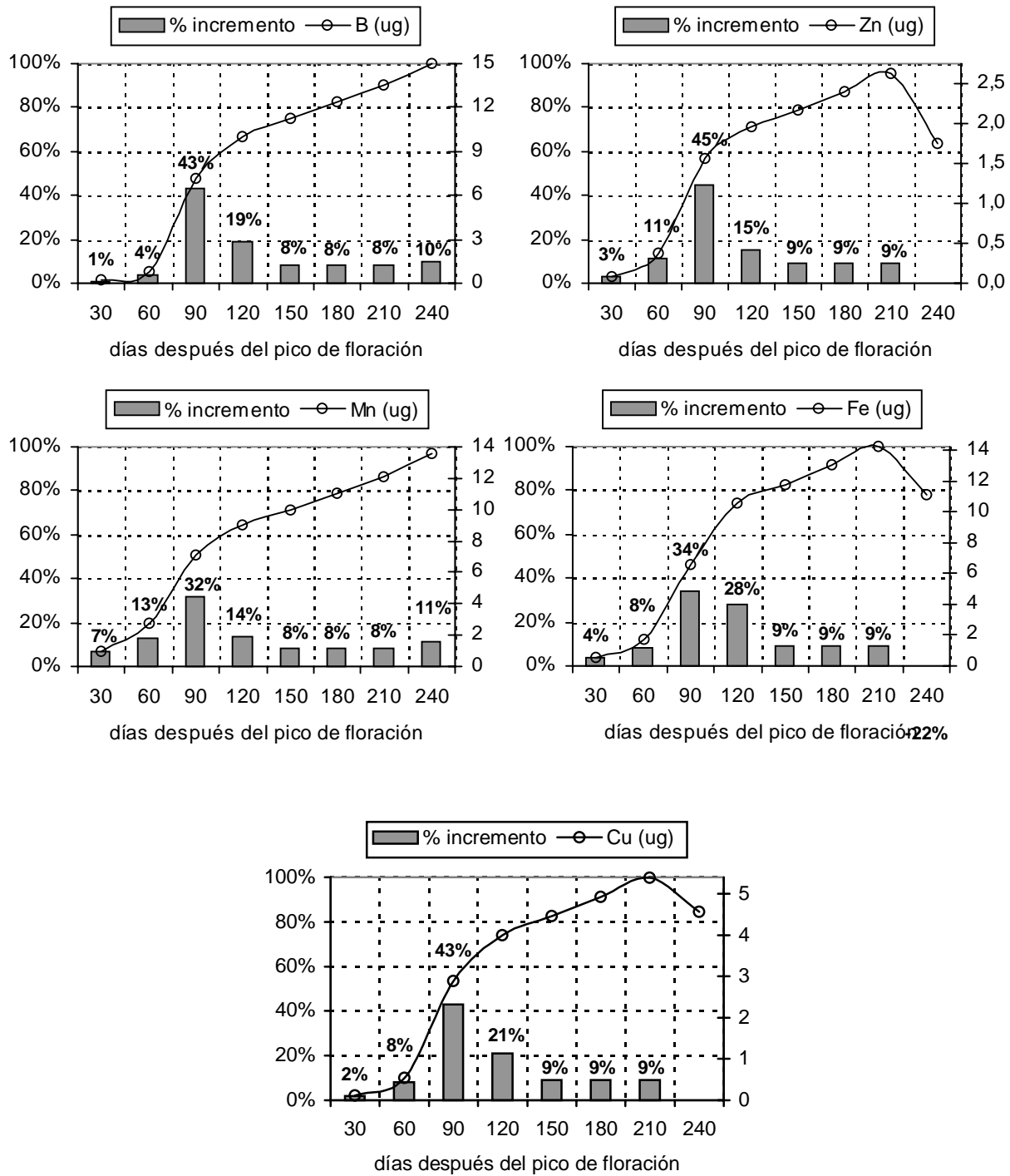


Figura 4. Curvas de absorción de micronutrientes (ug/fruto) para frutos de café Caturra

4. CONCLUSIONES

A pesar de que en la zona de Turrialba se presentan floraciones sucesivas, el promedio de los frutos se desarrolla de manera predecible, de forma que es posible tomar decisiones de fertilización de acuerdo a la curva de crecimiento y absorción de nutrimentos de los frutos.

A los 90 días (3 meses) después del pico de floración, todos los elementos, excepto el K, han sido consumidos en un 50% del requisito total.

Un programa de fertilización foliar que quisiera apoyar efectivamente el curso de formación, llenado y maduración de frutos podría resumirse así:

Fecha de aplicación			Nutrimentos a aplicar		
Días	Semanas	Meses	Prioritarios	Secundarios	Tercarios
40-45	6	1,5	Ca		
60-75	11	2,5	Ca, Zn, B	Mg	N, K
100-110	15	3,5	Zn, B	Cu, Fe	Mg, S
200-210	28	6,5	K, N	B, Mg	

De eliminar alguna de estas aplicaciones podría excluirse la primera, y en segunda instancia la cuarta.

BIBLIOGRAFÍA

Bertsch F., Ramírez F. 1997. Metodologías para afinar los programas de fertilización de los cultivos por medio del uso de curvas de absorción de nutrimentos. En: Memoria Jornadas de Investigación. Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación. 183 p.

Briceño J., Arias O. 1992. Desarrollo del cafeto (*Coffea arabica*). I. Crecimiento vegetativo y reproductivo de tres cultivares. *Agronomía Costarricense* 16(1):125-130.

Carvajal F. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. Segunda Edición. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 253 p.

Díaz-Romeu R.; Hunter A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 61 p.

León J; Fournier L. 1962. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. Turrialba 12: 65-74.

Rojas O. 1987. Zonificación Agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. IICA, Serie Publicaciones Misceláneas No. A1/OCR-87-007. San José, Costa Rica, 83 p.

Segura A. 1992a. Estudio comparativo del crecimiento vegetativo de dos cultivares de café. En: Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Segura A. 1992b. Estudio fenológico del café. En: Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Segura A. 1992c. Estudio del crecimiento del fruto de café. En: Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Segura A. 1992d. Extracción de nutrientes por los frutos del café durante su desarrollo. En: Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Valencia G. 1998. Manual de nutrición y fertilización del café. INPOFOS, Quito, Ecuador. 61p.

Vicente-Chandler J. 1989. Coffee. *In: Detecting Mineral Nutrient Deficiencies in Tropical and Temperate Crops.* Ed. D.L. Plucknett and H.B. Sprague. Westview Press, U.S.A. 553 p.