

B O N P L A N D I A

Tomo II

Junio de 1967

Nº 12

RELACION ENTRE EL ABONADO FOLIAR Y LA ABSORCIÓN RADICULAR¹

POR I. MOGILNER Y G. A. ORIOLI²

La absorción foliar de distintos elementos nutritivos ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos 25 años y se han escrito dos excelentes revisiones sobre el tema (3, 28). La mayoría de estos trabajos está dedicada a los fenómenos físico-químicos exteriores (humedad ambiente y del suelo, pH, temperatura, etc.) y del vegetal (traslación, edad, absorción, etc.) que inciden sobre la entrada de los elementos asperjados a las hojas. En cambio pocos han sido los estudios sobre la relación entre el abonado foliar y la absorción radicular.

Fedotova (4) dice: "la desigual efectividad del abonado por aspersión, en distintas condiciones ecológicas, descubierta por distintos experimentadores, da base para pensar que el mecanismo de la acción no se reduce a un simple suministro accesorio de los elementos nutritivos. El suministro a las plantas, por aspersión foliar, de 4; 8 ó 20 kg de abono por hectárea, no puede, por sí mismo, asegurar un aumento del rinde de 2, 4, 8 y aún más quintales por hectárea", como se ha observado en algunos casos (N.A.). "Evidentemente la acción del abonado foliar radica en que da a las plantas la posibilidad de utilizar en mayor grado", en algunas condiciones ecológicas (N.A.), "las condiciones presentes en el medio ambiente. Así es posible com-

¹ Trabajo de revisión efectuado en el año 1964 en el Instituto de Botánica Aplicada de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, con fondos provenientes de CAFPTA.

² Ing. Agr., profesor titular de Fisiología Vegetal e Ing. Agr., Mag. Agr., jefe de trabajos Prácticos de Fisiología Vegetal, respectivamente.

prender la distinta efectividad del abonado foliar en condiciones de distintos suelos, de distinta agrotecnia y en distintas zonas".

"El material estudiado nos dice de la distinta efectividad del abonado foliar, aún en una misma variedad de cultivo, en condiciones de distinto suelo, de distintas labores agrotécnicas, de distintas condiciones climáticas y de distintas condiciones meteorológicas del año".

En esta revisión se tratará primeramente el efecto del abonado foliar sobre algunos procesos fisiológicos, que influyen directa o indirectamente sobre la absorción radicular, para luego considerar la absorción radicular en relación con el abonado foliar y las interpretaciones que se proponen para explicar esa interrelación.

PESO SECO Y RINDE

En muchos casos por efecto de abonados foliares se han obtenido aumentos en el rinde y en el peso seco (5, 10, 19, 21, 24) y en otros casos no sólo no se manifestó ese aumento, sino que rindieron menos que el testigo (10, 19, 21, 23). Estos aumentos o depresiones en el peso seco o rinde se han encontrado en remolacha azucarera con aspersiones foliares de úrea (20-23); en trigo primaveral asperjado con N ó NPK (19); en maíz con N, en forma de nitrato de amonio; con K, en forma de cloruro de potasio; con P, como superfosfato y con una mezcla de los tres compuestos que dio los resultados más positivos (10); en papa con Ni, como sulfato de níquel; y Mo, como molibdato de sodio, se han obtenido aumentos en el rinde de los tubérculos de 12 % y 14 %, respectivamente (24); y en pepino con úrea, fosfato monopotásico o con una mezcla de los dos compuestos (5).

Los efectos del abonado foliar sobre el rinde parecen estar relacionados con: 1) Humedad del suelo; 2) Período fenológico de la planta cuando se realiza el abonado foliar y 3) Nivel de fertilidad del suelo.

1) Humedad del suelo: Shereverya (19) en trigo primaveral encuentra que las aspersiones foliares con humedad del suelo de 70 % de la capacidad de campo (C. de C.) aumentan el rinde y con humedad del 30 % de C. de C. el rinde se deprime. Ivanov (10) trabajó en maíz con dos niveles de humedad del suelo: 70 y 35 % de C. de C. y demostró que la baja humedad del suelo hace que el abonado foliar deprima el acúmulo de peso seco, mientras que una buena humedad del suelo (70 %) hace que el abonado foliar pueda disminuir, igualar o superar la acumulación de peso seco en relación con el testigo.

2) Período fenológico: La magnitud del aumento puede depender del período fenológico en que se realiza la aspersión. Con trigo primavera Artemovka se encontró que el aumento en rinde fue superior cuando la aspersión se realizó en la fase de macollamiento que cuando se realizó en la fase de espigazón (19), y en maíz en el lapso que media entre la aparición de la "barba" de la inflorescencia femenina (silky stage) hasta la madurez lechosa del grano, que es el de mayor contenido de sacarosa, es cuando aspersiones con N produjeron el mejor efecto (17).

3) Nivel de fertilidad del suelo: Abonados foliares de urea aumentan el peso seco de la remolacha azucarera, pero no en forma proporcional al aumento de absorción de elementos (20). Se ha encontrado también que los abonos foliares con N, P y NPK aumentan el peso de las plantas que crecen en soluciones nutritivas deficientes en N y P, en relación con sus testigos; pero no lograron aumentar el peso seco al nivel del testigo que crece en solución sin modificación. Al no hallarse una concordancia entre el aumento de absorción de K y P por la raíz, con los pesos obtenidos, se realizaron ensayos con un intervalo de nueve días entre el abonado foliar y los análisis, y de los datos, los investigadores deducen que: "los cambios en la absorción comienzan antes de que haya una manifestación positiva o negativa del abonado en la formación de peso seco" (5).

Ivanov (16) encuentra que aspersiones con N disminuyen la acumulación de peso seco en trigo y dice que posiblemente eso sea debido a que la tierra en que crecían las plantas era muy rica en nitrógeno.

Se presume que los aumentos en peso seco y rinde son debidos al aumento de la superficie foliar, de la fotosíntesis y de la absorción radicular que producen las aspersiones foliares en ciertas condiciones (8, 9, 10, 19, 20, 23), y los resultados negativos, a una disminución de la superficie foliar, de la productividad fotosintética (g de peso seco formado por dm^2 de superficie foliar) y de una disminución de la productividad de la transpiración (g de materia seca formada por kg de agua transpirada) (10).

RESPIRACION Y TRANSPIRACION

Ikonenko (9) trabajando en tomatera, que crecía en solución nutritiva, encontró que aspersiones con urea y fosfato monopotásico provocaban un aumento en la intensidad respiratoria de las raíces de las plantas tratadas, con respecto al testigo. Este aumento dice que debe ser provocado por una mayor suministro de sustancias orgánicas a

las raíces, lo que conduce a un mayor aumento de la superficie radicular y a una mayor intensidad respiratoria del sistema radicular.

También se ha encontrado ⁽¹⁰⁾ que aspersiones foliares sobre plantas que crecían en suelos con baja humedad, disminuyen la productividad de la transpiración, si se comparaba su productividad transpiratoria con las plantas que crecían en buena capacidad de campo. Timashov ⁽²⁴⁾ determinó el déficit de saturación de hojas de papa asperjadas con Ni y Mo, y encontró que éstas absorben de 1 % a 2 % menos agua que los testigos y que disminuyeron la transpiración de las hojas. El autor saca como conclusión que "con las aspersiones foliares a la planta de papa con Ni y Mo, se mejora el régimen hídrico de las hojas, disminuye su déficit hídrico en los días cálidos y como consecuencia se produce un metabolismo más activo". Es de hacer notar sin embargo que estas variaciones son muy pequeñas y que el autor no aplicó cálculo estadístico sobre los resultados obtenidos.

SUPERFICIE FOLIAR

Thorae ⁽²⁰⁾ encontró que aspersiones con urea sobre remolacha azucarera, producen un aumento de superficie foliar. Más adelante ⁽²¹⁻²³⁾ ratificó esos datos, pero con el agregado que el aumento de superficie foliar por la aspersión podía o no producirse, dependiendo del abonado que tuviera el suelo. En un suelo abonado con N o con NP, aspersiones con nitrato de amonio no aumentaban la superficie foliar, pero sí la aumentaban aspersiones con cloruro de potasio. En suelos abonados con P ó K ó PK, aspersiones con nitrato de amonio aumentaban la superficie foliar y aspersiones con cloruro de potasio no.

Ivanov ⁽¹⁰⁾ encontró que con baja humedad del suelo (25 % de C. de C.) aspersiones con N, P, K o NPK disminuyeron notablemente la superficie foliar y que en el suelo abonado con N, aspersiones de nitrato de amonio disminuían la superficie foliar.

FOTOSÍNTESIS

Komissarov (1937), Ustenko (1941) y Richter y Vasilieva (1941), citados por Shereverya ⁽¹⁹⁾, demostraron la posibilidad de producir un aumento significativo de la intensidad fotosintética por el abonado foliar. Thorne ⁽²⁰⁻²³⁾ no halló un aumento de la fotosíntesis neta, por el abonado foliar.

Shereverya (19) planteó que el abonado foliar debe considerarse como un método agrotécnico que hace variar la intensidad fotosintética aumentándola (con una buena humedad en el suelo), y que, además, hace variar la composición de los productos fotosintetizados. Interpretó eso en consonancia con las ideas de Nichiporovich de que en la fotosíntesis no sólo se sintetizan hidratos de carbono, sino también, aminoácidos y proteínas (las hojas viejas sólo sintetizarían hidratos de carbono y las jóvenes, además de ellos, sintetizarían aminoácidos y proteínas).

Ikonenko (9) encontró en tomatara que aspersiones con urea y fosfato aumentan la intensidad fotosintética en alrededor de un 70 % con respecto al testigo. La determinación se hizo al décimo día después de la aspersión. Este aumento produciría un mayor suministro de sustancias orgánicas a las raíces. Ikonenko no aclaró a qué se debe la mayor intensidad fotosintética de las variantes a las que suministró abono foliar, si a una mayor cantidad de tejido en palizada, si a una mayor cantidad de cloroplastos por célula, si a una mayor cantidad de clorofila en los cloroplastos o a una mayor eficiencia de los cloroplastos. Indenko (8), trabajando en grosellero, ratificó que bajo condiciones de buena humedad del suelo y atmosférica, el abonado foliar incrementa la intensidad fotosintética entre un 15 a 68 %. En cambio con tiempo cálido y seco, y con insuficiente humedad del suelo, el abonado foliar no aumenta y aún deprime la intensidad fotosintética.

METABOLISMO

Diversos investigadores han estudiado el efecto del abonado foliar sobre el metabolismo de los compuestos orgánicos, encontrando como era de esperar, cambios cuali y cuantitativos en el contenido de hidratos de carbono, aminoácidos, grasas y otros compuestos.

Análisis cromatográficos de la savia de raíces de plantas de maíz abonadas foliarmente, demostraron que con las aspersiones se produce un cambio cuantitativo en la formación de los distintos aminoácidos. La variante que sintetizó más aminoácidos fue la que dio más rinde (aspersión con NPK y humedad del suelo del 70 % de C. de C.) y las que menos aminoácidos sintetizaron, fueron las que menos rindieron. El Mo aumentaría el contenido de las sustancias nitrogenadas solubles en álcalis y el Ni lo disminuiría un poco, pero ambos elementos aumentaron la proporción del N-proteico en relación al N-no

proteico ⁽¹⁹⁾. Abonados foliares de urea y nitrato de sodio, produjeron aumentos en la cantidad de N-total y N-proteico en 100 g de peso seco de hojas y tubérculos de papa, no así abonados foliares con sulfato de amonio ⁽²⁷⁾. También fueron encontrados aumentos de N-proteico en hojas y tallos de pepino que crecían en solución de Knopp completa y en otras deficientes en N o P, cuando se abonaron foliarmente con urea, fosfato monopotásico o una mezcla de los dos. Pavlov ⁽¹⁶⁾, en cambio, encuentra en maíz que aspersiones con urea sobre plantas que crecen en tierra con un nivel medio o bajo en nitrógeno, reducen marcadamente la cantidad de alanina y de ácido glutámico, y un poco menos la treonina, tirosina y fenilalanina, determinadas cromatográficamente en la savia de la raíz. Pavlov lo explica de la siguiente manera: "cuando se abona foliarmente con nitrógeno, pese a producirse un aumento de la fotosíntesis, gran parte de los azúcares formados son utilizados en la propia hoja para formar aceptores del N asperjado (cetoácidos), de manera que disminuye la cantidad de azúcares que es trasladada a la raíz y como consecuencia disminuye la cantidad de estos aceptores de NH_4^+ en la raíz".

Aspersiones de urea en maíz, redujeron el contenido en las hojas de azúcares solubles en agua, en un 20-22 % con respecto al testigo, posiblemente debido a la formación de cetoácidos ⁽¹⁶⁾. En cambio el mismo Pavlov junto con Ivanov ⁽¹⁷⁾ encontraron que los azúcares solubles en agua, de las hojas y de los internodios, no variaron significativamente en relación al testigo, pero sí que hubo cambios muy aparentes en las curvas del contenido de monosacáridos y sacarosa. El tipo de curva del contenido en sacarosa siguió, en líneas generales, al tipo de curva de la absorción radicular de N, y el tipo de curva de los monosacáridos fue inversa. Cuando la absorción radicular de N fue deprimida, aumentó el contenido en monosacáridos y viceversa. Análisis de hidratos de carbono solubles (mono y disacáridos); insolubles (almidón y hemicelulosa) y totales, en hojas y tallos de plantas de pepino que crecían en solución nutritiva, variando el contenido de N o P, demostraron que 23 días después de ser asperjadas con urea, disminuye la cantidad de azúcares solubles en todas las variantes; que los no solubles aumentaron en la variante cuyas plantas crecieron en solución normal y disminuyeron cuando las plantas crecieron en solución deficiente en N. Los azúcares totales aumentaron no significativamente, en las plantas que crecían en solución normal y disminuyeron en las que crecían en solución deficiente en nitrógeno ⁽⁵⁾. Aspersiones con sulfato de níquel y molibdato de sodio dismi-

nuyeron el contenido de H. de C. solubles en agua, de las hojas de papa; y el Ni disminuyó el contenido de almidón y el Mo lo aumentó (24), lo mismo que el nitrato de sodio, sulfato de amonio y urea (27).

Timashov (24) encontró que cuatro aspersiones durante el período vegetativo de plantas de papa, con sulfato de níquel y molibdato de sodio, aumentan el contenido de los ácidos nucleicos en las hojas, con disminución del contenido de ARN y aumento del contenido de ADN, y que ambos elementos aumentan en las hojas de actividad de la catalasa y deprimen la cantidad de glutatión reducido.

Según Pankratova (15), un abonado foliar con una mezcla de P-N-K-B produjo un incremento en la actividad de un número de enzimas de óxidoreducción en las hojas de manzano y cerezo (dehidrasas, catalasa, peroxidasa, ácido-ascórbico oxidasa) y en cambio decreció la actividad de la polifenol-oxidasa.

INFLUENCIA DE LA ASPERSION FOLIAR SOBRE LA ABSORCION RADICULAR

Los resultados obtenidos por Thorne (21, 22, 23) indicarían que suministrando un elemento (P, K) por aspersión foliar, se aumenta, deprime o no varía la absorción radicular del elemento asperjado en relación al testigo, dependiendo esto del nivel en que se halla el elemento dado en el suelo. En general, aunque los resultados son algo contradictorios, se podría deducir que cuando es alto el nivel en el suelo del elemento suministrado por aspersión foliar, se deprimiría su absorción radicular.

Boken (2) encontró que plantas de avena que crecían en un suelo ligeramente deficiente en Mn, cuando fueron asperjadas con una solución de sulfato de manganeso, tenían a la semana de realizada la aspersión, una concentración de Mn en las raíces, superior a la concentración hallada en las raíces de las plantas que recibieron una fertilización básica. Timashov (24) dice que aspersiones con Ni y Mo a plantas de papa, produjeron un aumento en las hojas, del contenido de sales.

Shereverya (19) trabajando en trigo primaveral, demostró que abonados foliares de N o P o NPK, varían la distribución de los elementos minerales entre el tallo principal y los laterales. Las plantas tratadas contenían, en general, menor cantidad que los testigos de N-total, N-proteico, P₂O₅ y K₂O en el tallo principal y mayor cantidad, en

todos los casos, en los tallos laterales. Ikonenko (9), trabajando en tomatara cultivada en solución nutritiva de Hellriegel halló que cuando era asperjada con urea y fosfato monopotásico, se producía una mayor absorción radicular de P-32 en relación al testigo y que la variante que había sido asperjada con urea absorbió por vía radicular mayor cantidad de P-32 que la que había sido asperjada con fosfato monopotásico. Ikonenko dice que al haber un aumento de fotosíntesis (19, 9, 8) se produce un mayor suministro de sustancias orgánicas a las raíces y esto condiciona una mayor absorción por parte de las raíces de elementos minerales. Shereverya coincide con Ikonenko y aclara además que los H. de C son suministrados por las hojas y tallos más viejos, donde predomina la síntesis de esos compuestos y que las sales absorbidas por las raíces se dirigen preferentemente a las hojas y tallos jóvenes, donde predomina la síntesis proteica y los procesos de crecimiento son más activos.

Pavlov (16) estudió en maíz la relación entre la aspersión foliar con urea (4.5 %) y la absorción radicular de N y P. Utilizó dos niveles de N en el suelo: a) el que llama nivel medio, y b) el de bajo nivel. Analizó la absorción por la raíz de N y P a los 2, 3 y 14 días después de la aspersión foliar, que fue efectuada un poco antes de la emergencia de la panoja. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- a) Por efecto de la aspersión foliar con urea, la absorción radicular de N se deprime y la de P se incrementa.
- b) La depresión de la absorción radicular de N y el incremento de la absorción del P hallaron su máxima expresión a los 3 días después de la aspersión.

A los catorce días las curvas de absorción radicular del N y del P de las plantas tratadas, fueron prácticamente iguales a las de las plantas testigos. Es decir, que desapareció el efecto producido por la aspersión con urea.

- c) Las tendencias de las curvas de absorción radicular de N y P de las plantas que crecían en nivel medio y con bajo nivel de N en el suelo, fue la misma. La única diferencia fue que en las plantas que crecían con nivel medio de N en el suelo, el incremento de la absorción del P por la raíz fue mayor que el de las plantas que crecían con nivel bajo de N y que la depresión en la absorción radicular de N fue menor en las primeras que en las segundas.

- ú) La depresión en la absorción radicular de N producida por la aspersión foliar de urea, se manifestó cuando el tratamiento se realizó en distintos estados fenológicos del maíz: antes del comienzo del panicamiento, comienzo de panojamiento y madurez lechosa del grano.

Pavlov interpreta la depresión en la absorción radicular de N, que sigue al abonado foliar con urea, de la siguiente manera: los productos de la fotosíntesis son trasladados de las hojas a la raíz, donde a través de la glicólisis y del ciclo de Krebs, son transformados en cetoácidos. Estos cetoácidos son los aceptores del N absorbido radicularmente, sintetizándose aminoácidos y amidas, que en parte son trasladados a la parte aérea, y en parte son utilizados en los procesos del crecimiento de las propias raíces. Cuando se abona foliarmente con N, pese a producirse un aumento de la fotosíntesis, gran parte de los azúcares formados son utilizados en la propia hoja para formar aceptores del N asperjado (cetoácidos), de tal manera que disminuye la cantidad de azúcares que es trasladada a la raíz y como consecuencia disminuye la cantidad de aceptores de NH_4^+ en la raíz.

Para probar su hipótesis asperjó las hojas de maíz con ácidos del ciclo de Krebs más urea (urea al 8 % + ácido cítrico 0,5 M) y urea al 8 % + ácido málico 0,5 M). Dos días después de la aspersión fueron analizadas las plantas, para determinar la absorción radicular de N. Los resultados demostraron que con ese tratamiento, se incrementa notablemente la absorción radicular de N. No explica en cambio, a qué es debido el incremento en la absorción radicular del P.

En un trabajo posterior, Pavlov e Ivanov ⁽¹⁷⁾ abonaron foliarmente plantas de maíz con N (urea al 3 %) y con N + P (urea al 3 % + NaH_2PO_4 al 3 %). Hicieron crecer las plantas en dos niveles nutritivos de N + P: uno alto y otro bajo. Realizaron los análisis a los 7, 15, 22, 29 y 38 días después de las aspersiones. Los resultados que obtuvieron fueron los siguientes:

- a) La absorción radicular del N es deprimida después de las aspersiones (lo que confirma los resultados del trabajo anterior de Pavlov ⁽¹⁶⁾). Esta depresión dura una o dos semanas. Posteriormente se produce un incremento en la absorción del N por la raíz, que dura aproximadamente dos semanas, al que sigue una nueva depresión.
- b) La adición del P al asperjado, se reflejó en que la primera depresión de la absorción radicular de N se retrasó una semana en relación con las asperjadas sólo con urea.

- c) La influencia de los niveles nutritivos alto y bajo incidio de distinta manera. En el nivel nutritivo alto, la depresión en la absorción radicular de N fue más intensa y duró más tiempo que en el bajo.
- d) Hallaron, también, que la curva del contenido de sacarosa de las hojas y de los internodios, siguió, en líneas generales, el tipo de curva de la absorción radicular del N. En cambio la curva del contenido de monosacáridos fue inversa al de la absorción radicular de N. Cuando la absorción radicular de N fue deprimida, aumentó el contenido en monosacáridos y viceversa.

Davlov e Ivanov interpretan sus resultados de la siguiente manera: la relación directa hallada entre el contenido de sacarosa de las hojas y el tallo y la absorción radicular de N (en las plantas asperjadas foliarmente con urea), podría ser explicada por la circunstancia de que la sacarosa es la forma principal en que se trasladan los H. de C. y que una disminución de su contenido en el tallo, indicaría una disminución de su traslación a la raíz.

Según ellos, la aspersión foliar con N, como han demostrado otros experimentadores (19, 9, 8), produciría un aumento en la intensidad fotosintética. Durante la primera semana después de la aspersión, el contenido de sacarosa disminuye debido a su consumo intenso en los procesos de absorción y asimilación del N asperjado (11, 28, 7, 14).

En la segunda semana, el aumento en la intensidad fotosintética excedería al consumo de sacarosa, lo que conduce a un aumento de su contenido.

La curva del contenido de monosacáridos (inversa a la de la sacarosa) podría indicar que durante la síntesis de aminoácidos, sólo una parte de la molécula de sacarosa es usada, acumulándose en el tallo la hexosa no usada. Los autores no explican a qué es debido que abonando foliarmente con N + P, la depresión primera en la absorción radicular del N, se retrase en una semana con respecto a las abonadas foliarmente sólo con N. Se limitan a decir que la adición del P destruye en algo la relación directa entre los cambios en el contenido de sacarosa y la absorción radicular de N. Tampoco explican a qué es debida la segunda depresión que se observa en la absorción radicular del N. Pues si la primera puede deberse a que la sacarosa en gran parte es utilizada en la propia hoja para metabolizar el N asperjado, es de suponer que a los 22 ó 29 días, cuando se produce la segunda depresión, ya ese factor no es actuante.

Por otra parte, no determinaron la marcha de la intensidad fotosintética a lo largo de su experiencia, por lo que no se sabe si esta segunda depresión está relacionada o no con una depresión simultánea de la intensidad fotosintética.

Según Pavlov e Ivanov uno de los factores básicos que determinaría la eficiencia del abonado foliar con N, sería el contenido de sacarosa que tiene la planta en el momento de realizarse el abonado foliar, y la existencia de condiciones intrínsecas de la planta que favorezcan su síntesis. Así, en el maíz, el lapso que media entre la aparición de la "barba" de la inflorescencia femenina, hasta la madurez lechosa del grano, es el de mayor contenido de sacarosa, y precisamente es en ese momento, como lo determinó Pavlov (16), cuando el abonado foliar con N produce el mejor efecto, al menos en lo que respecta a la acumulación de N por la planta.

Griechujina y Timofieva (5) hicieron crecer plantas de pepino en solución de Knopp de tres concentraciones distintas: a) solución sin modificaciones, b) solución que tenía 1/50 de N, y c) solución que tenía 1/50 de P. A un lote de plantas se las asperjó foliarmente con urea al 0,6 %; a otro con fosfato monopotásico al 0,6 % y a otro lote con una mezcla de esos dos compuestos (NPK) al 0,6 %. La aspersión se realizó durante once días consecutivos, comenzándose cuando las plantitas tenían dos hojas verdaderas. Los resultados obtenidos indican que las distintas aspersiones incidieron muy levemente en la absorción radicular de K y P cuando las plantas crecieron en la solución a) sin modificar; que aumentó enormemente la absorción radicular de K y P en las plantas que crecieron en soluciones nutritivas donde el elemento que se asperjó se hallaba en deficiencia; que ninguno de los abonos foliares utilizados, pese a que aumentaron la absorción radicular de P y K de las plantas que crecieron en soluciones deficientes en N y P, logró elevar la absorción radicular de estos elementos al nivel de los testigos que crecieron en la solución sin modificación.

¿ PODRIA EL ABONADO FOLIAR REEMPLAZAR TOTALMENTE
A LA ABSORCION MINERAL RADICULAR ?

Un problema teórico importante es el de determinar si las hojas podrían reemplazar totalmente a la raíz en la nutrición mineral de las plantas. Los estudios realizados, parecen indicar que al menos para algunos elementos, eso no sería posible.

Tueva y coi. (26) se plantearon ese problema con respecto al fósforo, y para dilucidarlo realizaron algunas experiencias, utilizando como material experimental la calabaza, porque sus plántulas pueden crecer durante un período largo en soluciones nutritivas sin ese elemento.

Treinta días después de germinadas, hicieron crecer plántulas de calabaza en las siguientes variantes: a) solución nutritiva completa; b) solución nutritiva sin P, c) solución nutritiva con 7 mg de P, y d) solución nutritiva sin P, más 7 mg de P suministrados por hoja.

Los resultados demostraron que el P suministrado sólo por las hojas de ninguna manera puede satisfacer los requerimientos de la planta. El peso de las plantas de la variante d) que recibió el P solo por aspersión foliar (7 mg), si bien fue doble que el de la variante b) que creció en solución nutritiva sin P, fue dos veces menor que el de la variante c) que creció en solución nutritiva con 7 mg de P. Esto, según los autores, fue debido a que en las primeras (var. d) se deprimió notablemente el crecimiento (depresión de la extensión de las células) con respecto a las segundas (var. c). La actividad de los tejidos meristemáticos fue casi igual en ambas variantes. Como al analizar el contenido de P de las dos variantes, hallaron que la que recibió el P por aspersión foliar tenía una cantidad un poco menor que la que lo recibió por raíz (7 mg), repitieron la experiencia suministrando por aspersión foliar 16 mg de P y por raíz 10 mg. La primera variante, en el análisis demostró tener un contenido mayor de P que la segunda. Aún así las plantas de la primera variante se retrasaron con respecto a estas últimas. Los autores sacan la conclusión de que suministrando el P sólo por las hojas desde la germinación de las plántulas de calabaza, disminuye el coeficiente de productividad del P absorbido. De modo que este período crítico de la vida de la planta, en lo que a la alimentación del P se refiere, no puede ser satisfecho adecuadamente suministrando el P sólo por hoja. Esto se debe a que las hojas, pese a que absorben satisfactoriamente ese elemento, no pueden trasladarlo adecuadamente a los distintos órganos de acuerdo a sus requerimientos (25, 1). En cambio, la raíz sí puede hacerlo. Las hojas trasladan el P absorbido según normas específicas. La traslación se realiza en cantidades significativas sólo a los órganos ricos en meristemas y la magnitud de esa traslación está determinada por la necesidad en P de los órganos que tienen actividad meristemática y no por la cantidad de P suministrada por aspersión foliar. Por otra parte, el metabolismo de los compuestos fosfatados de la raíz difiere

del de las hojas, por lo que al no recibir la raíz el adecuado suministro de P se perturba todo el metabolismo de la planta. Del análisis que hacen los autores de los compuestos fosfatados de las distintas variantes, sacan la conclusión de que el contenido de la fracción del P protoplasmático, es igual en las variantes independientemente de cuál sea el órgano que absorbe el P. En cambio, la fracción del P-orgánico soluble, disminuyó sensiblemente en la variante que recibió el P sólo por aspersión foliar. De tal manera que para la síntesis normal de los compuestos fósforo-orgánicos, para la síntesis de las sustancias orgánicas y para los procesos morfogénicos, dicen los autores, es indispensable mantener en las raíces un umbral suficientemente alto de P.

Tueva en 1960 (25), demostró que la lámina de las hojas es el lugar de mayor síntesis de los fosfátidos, aunque pueden ser sintetizados también en las raíces aisladas. En cambio, la síntesis de las nucleoproteínas se realiza fundamentalmente en las raíces. La traslación del P absorbido por las hojas a la raíz, disminuye con la edad de la planta, lo que al parecer está condicionado con la disminución de las zonas meristemáticas de la raíz. Pero aún en el período más favorable para la traslación del P de las hojas a la raíz, la aspersión foliar no asegura plenamente el nivel de P en la raíz que necesita este órgano. De modo que las hojas no trasladan a la raíz el P en tales cantidades que aseguren una absorción normal de N y su transformación en proteínas (Tueva, Danilova, Kazuto 1961; citados por Tueva y col. (26)).

Gupalo y Romanchuck (6) demostraron en papa, que las raíces aseguran mayor utilización y traslación a la parte aérea del P de los tubérculos y que juegan un papel sumamente importante en la incrementación del ARN de la parte aérea. La parte aérea de una mitad de tubérculo a la que se impidió que diera raíces, tenía 3,66 mg de P de ARN por g de peso seco. En cambio la parte aérea de la otra mitad del tubérculo, a la que se permitió que diera raíces, tenía 11,18 mg de P de ARN por g de peso seco.

Otros experimentadores, como Mothes y col. (1958), Potapov y Maroti (1956), Martov (1959, citados por Gupalo y Romanchuck han demostrado que la raíz juega un papel importante en la incrementación del ARN en la parte aérea.

El metabolismo diferente de las hojas con respecto a la raíz, no se limita únicamente al fósforo. Kulaeva (12) ha demostrado que el efecto de la cinetina de promover el metabolismo proteico de las hojas aisladas, lo cumple normalmente en la planta la savia proveniente de la raíz; que esta sustancia, o sustancias, que sintetiza la raíz es

incapaz de ser sintetizada por la hoja y la parte aérea de la planta; que su síntesis en la raíz está ligada a la alimentación nitrogenada. De todo esto se deduce, que la alimentación de N sólo por las hojas, sería incapaz de asegurar el metabolismo nitrogenado normal de la planta, a menos que las hojas aseguren una traslación, en cantidades adecuadas, de ese elemento a la raíz, para poder satisfacer las necesidades metabólicas de la misma.

INTERPRETACIONES SOBRE LA INTERRELACION ENTRE EL ABONADO FOLIAR Y LA ABSORCION RADICULAR

Matzkov 1961 (¹³, ^{13'}) plantea una serie de problemas teóricos con respecto al abonado foliar..

a) Sobre el aumento de la intensidad fotosintética que se observa después del abonado foliar con macro y micro elementos, dice que se tiene la suposición de que se deba no al aumento directo de la alimentación (mineral) de las células, sino a que los elementos químicos que se introducen en ellas, actúen como excitadores o estimuladores. Entre otras cosas esto lo demostraría la no especificidad de la acción de las sustancias asperjadas.

Hace notar que el aumento de la intensidad fotosintética (después del abonado foliar), como regla, va acompañado de un aumento del contenido de clorofila de las hojas. Sin embargo, dice, estos dos hechos no se pueden ligar directamente, pues el aumento de la fotosíntesis comienza antes que el aumento del contenido de los pigmentos fotosintéticos.

b) Sobre la íntima unión y acción recíproca que se observa entre el abonado foliar y la absorción radicular, dice que los datos experimentales obtenidos por Ikonenko (⁹) dan base a suponer que uno de los eslabones de esa acción recíproca es la fotosíntesis. Que el aumento de la intensidad fotosintética (que se observa después del abonado foliar) condiciona el aumento de la afluencia de sustancias orgánicas y energéticas a la raíz, lo que a su vez condiciona el aumento de la actividad absorbente de este órgano.

Matzkov plantea que no está excluida la posibilidad de otros mecanismos de interrelación (causados por el abonado foliar) entre las hojas y la raíz. Entre otros, el que la raíz por efectos del abonado foliar varíe los productos que secreta y que como consecuencia haga variar la microflora de su rizosfera. Dice que esta posibilidad fue con-

firmada con datos experimentales obtenidos en la Cátedra de Fisiología del Instituto de Agricultura de Jarkov en los años 1959 y 1960.

c) Desde un enfoque más amplio y teórico sobre la interrelación entre abonado foliar y absorción radicular, Matzkov dice: "La planta, como cualquier organismo vivo, que ha pasado un largo camino de evolución progresiva, se presenta como un buen sistema regulado de órganos que accionan en una coordinación estricta y biológicamente "útil". La regeneración de órganos que se han eliminado (la formación de raíces en las ramas separadas de la planta-estacas o, al contrario, la formación de ramas en raíces; y, también, la formación de raíces aéreas al dificultarse la actividad de las terrestres), son pruebas de la íntima unión y dependencia recíproca entre los distintos órganos y partes de la planta.

Sin embargo, la regeneración del órgano perdido no se realiza instantáneamente. Necesita, a veces, largo tiempo, lo que obliga al organismo a reorganizarse, cambiando el metabolismo habitual, transfiriendo, a los órganos y partes que quedan, el cumplimiento en forma vicariante de las funciones de las partes u órganos perdidos; y producir su específica "polivalencia" elaborada en el curso de la evolución.

Una situación análoga a la pérdida de un órgano, puede surgir sin la perturbación de la integridad del organismo, si se produce un debilitamiento de cualquier componente del sistema, por ejemplo, deprimiendo la actividad de la raíz por inundación, exceso de sales o enfriamiento del suelo. Justamente en tales casos, la transferencia de la función del órgano de actividad debilitada (por ejemplo, la raíz) a otro órgano (por ejemplo, las hojas) puede ser fisiológicamente justificada y útil.

El problema consiste, según Matzkov, en que estudiando la unión metabólica entre las hojas y las raíces, se puede aprender a distinguir los casos en que el abonado foliar puede resultar fisiológicamente justificado y útil y de tal manera producir un aumento en el rinde".

Es indudable que la planta, es un sistema regulado de órganos que funcionan con una coordinación estricta y biológicamente útil. Es cierto, también, que la autoregulación de sus funciones, se ha ido elaborando en el proceso evolutivo. Pero de estos considerandos no se deduce la relación, propuesta por Matzkov, entre el abonado foliar y la absorción radicular. Creemos que su interpretación teórica es errónea por lo siguiente:

a) ¿De qué manera puede ser útil para las plantas que, en circunstancias especiales, cuando la raíz tiene deprimida su actividad (por

inundación, exceso de sales o enfriamiento del suelo) transfiriera su actividad a las hojas? Las hojas (al menos las de las plantas terrícolas) normalmente crecen en un habitat, en el que no les es posible desempeñar las funciones de la raíz. ¿De dónde van a tomar las hojas, que normalmente son aéreas, los elementos minerales tales como el P, S, Ca, etcétera, si éstos se encuentran normalmente en el suelo? ¿Qué utilidad biológica puede haber en semejante transferencia de funciones? Y si biológicamente no se ve su utilidad ¿cómo se va a fortalecer ese mecanismo en el proceso evolutivo?

b) Los datos experimentales obtenidos por Shereveria, Ivanov y otros, demuestran que en los casos en que la función absorbente de la raíz está deprimida por una baja humedad del suelo (35 % de capacidad de campo), el abonado foliar no sólo no es útil, sino que deprime el rinde.

Como hipótesis de trabajo proponemos la siguiente interpretación sobre la relación entre la absorción radicular y el abonado foliar.

a) Cada especie de planta, tomada como un ser vivo íntegro, necesita para poder cumplir adecuadamente su metabolismo, una relación determinada de los distintos elementos minerales, aunque la relación de estos elementos varíe de órgano a órgano. Esta relación cuantitativa entre los distintos elementos minerales que la planta en su integridad necesita, varía en el transcurso de su ontogénesis. Su sistema radicular absorbe del suelo, selectivamente, los elementos minerales para satisfacer las necesidades inherentes a la especie o variedad. Al variar en el transcurso de la ontogénesis las necesidades y las relaciones entre los distintos elementos, varía por autoregulación la capacidad absorbente de la raíz para todos o para determinados elementos minerales. El sistema radicular se comportaría, metafóricamente hablando, como un filtro regulable.

Por supuesto que la capacidad selectiva del sistema radicular para absorber los elementos de acuerdo a las necesidades inherentes a la variedad o especie, no es total. Como tampoco es total cualquier mecanismo adaptativo de los seres vivientes.

Son mecanismos formados en el transcurso del proceso evolutivo y varían de especie a especie.

b) En el proceso evolutivo, cada órgano se ha diferenciado fisiológica y morfológicamente. Aunque cada célula tiene potencialmente la capacidad de regenerar un individuo íntegro y en ese sentido tendría una totipotencia fisiológica, en la planta íntegra esa potenciali-

dad no es actuante y por los mecanismos de autorregulación sus procesos fisiológicos son distintos pero estrictamente coordinados.

Experimentalmente se ha demostrado que la hoja no puede reemplazar totalmente a la raíz en cuanto a la nutrición mineral se refiere (Trabajos de Tueva, et al.; Kulaeva) (12, 25, 26).

c) La capacidad de la hoja de absorber elementos minerales que se le asperjen, es una característica inherente a toda célula viva, vegetal o animal. Característica que se remonta (y han mantenido) a sus remotísimos antecesores que vivían en medio líquido y se alimentaban por toda su superficie.

d) El sistema radicular es el encargado de satisfacer las necesidades en elementos minerales de las plantas y ningún órgano puede reemplazarlo totalmente. Si en el medio exterior (suelo, solución nutritiva) los elementos se hallan disponibles en la cantidad necesaria como para satisfacer plenamente las exigencias requeridas por la planta, ningún abonado foliar dará resultados positivos. La aspersión foliar de cualquier elemento, deprimirá la absorción radicular del mismo, pues la planta trata de mantener el equilibrio que necesita entre los distintos elementos.

Si por el contrario, el suelo o la solución nutritiva, es deficitario en uno o más elementos, el abonado foliar de uno de los elementos que se hallan en déficit en la solución nutritiva, provocará una mayor absorción radicular de los elementos que metabólicamente estén ligados al elemento asperjado.

El mecanismo lo visualizamos a grandes rasgos de la siguiente manera. El elemento asperjado entra en las células de las hojas, donde en parte es metabolizado. A consecuencia de ello se crea un desequilibrio en la hoja entre los elementos que están ligados metabólicamente con el elemento asperjado, ruptura del equilibrio que la planta tiende a restablecer, poniendo en juego mecanismos que aumenten la traslación desde la raíz a la hoja, de los elementos que están metabólicamente ligados al elemento asperjado, por un lado, y por otro trasladando el elemento asperjado a otros órganos, entre ellos la raíz. Como consecuencia se produce un desequilibrio entre los elementos en la raíz, que tiende a ser restablecido aumentando la absorción radicular de aquellos elementos que se encuentran en déficit en dicho órgano y que están metabólicamente ligados. Todo esto exige un gran gasto de hidratos de carbono. De ahí, que los resultados del abonado foliar, sean distintos según el estado fenológico de la planta en que se realice. En el estado de desarrollo en que más cantidad de hidratos

de carbono tenga la planta y cuando mayor sea su capacidad de síntesis y mayor sea la necesidad de la planta del (de los) elemento (s) en que se encuentra deficiente, mejor será el resultado que se consiga con el abonado foliar.

e) Es posible que todos, o gran parte de los procesos fisiológicos que son influenciados por el abonado foliar, verbigracia intensidad fotosintética, respiración de las raíces, actividad de gran cantidad de enzimas, tiendan a restablecer el equilibrio mineral perturbado.

f) Es posible que el aumento de la intensidad fotosintética que se consigue con el abonado foliar, no sea debido a un proceso excitativo, como supone Matzkov, de los elementos asperjados. No creemos que la no especificidad de este resultado sea una demostración de que los elementos asperjados foliarmente, actúen como excitadores. Pues es completamente posible que al abonarse foliarmente con un elemento y al producirse una mayor traslación desde la raíz a las hojas de los elementos metabólicamente ligados al elemento asperjado, se consiga un mejor nutrición de las células clorofilianas. Por ej.: al abonarse foliarmente con N se conseguiría una mayor traslación radicular a la hoja de P y de K; al asperjarse con Mo, una mayor traslación a la hoja de N y por encadenamiento de P y de K.

g) De nuestra hipótesis de trabajo se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Si el suelo o la solución nutritiva son capaces de satisfacer plenamente las necesidades de la planta en elementos minerales en el transcurso de su ontogénesis, ningún abonado foliar aumentará el rinde de esa planta, ni se conseguirá con su práctica un aumento de la intensidad fotosintética y es posible que se obtenga una pequeña depresión, tanto del rinde como de la intensidad fotosintética.
2. Cuando la capacidad absorbente de la raíz esté seriamente deprimida debido a condiciones ecológicas (sequía o frío del suelo), el abonado foliar con 1 ó 2 elementos no dará ningún resultado (lo más probable es que deprima el rinde) ni se conseguirá con su práctica un aumento de la intensidad fotosintética. Para que el abonado foliar en estas condiciones especiales dé resultado, habría que hacerlo con todos o casi todos los elementos. Los resultados dependerán de la capacidad de traslación desde la hoja a los distintos órganos de la planta (incluida la raíz) de los elementos asperjados y de la capacidad de absorción de agua por la raíz .

3. Cuando el suelo o la solución nutritiva sea pobre en uno o varios elementos y las condiciones ecológicas no depriman la capacidad absorbente de la raíz, es cuando se conseguirá el mayor resultado con el abonado foliar. Y los resultados positivos que se obtengan serán (dentro de ciertos límites), directamente proporcionales a la pobreza del (de los) elemento (s) de la solución nutritiva. (La hoja nunca podrá reemplazar completamente a la raíz en la alimentación mineral — al menos para algunos elementos minerales). En estos casos, el aumento de la intensidad fotosintética que se obtenga por el abonado foliar, también dependerá de la pobreza relativa del (de los) elemento (s) de la solución nutritiva.

Hay un problema especial en la utilización del abonado foliar, como práctica que se realiza un poco antes de la cosecha en ciertos cultivos, especialmente en aquellos que tienen órganos reservantes. En estos casos, el abonado foliar con P o K, tiene por objeto que los hidratos de carbono que se hallan en la hoja y que se perderían, sean en gran parte trasladados a los órganos reservantes.

Tal práctica, preconizada por Iakushkin — citado por Rubin (13) — se ha aplicado con éxito en remolacha azucarera y en papa.

Este caso especial del abonado foliar, creemos que se diferencia de la práctica general. En este caso se trata de la movilización de los hidratos de carbono existentes y los elementos que foliarmente se asperjan son precisamente los que facilitan esa movilización.

BIBLIOGRAFIA

1. BIDOULPH, O. & CORY, R. "Translocation of C¹⁴ metabolites in the phloem of the bean plant". — *Plant Physiology* 40 (1): 119-129. 1965.
2. BOKEN, E. "Effect of foliar applied manganese on the concentration of Mn in oat roots". — *Physiologia Plantarum*, 13 (4): 786-192. 1960.
3. BOYNTON, D. "Nutrition by foliar application". — *Annual Review of Plant Physiology* 5: 31-54. 1954.
4. FEDOTOVA, T. I. "Sobre el significado del abonado foliar. El abonado foliar en los cultivos". — *Sel'hozgiz*, Moscú, pp. 12-25 (en ruso). 1955.
5. GRIECHUJINA, O. A. y T.MOFIEVA, G. F. "Influencia del abonado foliar en la absorción radicular de elementos minerales". — *Boletín de la Univ. de Leningrado, Serie Biología*, 3 (1): 36-45. 1961 (en ruso).
6. CUPALO, P. J. & ROMANCHUK, P. S. "Specific role of roots in growth of aerial part of plants". — *Doklady Akademii Nauk SSSR, Biological Sciences* 147 (1-6): 1441-1442. 1963.

7. GUSTAFSON, F. G. "Absorption of Co⁶⁰ by leaves of young plants and its translocation through the plant". — *American Journal of Botany* 43 (2): 157-160. 1956.
8. INENKO, J. F. "Foliar nutrient application in black currant and the possibility of combining it with fungicide treatment". — *Fiziologiya Rastenii* 7 (2): 160-166. 1960.
9. IKONENKO, T. K. "The interrelationship between root and foliar nutrition and photosynthesis in plants". — *Fiziologiya Rastenii* 6 (1) 94-97. 1959.
10. IVANOV, V. P. "Effect of foliar nutrition and soil moisture on the growth and development of maize". — *Fiziologiya Rastenii* 6 (3): 368-371. 1959.
11. JYUNG, W. H. & WITWER, S. H. "Foliar absorption an active uptake process". — *American Journal of Botany* 51 (4): 437-444. 1964.
12. KULAEVA, O. N. "The effect of roots on leaf metabolism in relation to the action of kinetin on leaves". — *Fiziologiya Rastenii* 9 (2): 182-189. 1962.
13. MATZKOV, F. F. "Algunos problemas teóricos del abonado por aspersión. En: "La alimentación radicular en el metabolismo y en la productividad de las plantas". — *Resúmenes de los trabajos presentados en la reunión realizada del 6 al 10 de febrero de 1961. Academia de Ciencias de la URSS. Moscú, pp. 10-14. 1961.*
- 13'. — "La aspersión foliar en las plantas (Estado actual del problema). En: *Conferencia Científica realizada en mayo de 1961 en Jarkov*". 1961. *Resúmenes de la Conferencia n° 2. Editado por Ministerio de Agricultura de la Rep. Soviética Socialista de Ucrania, pp. 57-60.*
14. ORIOLI, G. A. y JIMÉNEZ, E. "Absorción del sulfato radiactivo por las hojas". — *Fitotecnia Latinoamericana* 1 (1): 37-50. 1964.
15. PANKRATOVA, E. M. "Increase in physiological activity and yield of fruit trees with foliar feeding". — *Fiziologiya Rastenii* 7 (5): 479-483. 1961.
16. PAVLOV, A. N. "Absorption of substances by the roots and leaves of corn". — *Fiziologiya Rastenii* 7 (3): 268-273, 1960.
17. — & IVANOV, V. P. "Foliar feeding of corn with nitrogen and phosphorus at various levels of root nutrition". — *Fiziologiya Rastenii* 7 (5): 463-468. 1961.
18. RUBIN, B. A. *Fiziologiya Rastenii. Tomo II, pp. 103-104. 1956.*
19. SHEREVERYA, N. I. "The interrelationship of foliar and root mineral nutrition in plants". — *Fiziologiya Rastenii* 5 (1): 12-25. 1959.
20. THORNE, G. N. "Absorption of nitrogen, phosphorus, and potassium from nutrient sprays by leaves". — *Journal of Experimental Botany* 5 (13): 37-48. 1954.
21. — "Interactions of nitrogen, phosphorus, and potassium supplied in leaf sprays or in fertilizer added to soil". — *Journal of Experimental Botany* 6 (16): 20-42. 1955.
22. — & WATSON, D. J. "Field experiments on uptake of nitrogen from leaf sprays by sugar beet". — *Journal of Agricultural Science* 47 (1): 12-22. 1956.
23. — "The effect of applying a nutrient in leaf sprays on the absorption of the same nutrient by roots". — *Journal of Experimental Botany* 8 (24): 401-412. 1957.

24. TIMASHOV, N. D. "Effect of foliar application of microelements molybdenum and nickel and some metabolic processes in the potato plant". — *Fiziologiya Rastanii* 6 (3): 364-367. 1959.
25. TUEVA, O. F. "A study with P^{32} of dependence of phosphorus metabolism and crop yield of plants on conditions of nitrogen nutrition". — *Fiziologiya Rastanii* 7 (1): 3-9. 1960.
26. — CHIJACHEVA, G. M.; KAZUTO, O. N. y DANILOVA, N. S. "Utilización del fósforo absorbido por la planta a través de la raíz o de las hojas". — *Boletín de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S. Serie Biología* 1: 29-41 (en ruso) 1962.
27. VIERZILIN, N. N. "Rinde y composición química de la papa abonada con distintas formas de nitrógeno, suministrado por raíz o aspersión foliar". — *Trabajos del Instituto Biológico de Petersburgo. Universidad de Leningrado*. 18: 45-54 (en ruso). 1960.
28. WITTWER, S. H. & TEUBNER, F. G. "Foliar absorption of mineral nutrients". — *Annual Review of Plant Physiology* 10: 13-27. 1959.