

11. ALGUNOS ASPECTOS DE LA FERTILIZACION FOLIAR

Rodrigo Lora Silva*

Según los conocimientos clásicos, las sustancias nutritivas minerales se absorben exclusivamente por las raíces. Sin embargo, se ha demostrado que la porción aérea de la planta, en especial las hojas, está en condiciones de absorber sustancias nutritivas.

La capacidad que tiene la parte aérea de la planta de absorber materiales aplicados en la forma de aspersiones, constituye el fundamento de la aplicación foliar de fertilizantes y determina la efectividad de muchas otras prácticas agrícolas que involucran la aplicación de aspersiones de soluciones o suspensiones, así como el espolvoreo de sólidos finamente divididos.

11.1 ABSORCION FOLIAR DE SUSTANCIAS NUTRITIVAS

En la aplicación de sustancias por vía foliar se deben considerar dos procesos relacionados con la absorción: Penetración y Traslocación.

11.1.1 Penetración

En general la ruta seguida por las sustancias que penetran desde la superficie de las hojas hasta los protoplastos de las células de la epidermis, se efectúa a través de tres sitios: la cutícula, la pared celular y la membrana del plasma. La cutícula está presente no solamente en la superficie de las células de la epidermis, sino también en la superficie de las células del mesófilo y empalizada dentro de la hoja. Está constituida principalmente por ácidos grasos polimerizados, ésteres y jabones(23).

* Ingeniero Químico, M.S. Programa Suelos, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA - Tibaitatá. Apartado Aéreo 151123 Bogotá.

Según Franke (11), la cutícula parece ser penetrable vía espacios inter-celulares. Es permeable a iones orgánicos e inorgánicos y a moléculas no disociadas. La penetración de los iones es determinada por la clase de carga, la facilidad de absorción y el radio iónico. El mecanismo de penetración de la cutícula es un proceso físico de difusión, el cual es más lento en membranas aisladas que en tejidos intactos.

La pared celular está constituida por una capa externa de pectina y una interna de fibras celulósicas embebidas en pectina y otros polisacáridos no celulósicos. La difusión, ésto es, un proceso físico, es el mecanismo de penetración a través de la pared celular. En la Figura 14, se puede observar un diagrama de células epidérmicas de la hoja y cutícula (11).

La última barrera es la membrana protoplasmática. Como las otras membranas de la célula vegetal, está compuesta de una capa de naturaleza grasosa entre dos capas proteínicas. El paso de sustancias puede ocurrir por difusión a través de poros en la capa grasosa, por solubilización en esta capa o por enlace con transportadores dentro de la membrana. La entrada a través de esta membrana está influenciada por el tamaño, forma o carga de una molécula, su solubilidad en la capa grasosa y por cualquier particularidad molecular que pueda alterar la habilidad de la molécula para unirse con los transportadores en la membrana (23).

Según Lambertz y Franke, citados por Franke (11) existe la posibilidad de que pequeños canales de protoplasma, llamados ectodesmatas, sirvan como medios de penetración de materiales en solución acuosa a través de la pared de las células epidérmicas.

En resumen, el proceso de absorción o penetración foliar tiene lugar en tres etapas. En la primera, las sustancias suministradas en la superfi-

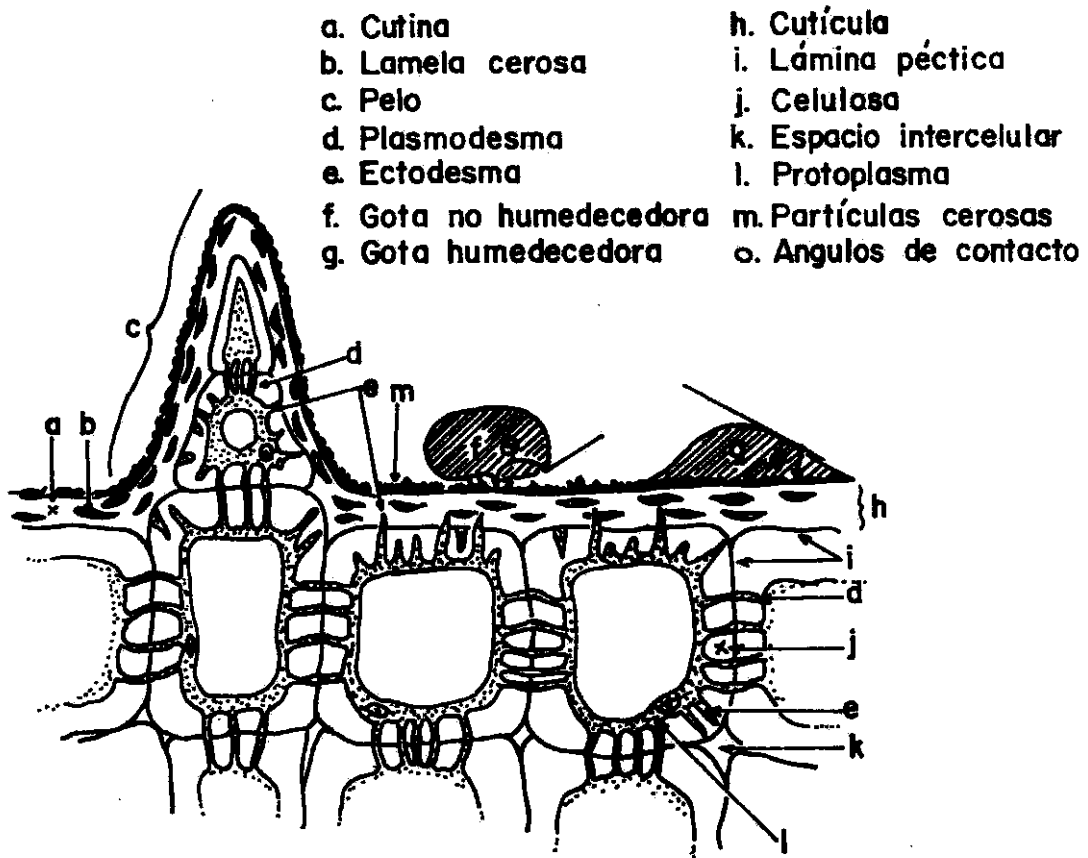


Fig.14 Representación diagramática de células epidermales de la hoja y cutícula. (Franke, W., 1961).

cie de la hoja penetran la cutícula y la pared celular por difusión libre o limitada. En la segunda etapa, estas sustancias, habiendo penetrado los espacios libres, son absorbidas por la superficie de la membrana plasmática, mientras que en la tercera etapa, las sustancias absorbidas pasan al citoplasma por medio de un proceso metabólico, lo cual es indicado por su coeficiente de temperatura (Q_{10}) de 2 - 3, ya que en un proceso físico como difusión, el Q_{10} es alrededor de 1-1,5. Estas tres fases pueden ser diferentes en duración, intensidad, dependencia de especies, naturaleza de las sustancias a absorber, secreción, etc.

Factores que afectan la penetración: Factores tales como temperatura, pH, humedad relativa, uso de humectantes, luz, déficit de agua, edad de las hojas, etc., tienen marcada influencia en la penetración de los materiales aplicados (23). Algunos de estos factores se explican a continuación:

11.1.1.1. **Angulo de Contacto y Superficie Humedecida.** Para la penetración del líquido por la cutícula o estomas, la superficie de las hojas debe estar húmeda. La habilidad de un líquido para humedecer una superficie sólida es una función del ángulo de contacto en la superficie. Esto depende de la tensión superficial del líquido y la naturaleza de la superficie del sólido (6).

Se han encontrado diferencias en el ángulo de contacto de agua en las hojas de diferentes especies, edades y contenido de agua. Esas diferencias parecen deberse a la conformación de la superficie y la pubescencia, y a la composición de la cutícula.

Experimentalmente se ha comprobado que la adición de agentes humec-

tantes ha reducido el ángulo de contacto en la superficie de las hojas. Estos y otros estudios similares sugieren que algunas de las variaciones en la absorción de soluciones acuosas por las hojas puede ser el resultado de diferencia en humedecimiento en la superficie externa debido a las características de la cutícula, y en parte pueden deberse a diferencias en la tensión de la solución en la superficie (6).

11.1.1.2. Temperatura y Humedad Relativa. Variaciones en la temperatura y déficit en la presión de vapor influyen la absorción de nutrimentos por las hojas.

Al estudiar los efectos de varios factores en la absorción de soluciones de úrea por hojas de manzano, se encontró que había una correlación lineal significativa entre temperatura del aire y absorción y entre humedad relativa y absorción. Ambas correlaciones fueron negativas, e indican que cuando la humedad relativa y la temperatura se combinan, para disminuir el gradiente de presión de vapor, puede esperarse mayor absorción en la superficie de la hoja (6).

11.1.1.3. Edad y Estado de las Hojas. En algunos estudios se encontró que no había diferencias significativas en absorción de la superficie de las hojas de diferentes edades, aunque en seis de diez casos la absorción de la superficie de las hojas más viejas fué más grande que en las hojas más jóvenes.

Se ha encontrado que la superficie interna expuesta de hojas de manzano está también determinada por el desarrollo de la capa de palizada, la cual puede ser afectada por la aspersion de materiales fungicidas usados durante el tiempo que las hojas se están desarrollando.

Las superficies externas de las hojas también varían con muchas condiciones en adición a la edad. Entonces la cutícula es la primera barrera de absorción a través de las células epidermales de sus paredes. Discontinuidades causadas por secamiento, insectos, enfermedades ó aspersiones de pesticidas, pueden ser un factor dominante que afecte la absorción de nutrientes bajo condiciones de campo (6).

11.1.1.4. Composición Química del Fertilizante Asperjado. Es obvio que debe haber diferencias en la rata de absorción de los elementos nutritivos asperjados. Estas diferencias están relacionadas con la solubilidad de los nutrientes, la ionización y actividad de las moléculas en relación con las células absorbentes y las mezclas de los compuestos químicos aplicados en la aspersión.

En estudios de deficiencias de zinc en cítricos y deficiencias de cobre en manzanos, la adición de cal a la aspersión del sulfato de zinc y de sulfato de cobre se hizo con el objeto de causar precipitación en la superficie de las hojas y neutralizar la acidez, evitando así la fitotoxicidad(6).

La rata relativa de absorción de las aspersiones de los compuestos de hierro es difícil de evaluar puesto que hay problemas de inmovilización intercelular e intracelular.

El daño de úrea en hojas de uva fué reducido combinando la úrea con mezcla bordolesa (sulfato de cobre más cal hidratada); también el calcio y el magnesio del suelo pueden reducir la absorción de úrea como un resultado del efecto de ión divalente en la permeabilidad.

En tomate, cítricos y manzanos se ha encontrado que la adición de sucrosa a la aspersión de úrea elimina los daños de las hojas que ocurren en ausencia de dicha sustancia (6).

11.1.1.5. Pérdida de Nutrimientos Hacia la Atmósfera y el Suelo. Los nutrientes asperjados bajo condiciones de campo pueden perderse de tres formas:

- a) Fracaso de la aspersión en llegar a la superficie de la hoja.
- b) Goteo de las hojas.
- c) Volatilización.

Las pérdidas debidas al fracaso de la aspersión en llegar a la superficie de la hoja o debido al goteo varían grandemente en relación a varias circunstancias:

- El grado al cual el equipo de aspersión limita la aplicación a la superficie de la hoja.
- El exceso de solución aplicada para humedecer completamente la hoja.
- El período de tiempo que transcurre entre la aspersión y las lluvias ó rocío que lava las hojas.
- El grado de lavado por parte de la lluvia.
- La adherencia y solubilidad del nutriente en la superficie de la hoja.

Las pérdidas de compuestos completamente solubles como la úrea y el sulfato de magnesio, cuando son aplicados como aspersión diluída con modernos equipos de aspersión, pueden ser tan altos como el 50%. Una lluvia fuerte que caiga después de 8 horas de la aspersión de úrea puede lavar del 80 al 90% de la úrea que ha permanecido sobre la superficie superior de las hojas, y 40 a 60% de la que ha permanecido en la superficie inferior (6).

11.1.2 Traslocación

Posiblemente existen cuatro maneras por medio de las cuales las sustancias pueden moverse después de haber sido tomadas por las raíces

ó por las hojas. El movimiento puede ocurrir (1) por el xilema con la corriente de transpiración; (2) por las paredes celulares; (3) por el floema y otras células vivas; y (4) por los espacios intercelulares (23).

El movimiento por el xilema es poco afectado por las actividades metabólicas, puesto que se realiza por células muertas. Los productos aplicados al suelo se mueven principalmente de esta manera (16).

El transporte por el floema puede ser hacia el ápice ó hacia la raíz (36). Este es el principal medio de transportes para los materiales aplicados a las hojas. Para alcanzar los tejidos conductores, las sustancias aplicadas tanto a la hoja como a la raíz, pueden moverse de célula a célula pasando por el protoplasma, por las paredes ó por los espacios intercelulares. Las sustancias aplicadas a la hoja se mueven principalmente a través del citoplasma.

El movimiento por el floema se realiza de lugares de síntesis de compuestos orgánicos a lugares de utilización. Para que cualquier compuesto sea transportado por el floema, debe haber movimiento de sustancias orgánicas, ó sea que las sustancias químicas aplicadas a las hojas no se mueven fuera de ellas si no hay acumulación de material fotosintético. Por tanto, este movimiento es afectado por los factores que influyen la fotosíntesis como intensidad de luz, temperatura, disponibilidades de agua y concentración de CO_2 (36).

La temperatura tiene una doble influencia por su efecto en la respiración y liberación de energía metabólica, la cual es necesaria para mantener los procesos vitales entre los cuales se encuentra el movimiento por el floema.

Existen otros factores que afectan la traslocación. Entre ellos están: absorción, alteración de la estructura molecular, asimilación o acumulación por parte de las células de la planta de la sustancia aplicada, factores genéticos, etc. (23).

En el caso de fertilización vía foliar, se deben considerar dos factores que influyen en la efectividad de la aplicación. El primero se refiere a la rata de absorción de cada nutrimento. El segundo está relacionado con la movilidad o la extensión a la cual cada nutrimento absorbido foliarmente es traslocado de las hojas a otras partes de la planta. Por otra parte, es importante tener en cuenta las concentraciones de los distintos nutrimentos que la planta puede soportar.

Se debe tener en cuenta que la capacidad de las hojas de absorber sustancias nutritivas está limitada en cuanto a intensidad. Se ha demostrado que la nutrición foliar no puede reemplazar del todo a la fertilización a través del suelo, ésto es la absorción radicular.

11.2 RATA DE ABSORCION Y DISTRIBUCION DE LOS NUTRIMENTOS

La rata de absorción y la distribución de los nutrimentos en la planta presenta una gran variación según las sustancias nutritivas aplicadas. La mitad del magnesio del sulfato de magnesio y del nitrógeno de la úrea, se absorbe frecuentemente en un período de 2 a 5 horas. El potasio, calcio y manganeso se absorben un poco más lentamente.

En cuanto al fósforo, azufre, hierro y molibdeno, el 50% de la absorción requiere un término de cinco a quince días (35).

Algunos nutrimentos como el calcio, magnesio y hierro tienden a acumularse en la hoja después de que son absorbidos. Otros como el fósforo, potasio, nitrógeno y azufre se mueven con rapidez de la hoja y pueden localizarse en las extremidades de la raíz una hora después de que se han rociado las hojas (35).

Las investigaciones han demostrado que el nitrógeno, fósforo, potasio

y hierro pueden absorberse a través de la corteza de los árboles frutales y el zinc a través de la corteza de los cítricos. Por medio de aspersiones los tomates absorben los nutrimentos a través del tegumento de la fruta (35).

Ha sido comprobado que la mayor absorción de nitrógeno en forma de úrea por el tabaco ocurre por la noche o cuando los pelos epidérmicos son dañados, pero no existe diferencia entre la superficie superior e inferior de la hoja (33).

El tiempo requerido de los elementos es más rápido a través de los estomas, pero la absorción total puede ser mayor por la epidermis. Una dificultad en usar aspersiones foliares para suministrar elementos esenciales a los cultivos es que la traslocación del elementos aplicado no puede ser lo suficientemente rápida para incrementar el rendimiento. Con algunas plantas este problema es más difícil que con otras; por ejemplo, la movilidad relativa de nutrimentos esenciales en plantas de frijol cuando fueron aplicados en aspersión foliar, en orden decreciente de movilidad fué la siguiente:

Móvil: potasio, fósforo, cloro y azufre.

Parcialmente móvil: zinc, cobre, manganeso y molibdeno.

Inmóvil: manganeso, calcio.

Plantas nutridas exclusivamente por vía foliar, no han podido alcanzar un desarrollo normal. El mayor éxito de ésta práctica ha sido la aplicación de microelementos, nitrógeno y fitohormonas.

11.3. . DOSIS DE APLICACION DE LOS NUTRIMENTOS

En general puede decirse que en cuanto sea menor la cantidad de un elemento por incorporar, caso de los micro-elementos, menor será también

el volumen de la solución por aplicar y por consiguiente más fácil y económico su manejo. En el caso de los macroelementos la práctica es limitada, ya que es necesario aplicar elevados niveles de fertilizante y se necesitará un volumen grande de soluciones para diluir tales cantidades.

Los requerimientos de casi todos los cultivos en elementos menores, pueden con frecuencia ser satisfechos con una o dos aplicaciones. Las cantidades que se necesitan son pequeñas y su tolerancia a los elementos aplicados y la rata de absorción son adecuados. Si los macroelementos se necesitan en grandes cantidades solo una parte se puede suministrar por vía foliar (8).

11.3.1 Nitrógeno. Por lo general, la fertilización foliar se limita a soluciones nitrogenadas de úrea en proporción variable entre 400 y 800 gr por hectolitro de agua. A veces se llega hasta 1.5 kilos por hectolitro. Esto quiere decir que se utilizan soluciones de úrea cuya concentración es del 0.4 a 1.5 por ciento.

A los árboles frutales, cultivos a los que más especialmente se aplica este tipo de fertilización, se les suele dar dos tratamientos: uno antes de la floración a base de solución de úrea del orden de los 400 a 500 g por hectolitro, y otro después de la caída de los pétalos con dosis de 600 a 700 g por hectolitro (1).

Cantidades de 5 libras por acre de úrea han sido usados con resultados benéficos en manzano. La concentración usual para manzano es 5 libras de úrea por 100 galones de agua (10).

Se han reportado serias quemazones de las hojas con soluciones de sales de nitrato, 5 libras en 100 galones de agua o más altas. El sulfato de amonio, 8 libras más 3 de cal hidratada, causó lesiones en las hojas. Urea en dosis de 5 libras más una libra de cal no causó lesiones y produjo un incremento de la

clorofila de las hojas y el nitrógeno total de la hoja en comparación con hojas de árboles no asperjados (6).

11.3.2 Fósforo

Puede ser utilizado por la planta cuando es asperjado en las hojas. En la mayoría de los suelos solamente un pequeño porcentaje de fertilizante fosfórico es recuperado por la planta (promedio cerca del 20% para el primer año); cuando es aplicado por aspersión todo es absorbido bajo condiciones adecuadas. En tomate, por ejemplo, el fósforo vía foliar ha producido aumentos superiores en rendimientos que cuando es aplicado al suelo (10).

11.3.3 Magnesio

Es común aplicarlo como soluciones de sulfato de magnesio vía foliar. Una aplicación foliar de una solución al 2% de sulfato de magnesio en tomate, naranjos y manzanos, ha corregido deficiencias de magnesio y ha incrementado el rendimiento de los cultivos (10).

Aplicaciones de 60 a 90 kilogramos de sulfato de magnesio por hectárea en el follaje de una variedad de apio "Pascal verde" fué suficiente para corregir deficiencias (19).

11.3.4 Calcio

Rara vez es aplicado en aspersión foliar porque puede ser eficientemente aplicado al suelo. Si el carbonato de calcio es lento en reaccionar, entonces óxido o hidróxido de calcio pueden ser aplicados al suelo. El calcio no puede ser aplicado como aspersión foliar, empleando los compuestos comunes de este elemento. Posiblemente el nitrato o los quelatos podrían emplearse vía foliar en forma eficiente (10).

11.3.5 Hierro

La primera práctica de aspersión al follaje se hizo en piñas cloróticas creciendo en suelos altamente alcalinos en Hawaii; aplicaciones periódicas de sulfato ferroso al 5% es una práctica común en las plantaciones de Hawaii (10).

Johnson, citado por Boynton (6), encontró que la aplicación foliar de solución del 2-8% de sulfato ferroso corrigió deficiencias de hierro en piña de Hawaii.

11.3.6 Manganeso

Aplicaciones mediante pulverización de 2.5 libras (1.13 kg) de manganeso por acre, algunas semanas después de la siembra han dado buenos resultados para corregir deficiencias de este nutrimento en habas (33).

La corrección de deficiencia de manganeso se ha logrado también con atomizaciones foliares. Se recomiendan concentraciones que varían entre 2 y 5 kg por hectárea de sulfato de manganeso monohidratado (10, 24).

La deficiencia de manganeso de árboles frutales es fácilmente controlada con aspersiones foliares de sulfato de manganeso. Una sola aspersión en dosis de 2 a 4 libras por 100 galones generalmente recupera completamente la clorosis de las hojas de cítricos y previene el desarrollo de síntomas (6).

Con aspersiones con una solución al 5% de sulfato de manganeso se controla efectivamente la deficiencia de manganeso de los duraznos y ciruelos (8).

11.3.7 Zinc

La forma más común de controlar una deficiencia de zinc ha sido mediante aplicaciones foliares de sulfato de zinc a razón de 2 a 5 kg/Ha de sul-

fato de zinc heptahidratado (24).

Aproximadamente 25 libras de sulfato de zinc en 100 galones de agua (aproximadamente una solución al 3%) aplicado a manzanos antes de que las yemas abran, ha corregido la deficiencia de zinc (10).

Una sola aspersión de uno o varios compuestos de zinc, si son aplicados en una concentración que suministre 1.15 libras de zinc metálico ó más por 100 galones de solución, da una recuperación completa del moteado de las hojas de frutales por uno a tres años. Entre los materiales efectivos están sulfato de zinc, óxido de zinc, carbonato y sulfuro de zinc (6).

11.3.8 Boro

El ácido bórico o el bórax (tetraborato de sodio) se usan en aspersión foliar. La enfermedad denominada corcho interno de manzanos ha sido controlado con aspersiones del follaje con 8 libras de bórax en 100 galones de agua. Dosis tan bajas como 2 libras de bórax por 100 galones de agua han controlado deficiencias de boro en apio (Apium gravealens L.) (10).

Las deficiencias de boro en los manzanos, almendros, perales e higueros se corrigen con aplicaciones foliares de un kilogramo de pentaborato de sodio ó ácido bórico en 380 litros de agua (8).

11.3.9 Cobre

La deficiencia de cobre en varias especies de plantas perennes ha sido controlada eficientemente con aspersiones foliares. En los estudios con "tung" se encontró que una sola aspersión de mezcla de cobre y cal, 8-8-100 (8 libras de sulfato de cobre, 8 libras de hidróxido de calcio y 100 galones de agua) en la estación temprana de crecimiento previene los síntomas de deficiencias (6).

La deficiencia de cobre ha sido controlada en varios cultivos con

aspersiones a las hojas con una mezcla de 8 libras de hidróxido de calcio en 100 galones de agua. Sin el hidróxido de calcio, el sulfato de cobre daña el follaje (10).

11.3.10 Molibdeno

Con molibdato de sodio, una onza en 100 galones de agua se han eliminado deficiencias en cítricos (10, 6).

11.4. CONDICIONES QUE HACEN RECOMENDABLE LA ASPERSION DE NUTRIMENTOS

La ventaja primordial de la fertilización foliar, es la alta eficiencia en la utilización de los nutrientes aplicados, comparada con las aplicaciones al suelo. Sin embargo, como desventaja se pueden anotar la poca respuesta observada a las aplicaciones de P y K, el riesgo de fitotoxicidad, el elevado precio de los productos ofrecidos en el comercio, etc. (36).

La alimentación foliar es a menudo efectiva cuando las raíces no absorben suficientes nutrientes del suelo. Tales condiciones ocurren en un suelo no fértil, con poca facilidad de infiltración, temperatura fría, escasez de humedad o un reducido o enfermo sistema radicular.

Donde existe el problema de fijación de nutrientes en los suelos, las aplicaciones foliares constituyen un método eficaz para fertilizar.

Se han observado resultados favorables en la alimentación foliar, durante los períodos de lento crecimiento y en la floración. Muchos cultivos que han llegado a desarrollar la superficie foliar, muestran al florecer una marcada depresión general en toda la actividad metabólica. La aspersion foliar de nutrientes puede ser especialmente benéfica en tales condiciones.

Se necesita más investigación sobre los factores, tanto internos como externos, que controlan la absorción y traslocación de los nutrientes

vía foliar. Posiblemente nuevos materiales fertilizantes y nuevas formulaciones permitirán aumentar la cantidad y calidad de los nutrimentos aplicados sin problema para las plantas.

Indudablemente, la capacidad de absorción foliar es la función que puede ser utilizada en el futuro como medio eficiente, rápido y económico para mejorar la productividad y para controlar la calidad de muchas especies cultivadas.

11.5. RESPUESTA DE CULTIVOS A LA FERTILIZACION FOLIAR

11.5.1 Resultados Obtenidos Fuera de Colombia

Button y Hawkins (7) encontraron que las aspersiones foliares de úrea pueden ser una buena práctica para complementar el nitrógeno en plantas de papa. Por su parte, Shereverya (30) encontró que las aspersiones foliares de N-P-K aumentaron el contenido de estos elementos en las raíces de papa, y sugiere que la fertilización foliar puede ser considerada como un medio para complementar la fertilización edáfica. Laughlin (21) encontró en Alaska que las aspersiones foliares de fósforo aumentaron los rendimientos de tubérculos en forma no significativa. El mismo autor (21) consiguió aumentar el rendimiento de tubérculos por aspersiones de K, principalmente como sulfato, en suelos pobre en este elemento. Cuando se utilizó cloruro de potasio en concentraciones superiores al 4% se presentó fitotoxicidad y reducción en el rendimiento posiblemente debido al efecto del ion cloruro. Sin embargo, en ciertos casos, se presenta clorosis debida a deficiencia de magnesio inducida por el exceso de potasio.

Suleimanov, citado por Laughlin (21), consiguió aumentar el rendimiento

de trigo, en su contenido de proteína y de fósforo con aspersiones foliares de superfosfato.

Wittwer (36) clasificó la papa en el tipo de plantas que hidrolizan la úrea muy lentamente, teniendo por tal motivo, una tolerancia amplia para este tipo de aspersión. Entre más rápida es la hidrólisis, mayor es la rata de absorción y más severo el daño debido a la toxicidad del amonio.

Wittwer (36) dice que casi todos los árboles caducifolios, cítricos, uvas, verduras, soya, patatas y cereales pueden responder a una nutrición foliar con ciertos microelementos y elementos secundarios, así como a nitrógeno proveniente de úrea, si estos elementos nutritivos están en deficiencias.

En la India, Singh (31) estudió el efecto de aplicación foliar de N, P y K sobre la floración y producción de fruta de Citrus aurantifolia. La aplicación de úrea aumentó la duración de floración y fructificación, pero decreció el % de retención de la fruta y la longitud del período de maduración. Por su parte, las aspersiones de 2% de fósforo como superfosfato doble aumentaron la duración de la fructificación y la cantidad de frutas. Las aspersiones de KCl (2%) aumentaron la duración de la floración, fructificación y el % de la fruta. La combinación de N-P-K, NK y PK aumentaron la duración de la fructificación y el % de fruit-set.

En 1973 Sithanantahm y colaboradores (32) estudiaron el efecto de aspersión de potasio en caña de azúcar en la India. Aspersiones de K_2SO_4 aumentaron la calidad del índice primario de las cañas, la producción de azúcar y el macollamiento. Por otra parte el K_2SO_4 fué más efectivo que el KCl.

Kaichi (20) estudió en uvas para vino el efecto de aplicaciones foliares de fósforo sobre la eficiencia de la fertilización edáfica fosfatada en suelos bajos en fósforo. Al suelo se aplicó superfosfato y a la planta vía foliar,

soluciones de KH_2PO_4 . Las aspersiones foliares aumentaron el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las frutas independientemente de la cantidad de fósforo aplicada al suelo. Se encontró que la aplicación foliar de P aumentó la eficiencia de la fertilización fosfatada del suelo.

Page (26) estudió en Australia el efecto de aspersiones foliares de K_2SO_4 en piña. Los resultados no mostraron respuesta en el rendimiento, pero sí un aumento en la concentración de este nutrimento dentro de la planta en relación al testigo y al tratamiento de aplicación de potasio en solución nutritiva. Apparently las plantas absorben suficiente K vía foliar pero no lo utilizan.

Bihari (5) estudió el efecto en pastos de la aplicación foliar de Urea y pirofosfato de potasio y encontró aumentos en los rendimientos hasta en 70%. Cuando se aplicó trifenoxin-80 los rendimientos aumentaron sólo en un 33%, pero en combinaciones con los fertilizantes antes mencionados los aumentos fueron del 200-240%. Das (9) investigó el efecto de la aplicación foliar de potasio en el arroz en el Kharif en un suelo arenoso; los resultados indicaron que la máxima eficiencia se alcanzó cuando el 50% del potasio se incorporó a la siembra y el 50% vía foliar a la iniciación de la panícula.

11.5.2. Resultados obtenidos en Colombia.

En Colombia el uso de la fertilización foliar está en su etapa inicial. De los resultados obtenidos hasta ahora, no se pueden sacar conclusiones definitivas. A continuación se mencionan algunos resultados de experimentos conducidos por varias instituciones, en los principales cultivos.

11.5.2.1. Algodón. De algunos experimentos hechos por Montaña (25) en suelos arenosos y bajos en nitrógeno del departamento del Tolima, para estudiar aplicaciones foliares de fertilizantes, se concluye lo siguiente: a) De los tres elementos estudiados (N, P, K) solamente hay respuesta al nitrógeno aplicado como úrea. Sin embargo, cuando la úrea se aplicó al suelo, los

rendimientos fueron superiores a los obtenidos vía foliar.

b) Los productos comerciales (Fertil-Rei, Envy y Coljap) no tuvieron efecto alguno en la producción, probablemente debido a la poca cantidad de nitrógeno suministrado.

c) Se recomienda hacer la fertilización al suelo.

d) La aplicación foliar se recomienda como fertilización suplementaria en situaciones de encharcamiento, efecto fitotóxico de herbicidas, efecto de heladas, etc. en que las plantas se amarillan y se restringe su desarrollo. La fertilización foliar tiende a igualar el desarrollo en las áreas afectadas con el resto del lote. Se ha encontrado recomendable la aplicación foliar de solución de úrea al 5% en agua para plantas jóvenes, y al 10% para plantas desarrolladas, en la cantidad del 100-200 litros por hectárea por aplicación. Cinco aplicaciones son suficientes.

En Tolima, en suelos en general pobres en nitrógeno, se encontró aumento en producción en relación con el testigo, con solución al 5% y disminución con concentraciones de 10 y 15% de fertilizantes foliares a base de NPK. Los fertilizantes sólidos aplicados al suelo han producido aumentos de 600-800 Kg/ha en relación con el abonamiento foliar (28).

En la Costa Atlántica no se encontró diferencia significativa entre testigo, fertilización edáfica y fertilización foliar.

Se llevaron a cabo dos experimentos (13), el uno en Nataima y el otro en la Hacienda Pajonales para estudiar la aplicación foliar del abono Wuxal y la aplicación de N-P-K al suelo. Los resultados mostraron efecto negativo al Wuxal cuando se aplicó sólo, y un ligero aumento en los rendimientos cuando se utilizó como complemento de la fertilización edáfica. Por su parte no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

En el Tolima se estudió la respuesta del algodónero a elementos menores, en suelos calcáreos. Se realizaron cinco ensayos cuyos resultados se resumen así: En un ensayo localizado en Flandes, se encontró muy buena respuesta al cobre y al molibdeno aplicados foliarmente, usando como fuente sulfato de cobre y molibdato de sodio en concentración de 1% y 0.2%, respectivamente. Con el cobre hubo aumentos de 1.5 Ton/ha en relación al testigo de este micronutriente, lo cual es económicamente rentable. Hubo un mejor efecto en la producción al usar como fuentes sulfatos por vía foliar que quelatos aplicados al suelo (18).

11.5.2.2 Maíz. En suelos arenosos y bajos en nitrógeno en el departamento del Tolima se encontró que aspersiones foliares de Coljap al 4-5-10% produjeron alrededor de 500 kg/ha más que el testigo. Por su parte la producción con el fertilizante sólido aplicado al suelo fué, en todos los casos, superior a la fertilización foliar (28).

En Nataima (15) se hicieron dos experimentos en 1969B y en 1970A, con el objeto de evaluar el Coljap. Se trabajó con el híbrido H-104. El fertilizante foliar utilizado se aplicó así:

1a. aplicación: grado 30-7-6 a la germinación

2a. aplicación: grado 30-7-6 a los 25-30 días después de germinado.

3a. aplicación: grado 5-25-15 a los 40-45 días de germinado.

Urea: aspersión al 2% en las mismas épocas de abonado foliar.

Los resultados en general mostraron efecto depresivo a la aplicación de Coljap comparado con cualquier tratamiento de fertilización al suelo. Igualmente se observó que a medida que se incrementa la concentración de la solución foliar (2-4-6-8%), la producción de maíz disminuye. Finalmente la aplicación de la Urea foliar no mostró efecto significativo.

11.5.2.3 Sorgo. En 1970 en un suelo de la serie Dindalito en Nataima (14) se estudió la respuesta del sorgo variedad ICA-Palmira a la fertilización edáfica con $N-P_2O_5$ y K_2O y a la aplicación foliar de Urea y del abono foliar Coljap a varias concentraciones.

Los resultados mostraron efecto deprimente a la aplicación foliar de Urea y del abono Coljap. Hubo diferencia significativa entre el testigo y el tratamiento edáfico 100-50-30 y entre los dos sistemas de aplicación siendo más eficiente la fertilización edáfica. El Coljap utilizado fué: la aplicación: 30-7-6; 2a. aplicación 30-7-6; 3a. aplicación 5-25-13.

Los suelos tenían las siguientes características químicas: pH 5.8; M.O. 1.7%; 58 ppm. de P; Ca, Mg, K, 5.7- 0.76- 0.30 meq/100 g, respectivamente.

En sorgo se realizaron cuatro ensayos en Mariquita, Guamo, Espinal y Armero con la variedad ICA-Nataima. A excepción del ensayo realizado en Mariquita donde se encontró una gran diferencia significativa con la aplicación de boro al suelo o por vía foliar, en los demás ensayos no hubo respuesta a la aplicación de elementos menores resultando mayor la producción del testigo (18).

11.5.2.4 Ajonjolí. En Nataima (Tolima) se estudió la respuesta del ajonjolí a Coljap (a base de NPK); en el primer semestre hubo aumento con relación al testigo para las dosis 4-8-12 por ciento. Sin embargo, en el segundo semestre se obtuvo un efecto deprimente. El abonamiento edáfico produjo mayores rendimientos en todos los casos que el obtenido con la fertilización foliar (28).

Vargas y González (34) compararon la respuesta del ajonjolí a dos fertilizantes foliares con fertilización edáfica en suelos livianos y pobres en

nitrógeno del departamento del Tolima. En todos los casos los rendimientos fueron superiores al aplicar el fertilizante al suelo. Sin embargo, en tres de los tratamientos foliares, hubo diferencias positivas significativas en relación al testigo. Es de anotar que posiblemente la principal respuesta se debió al nitrógeno ya que estos suelos son deficientes en este elemento.-

En 1969B se llevó a cabo en Nataima un experimento para evaluar la aplicación de fertilizantes en ajonjolí. Los abonos foliares utilizados fueron: 1a. aplicación 30-7-6; 2a. aplicación 30-7-6; 3a. aplicación 30-7-6; 4a. aplicación 5-25-15; 5a. aplicación 5-25-30.

Al suelo se aplicaron dosis variables de N, P_2O_5 y K_2O . Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre la aplicación al suelo y foliar con ventajas para la aplicación edáfica. Por otra parte, no hubo diferencias entre los tratamientos entre sí y tratamientos y testigo cuando la aplicación fué edáfica. Por su parte la aplicación foliar de Coljap produjo efecto deprimente (12).

11.5.2.5 Arroz. Howler (17) estudió varios métodos de aplicación de fósforo en arroz. El estudio se efectuó bajo condiciones de invernadero en un Oxisol de los llanos orientales. Los resultados mostraron que aspersiones bi-semanales de KH_2PO_4 al 0.5% (aproximadamente 30 kg/ha) producen mayores rendimientos y más altos niveles de P en la planta que cualquier aplicación al suelo. Posiblemente seis aspersiones, comenzando tres semanas después de la germinación podrían ser suficientes. Es necesario efectuar este tipo de investigación bajo condiciones de campo.

11.5.2.6 Papa. Parra (27) hizo cuatro experimentos en dos sitios de clima frío del departamento de Cundinamarca. En general los suelos son

bajos en fósforo; pH 5,4; 15% de M.O y contenido medio de potasio intercambiable. Se evaluó el fertilizante foliar 10-20-10 en cultivos comerciales de papa sin fertilizar y fertilizados al suelo. Los resultados mostraron que no hubo influencia significativa del fertilizante foliar en la calidad y tamaño de los tubérculos, ni aumento apreciable en los rendimientos. Debido al costo del producto, posiblemente no se justifica su aplicación en cultivos de papa bajo estas condiciones. Por otra parte, Alzate y Soto(2) encontraron en el departamento de Caldas, en una zona a 2.800 metros sobre el nivel del mar y temperatura media de 14°C, que la papa presenta rápida respuesta en el desarrollo a aplicaciones foliares de úrea pero no hubo respuesta en producción. En un estudio con tres fertilizantes comerciales a base de N-P-K y aplicados en tres estados diferentes del período vegetativo en papa, Arbeláez (4) encontró mayor precocidad, desarrollo y producción con fertilización edáfica. El rendimiento alcanzado con los fertilizantes foliares fue casi similar al testigo. Es de anotar igualmente que aplicaciones adicionales foliares de úrea aumentaron la susceptibilidad de la papa a la gota (Phytophthora infestans).

Arango (3) determinó en la Unión (Antioquia) la respuesta de la papa a la aplicación de fertilizante foliar comercial coljap en sus tres grados: 30-7-6, desarrollo; 5-25-15 florescencia y 5-15-30 producción, de los cuales se hicieron tres aplicaciones de "desarrollo", dos de "flore-scencia" y 3 de "producción" a concentraciones de 0.25% - 0.50% - 0.75%, 1.00%. El experimento se llevó a cabo en un suelo ácido con 40% de materia orgánica, alto contenido de fósforo y un contenido de 4.6 - 0.42 - 3.40 me/100 de calcio, potasio y magnesio respectivamente. Los resultados mos-

traron diferencia estadística positiva altamente significativa en rendimientos entre el testigo y los demás tratamientos. Actualmente se llevan a cabo otros experimentos en esta zona.

En un suelo de zona fría de Cundinamarca de fertilidad media a baja, se encontró respuesta de la papa a la aplicación foliar de un abono a base de N,P, K y elementos menores (29).

11.6. CONCLUSIONES.

La nutrición de las plantas por vía foliar todavía no ha sido evaluada satisfactoriamente. Los investigadores tendrán que considerar un número igual o mayor de factores a los existentes en la evaluación de la fertilización edáfica.

Se sugiere que en Colombia se continúen las investigaciones sobre fertilización foliar con varios cultivos en varios suelos y condiciones ecológicas.

Con base en la información presentada se concluye que la fertilización foliar puede ser un complemento de la fertilización edáfica. Aun cuando el principal uso de este sistema de fertilización es el de suministrar elementos menores, nitrógeno y magnesio, sin embargo, no se puede descartar su empleo para suministrar parte del potasio y fósforo requerido por la planta.

En Colombia la aplicación foliar de grados a base de NPK no ha mostrado resultados satisfactorios en la mayoría de los cultivos. Se debe, como se dijo, estudiar y evaluar los factores que inciden en la respuesta a este sistema de fertilización.

11.7. BIBLIOGRAFIA CITADA.

1. AGUIRRE, A. 1963. Suelos, abonos y emmiendas. Madrid, Dosset. pp. 323-331.
2. ALZATE, H. y S.C. OTONIEL. 1968. Ensayo regional sobre fertilizantes en papa (Solanum tuberosum L.) en la hacienda Buenos Aires, Municipio Villa-María Caldas. Tesis de Ing. Agrónomo.
3. ARANGO, M.M. 1971. Fertilización foliar en papa (Solanum tuberosum L.) en el municipio de la Unión -Antioquia. Tesis de Ing. Agr.
4. ARBELAEZ A,A. 1969. Fertilización foliar y edáfica de la papa (Solanum tuberosum L.) en dos pisos térmicos de Caldas. Tesis de Ing. Agrónomo.
5. BIHARI, F. 1968. Effecto of combined applications of fertilizers and herbicides on herbage. En: Fertilizer abstracts. Vol. 5 (No.6): 1023.
6. BOYTON, D. 1954. Nutrition by foliar application. Annual Review of Plant Physiol 5:31-54.
7. BUTTON, E.F. and H. HAWKINGS. 1958. Foliar applications of fertilizer to potatoes. Am. Potato J. 35:559-572.
8. CABAL, E. 1965. Efectos de la aplicación de úrea en el suelo y por aspersión foliar en pasto Bermuda de la Costa (Cynodon Dactylon). Acta agronómica (Colombia). 15(14):1-32.
9. DAS, K.C. 1973. Foliar response of K in rice. En: Fertilizer Abstracts Vol 7 (No.9):1671.
10. DONHAUE, R.L. 1965. Soils and introduction to soils and plant growth. New Jersey, Prentic-Hall. pp.148-152.

11. FRANKE, W. 1967. Mechanisms of foliar penetration of solution. In:
Ann. Review Plant Phys 18:281-300.
12. GUTIERREZ, D. 1969. Fertilización de algunos cultivos en varias
zonas del Tolima y Huila. b. Ajonjolí (a máquina sin publicar).
13. _____ 1969. Fertilización de algunos cultivos en varias
zonas del Tolima y Huila. e. Algodón. (a máquina sin publicar).
14. _____ 1970. Fertilización de algunos cultivos en varias zo
nas del Tolima y Huila. a. Sorgo (a máquina sin publicar).
15. _____ 1970. Fertilización de algunos cultivos en varias zo
nas del Tolima y Huila. d. Maíz (a máquina sin publicar).
16. HAY, J.R. 1956. Translocation of herbicidas in Marabu. 11 Weeds,
4:349-356.
17. HOWLER, R.H. 1974. La fertilización fosfórica en arroz de riego y
de secano. Suelos Ecuatoriales, 6:245-263.
18. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Suelos. 1974. Informe
Anual de Progreso 1973. 52 p.
19. JOHNSON, K.E. J.F. DAVIS, and E.J. BENNE, 1961. Ocurrence and con-
trol of magnesium deficiency syntoms in some varieties of
celery. Soil Sci. 91:203-207.
20. KAICHI, S. 1971. Increasing the efficiency of Soil phosphorous
fertilizer by foliar sprays of phosphorus. En: Fertilizer
Abstracts 6 (No.5):836.
21. LAUGHLIN, W.M. 196?. Spray concentration of potassium sulfate and
potasium chloride effect on potato growth, yield and chemical
composition. Am. Potatos J. 39:100-106.

22. LAUGHLIN, W'M. 1962. Influence of soil and spray applications of phosphorous on potato yield, dry matter contents and chemical position. *Am. Potatos J.* 39:343-347.
23. LEOPOLD, A.R. 1964. Applications of chemicals to plants. pp.413-439. In Plant growth and Development. Mc-Graw-Hill Book Company.
24. MICHELENA, V.A. 1973. Fertilización foliar en maní. Tesis de Ing. Agr. Jesupin, Estado de Managos, Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería- Venezuela. 49 p.
25. MONTAÑO, J. 1969. Aplicación foliar de fertilizantes en algodón. Publicado por la Federación Nacional de Algodoneros.
26. PAGE, P.E. 1972. Uptake of K in pineapplen. En: Fertilizer abstracts Vol.5 No.7, 1213.
27. PARRA, C.L.A. 1968. Fertilización foliear en papa. Tésis para Ing. Agrónomo. 47 pag.
28. PROGRAMA SUELOS-INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1969. Respuesta de 4 cultivos a la aplicación de fertilizante líquido Coljap. Sin publicar.
29. PROGRAMA DE SUELOS-INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1971. Respuesta de la papa (Solanum tuberosum L.) a la aplicación foliar del fertilizante Wuxal. Sin Publicar.
30. SHEREVERYA, N. 1969. The interrelationship of foliar and root mineral nutrition in plants. *Fizio-Rastanii* 6;(1):18-25 (From biological abstracts 34 14368; 1959).

31. SINGH, J.R. 1974. Effect of foliar Spray with, N.P. y K on flowering fruiting behavior of kagzilime (Citrus aurantifolia) En: Fertilizer Abstracts, Vol 17, No.5-920.
32. SITHANANTAHM, S. and T.R. SRINIVASAN. 1973. Sources of K in foliar Spray with Endrin influenci in the quality and yield of sugar cane En: Fertilizer abstracts Vol. 7 No.5 914.
33. TISDALE, S.L. and W.L. NELSON, 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montaner y Siman. pp 594-596.
34. VARGAS, A.S. y G.G. HUGO. 1970. Rendimiento del ajonjolif con dos fertilizantes foliares. Investigación para obtener el título de Ing.Agr. (Universidad del Tolima)
35. WITTWER, S.H. 1960. La alimentación foliar. Agricultura de las Américas 9(6):50-51.
36. WITTWER, S.H. 1963. Foliar application of fertilizwr. In: New horizon in fertilizer world. Tennessee Valley Authority. pp. 36-50.