

FERTILIZACION FOLIAR, UN RESPALDO IMPORTANTE EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Foliar Fertilization, an Important Enhancing for the Crop Yield

Antonio Trinidad Santos¹ y Diana Aguilar Manjarrez

RESUMEN

La fertilización foliar, que es la nutrición a través de las hojas, se utiliza como un complemento a la fertilización al suelo; esta práctica es reportada en la literatura en 1844, aunque su uso se inicia desde la época Babilónica. Bajo este sistema de nutrición la hoja juega un papel importante en el aprovechamiento de los nutrimentos, algunos componentes de ésta participan en la absorción de los iones. Los factores que influyen en la fertilización foliar pueden clasificarse en tres grupos; aquellos que corresponden a la planta, el ambiente y la formulación foliar. Dentro de los aspectos de la planta, se analiza la función de la cutícula, los estomas y ectodesmos en la absorción foliar. En el ambiente, la temperatura, luz, humedad relativa y hora de aplicación. En la formulación foliar se analiza el pH de la solución, surfactantes y adherentes, presencia de sustancias activadoras, concentración de la solución, nutrimentos y el ion acompañante en la aspersión. Varios trabajos de fertilización foliar han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos, sin embargo, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables, lo que sugiere se hagan más trabajos en busca de optimizar la capacidad productiva de las cosechas de diferentes cultivos, utilizando la fertilización foliar como un apoyo a la fertilización al suelo.

Palabras clave: *Absorción foliar, nutrimento, cutícula.*

SUMMARY

The foliar fertilization is the nutrition through the leaves; it is used as a complement to the soil fertilization; this practice was reported in 1844, although its use begins at the Babylonian time.

¹ Area de Fertilidad de Suelos. IRENAT, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.

Recibido: Febrero de 2000.
Aceptado: Junio de 2000.

In this system of nutrition, the leaf plays an important role in the uptake of the nutrients, some of its components participate in the ion absorption. The factors that influence the foliar fertilization can be classified in three groups; those correspondent to the plant, the atmosphere and the foliar formulation. Within the aspects of the plant are reviewed the cuticle function, stomata and ectodesmata in the foliar absorption; and in the atmosphere, the temperature, light, relative humidity and time of application. In the foliar formulation are analyzed pH, surfactants and adherents, active substances, concentration, nutrients and compatibility. Several researchers on foliar fertilization demonstrated the goodness on the yield of the crops. Nevertheless, the increases of yield by the use of this practice have been variable, which suggests more research must be done to optimize the productive capacity of the harvest of different crops, using foliar fertilization as a support to soil fertilization.

Index words: *Foliar absorption, nutrient, cuticle.*

ANTECEDENTES

La fertilización foliar se ha convertido en una práctica común e importante para los productores, porque corrige las deficiencias nutrimentales de las plantas, favorece el buen desarrollo de los cultivos y mejora el rendimiento y la calidad del producto. La fertilización foliar no substituye a la fertilización tradicional de los cultivos, pero sí es una práctica que sirve de respaldo, garantía o apoyo para suplementar o completar los requerimientos nutrimentales de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización común al suelo. El abastecimiento nutrimental vía fertilización edáfica depende de muchos factores tanto del suelo como del medio que rodea al cultivo. De aquí, que la fertilización foliar para ciertos nutrimentos y cultivos, bajo ciertas etapas del desarrollo de la planta y del medio, sea ventajosa y a veces más eficiente en la corrección de deficiencias que la fertilización edáfica.

La fertilización foliar se ha practicado desde hace muchos años. En 1844 se reporta que en Francia se

aplicaba sulfato ferroso en el follaje de la vid para corregir la clorosis en las plantas. También se tenían noticias de que en muchas partes del sur de Europa la fertilización foliar era conocida por los agricultores, quienes la practicaban ampliamente. Esta práctica posteriormente se hizo intensiva en otras partes del mundo, en donde los agricultores habían visto efectos benéficos en el incremento de rendimiento y calidad del producto. Además ya se había observado que en algunos lugares los fertilizantes químicos aplicados al suelo no actuaban eficientemente y satisfactoriamente (Eibner, 1986).

A partir de 1950, cuando se empezaron a utilizar radioisótopos en la agricultura, mejores técnicas de laboratorio y aparatos para el rastreo y análisis de nutrientes del tejido vegetal, se lograron avances más claros sobre la efectividad de la fertilización foliar (Pérez, 1988). En las últimas décadas varios trabajos de investigación han demostrado la bondad de esta práctica cuyo uso es común hoy en día (Trinidad *et al.*, 1971; Chonay, 1981; Cardona, 1988; Pérez, 1988).

Actualmente se sabe que la fertilización foliar puede contribuir en la calidad y en el incremento de los rendimientos de las cosechas, y que muchos problemas de fertilización al suelo se pueden resolver fácilmente mediante la fertilización foliar (Fregoni, 1986). Se reconoce, que la absorción de los nutrientes a través de las hojas no es la forma normal.

La hoja tiene una función específica de ser la fábrica de los carbohidratos, pero por sus características anatómicas presenta condiciones ventajosas para una incorporación inmediata de los nutrientes a los fotosintatos y la translocación de éstos a los lugares de la planta de mayor demanda.

El abastecimiento de los nutrientes a través del suelo está afectado por muchos factores de diferentes tipos: origen del suelo, características físicas, químicas y biológicas, humedad, plagas y enfermedades (Bear, 1965; Plancarte, 1971; Trinidad *et al.*, 1971). Por consiguiente, habrá casos en que la fertilización foliar sea más ventajosa y eficiente para ciertos elementos, que la fertilización al suelo, y casos en que simple y sencillamente no sea recomendable el uso de la fertilización foliar.

La hoja es el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrientes aplicados por aspersión (Tisdale *et al.*, 1985); sin embargo, parece ser, que un nutriente también puede penetrar

a través del tallo, si éste no presenta una suberización o lignificación muy fuerte; tal es el caso de las ramas jóvenes o el tallo de las plantas en las primeras etapas de desarrollo.

La hoja es un tejido laminar formada en su mayor parte por células activas (parénquima y epidermis) con excepción del tejido vascular (vasos del xilema que irrigan la hoja de savia bruta) y la cutícula que es un tejido suberizado o ceroso que protege a la epidermis del medio (Bidwell, 1979).

Desde el punto de vista de su estructura, las partes más importantes de una hoja del haz al envés son: La cutícula, epidermis superior, parénquima de empalizada, parénquima esponjoso, tejido vascular (integrado por células perimetrales, xilema, floema y fibras esclerenquimatosas), epidermis inferior y cutícula inferior. En el envés, en muchos casos existe una capa espesa de vellos, que dificulta el acceso de soluciones nutritivas, hasta la epidermis como ocurre en la hoja de aguacate.

Fisiológicamente la hoja es la principal fábrica de fotosintatos. De aquí la gran importancia de poner al alcance de la fábrica los nutrientes necesarios que se incorporan de inmediato a los metabolitos, al ser aplicados por aspersión en el follaje. Pero la fertilización foliar no puede cubrir aquellos nutrientes que se requieren en cantidades elevadas. La fertilización foliar, entonces, debe utilizarse como una práctica especial para complementar requerimientos nutrimentales o corregir deficiencias de aquellos nutrientes que no existen o no se pueden aprovechar eficientemente mediante la fertilización al suelo.

MECANISMOS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS

Desde 1877 se demostró que las sales y otras sustancias pueden ser absorbidas a través de las hojas (Franke, 1986). Johnson (1916) asperjando sus piñas con una solución de sulfato de hierro, logró enverdecer las plantas después de algunas semanas. Esta experiencia tuvo repercusiones con los productores y se empezaron a utilizar sin medida, prácticas de aspersión foliar de algunos micronutrientes. A pesar de ser una práctica común entre agricultores, todavía a finales de la década de los 40's, no se sabía el mecanismo de absorción foliar de nutrientes. Aún hoy en día, la expresión "Fertilización Foliar" pocas veces se menciona en los

textos clásicos, y el mecanismo de absorción por este medio no está descrito de manera formal a pesar de que es una práctica importante en la actualidad.

Las hojas no son órganos especializados para la absorción de los nutrimentos como lo son las raíces; sin embargo, los estudios han demostrado que los nutrimentos en solución sí son absorbidos aunque no en toda la superficie de la cutícula foliar, pero sí, en áreas puntiformes las cuales coinciden con la posición de los ectotesmos que se proyectan radialmente en la pared celular. Estas áreas puntiformes sirven para excretar soluciones acuosas de la hoja, como ha sido demostrado en varios estudios. Por lo tanto, también son apropiados para el proceso inverso, esto es, penetración de soluciones acuosas con nutrimentos hacia la hoja (Franke, 1986).

El proceso de absorción de nutrimentos comienza con la aspersión de gotas muy finas sobre la superficie de la hoja de una solución acuosa que lleva un nutrimento o nutrimentos en cantidades convenientes. La hoja está cubierta por una capa de cutina que forma una película discontinua llamada cutícula, aparentemente impermeable y repelente al agua por su naturaleza lipofílica (Figura 1). La pared externa de las células epidérmicas, debajo de la cutícula, consiste de una mezcla de pectina, hemicelulosa y cera, y tiene una estructura formada por fibras entrelazadas. Dependiendo de la textura de éstas es el tamaño de espacios que quedan entre ellas, llamados espacios interfibrilares (100 \AA), caracterizados por ser permeables al agua y a sustancias disueltas en ella. Después de esta capa se tiene al plasmalema o membrana plasmática, que es el límite más externo del citoplasma (García y Peña, 1995). El plasmalema consiste de una película bimolecular de lipoides y está parcial o totalmente cubierto de una capa de proteína. Las moléculas de lipoides, parcialmente fosfolipoides, tienen un polo lipofílico y un polo hidrofílico; se supone que a través de estos lipoides hidrofílicos penetran los nutrimentos. Estos lipoides se pueden prolongar radialmente hacia la pared epidermal, y se conocen como ectodesmos o cordones lipoides que facilitan en gran medida la penetración de los nutrimentos. Tal parece que en una primera instancia, al ser aplicado el nutrimento por aspersión, éste se difunde por los espacios interfibrilares en la pared de las células epidérmicas (difusión), o bien, vía intercambio iónico a través de ectodesmos (ectoteichodes), hasta llegar al plasmalema, lugar donde se lleva a cabo prácticamente una absorción activa como en el caso de la absorción de nutrimentos

por las raíces. En esta absorción activa participan los transportadores, que al incorporar el nutrimento al citoplasma de la célula, forman metabolitos que son posteriormente translocados a los sitios de mayor demanda para el crecimiento y rendimiento de la planta. Por lo tanto, la absorción foliar de nutrimentos se lleva a cabo por las células epidérmicas de la hoja y no exclusivamente a través de los estomas como se creyó inicialmente.

De aquí la importancia de hidratar la cutícula de la hoja con surfactantes para facilitar la penetración del nutrimento. Este proceso, descrito brevemente, ha sido cotejado actualmente mediante el uso de algunos trazadores isotópicos (Franke, 1986).

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FERTILIZACIÓN FOLIAR

Para el buen éxito de la fertilización foliar es necesario tomar en cuenta tres factores, los de la planta, ambiente y formulación foliar. En relación a la formulación foliar, la concentración de la sal portadora del nutrimento, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes y el tamaño de la gota del fertilizante líquido, del nutrimento por asperjar se cita su valencia y el ion acompañante, la velocidad de penetración y la translocabilidad del nutrimento dentro de la planta. Del ambiente se debe de considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, humedad relativa y la hora de aplicación. De la planta se ha de tomar en cuenta la especie del cultivo, estado nutricional, etapa de desarrollo de la planta y edad de las hojas. (Kovacs, 1986). A continuación se desglosa la importancia de algunos de ellos.

Relacionados con la Formulación Foliar

pH de la solución. La característica de la solución por asperjar es de primordial importancia en una práctica de fertilización foliar. El pH de la solución y el ion acompañante del nutrimento por aplicar influyen en la absorción de éste en la hoja. El Cuadro 1 muestra estos efectos.

En el Cuadro 1 se observa que soluciones de pH ácido favorecen la absorción de fósforo y esta absorción es mayor con el ion acompañante Na^+ , NH_4^+ que con el K^+ (Reed y Tukey, 1978).

Surfactantes y adherentes. La adición de surfactantes y adherentes a la solución favorece el aprovechamiento del fertilizante foliar. El mecanismo de acción de un surfactante consiste en reducir la

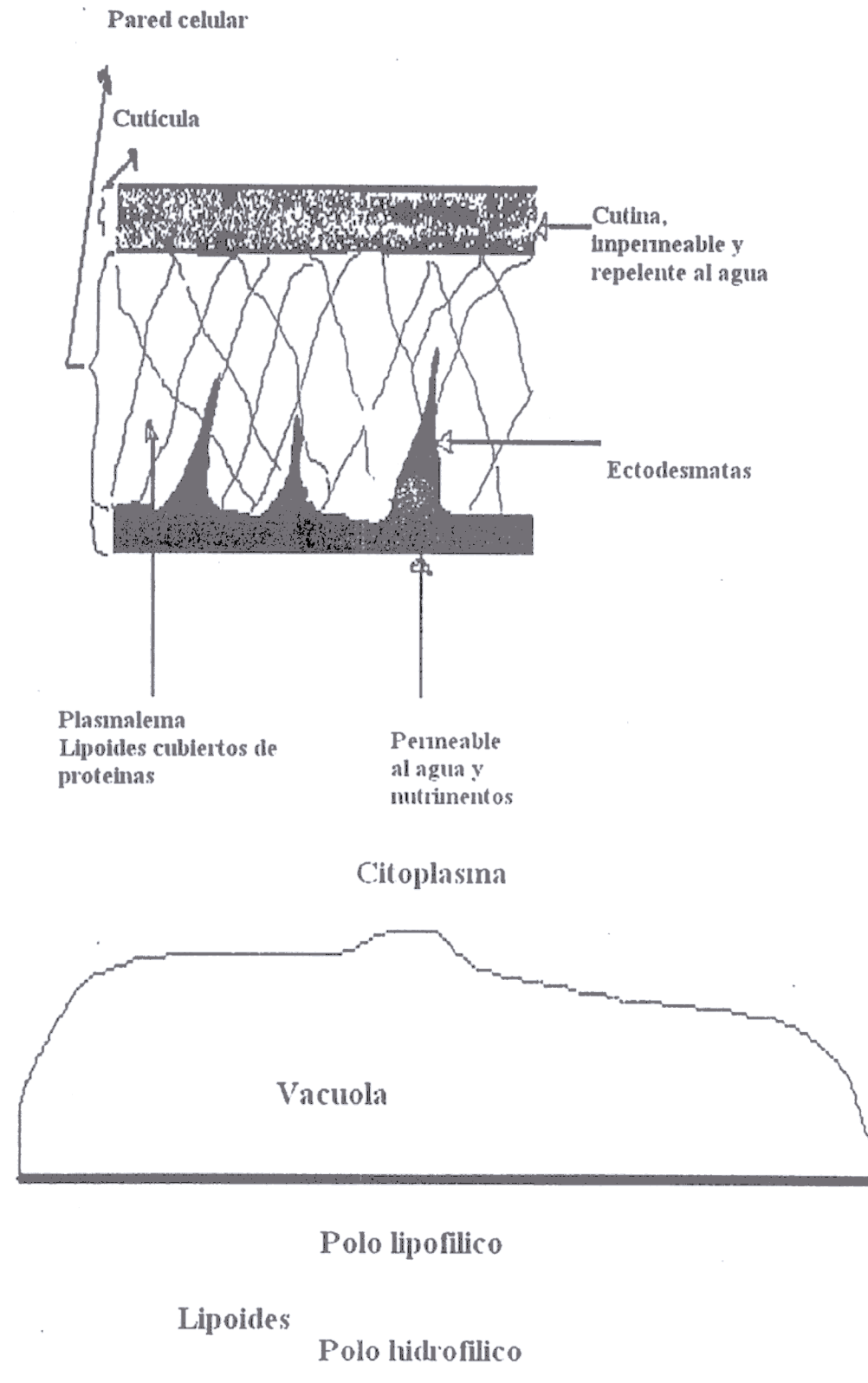


Figura 1. Corte transversal de una célula de la epidermis.

Cuadro 1. Efecto del pH y el catión acompañante del elemento por asperjar sobre la cantidad de P absorbido en microgramos (μg), seis horas después de la aplicación.

Ion acompañante	pH					
	2	3	4	5	6	7
	P (μg)					
K^+	1.47	0.96	0.16	0.11	0.11	0.08
Na^+	2.03	2.97	1.31	1.59	1.21	0.75
NH_4^+	3.70	3.94	2.59	2.44	0.33	0.26

Fuente: Reed y Tukey (1978).

tensión superficial de las moléculas de agua, permitiendo una mayor superficie de contacto con la hoja; un adherente permite una mejor distribución del nutriente en la superficie de la hoja evitando concentraciones de este elemento en puntos aislados cuando la gota de agua se evapora (Leece, 1976).

Presencia de sustancias activadoras. Actualmente se están haciendo estudios sobre el uso de sustancias activadoras en la absorción de nutrientes por aspersión foliar. Los ácidos húmicos actúan como activadores y la urea también desempeña la misma función en la absorción de fósforo como se muestra en la Figura 2. Parece que la urea dilata la cutícula y destruye las ceras sobre la superficie de la hoja, facilitando la penetración del nutriente (Malavolta, 1986).

Nutriente y el ion acompañante en la aspersión. La absorción de nutrientes está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico en la hoja, y la

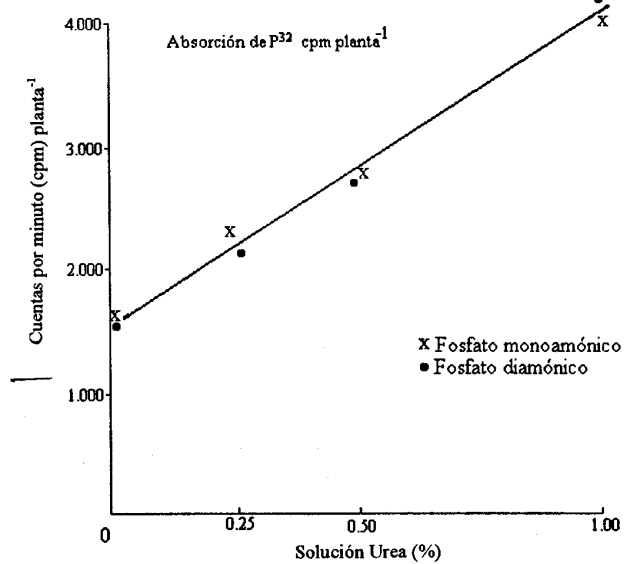


Figura 2. Efecto de la aplicación foliar de urea sobre la absorción de P marcado por las hojas de frijol (Malavolta, 1986).

Cuadro 2. Movilidad comparativa de diferentes nutrientes en la planta.

Muy móvil	Móvil	Parcialmente móvil	Inmóvil
N	P	Zn	B
K	Cl	Cu	
Na	S	Mn	Ca
Rb		Fe	Sr
		Mo	Ba

Fuente: Fregoni (1986).

valencia del ion influye en este intercambio. Los iones K^+ y NH_4^+ requieren sólo de un H^+ en el intercambio, mientras que el Ca^{2+} y el Mg^{2+} requieren de dos H^+ ; por lo tanto, los iones monovalentes penetran con mayor facilidad que los iones con mayor número de valencias. Los iones más pequeños en su diámetro penetran más rápidamente que los iones de mayor tamaño (Fregoni, 1986). En el caso del fósforo, el amonio lo estimula en su absorción más que el Na^+ o K^+ . Los Cuadros 2 y 3 indican la movilidad y la velocidad de absorción de los nutrientes, que podrían dar una idea de la facilidad con que penetran esos elementos en la hoja.

Concentración de la solución. La concentración de la sal portadora de un nutriente en la solución foliar, varía de acuerdo con la especie de la planta. En general, los cereales soportan mayores concentraciones que algunas otras especies como el frijol, pepino, tomate y otras hojas menos cutinizadas, pero posiblemente sean las más eficientes en absorción foliar. La concentración de la urea que debe utilizarse de una especie a otra varía mucho, como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Velocidad de absorción de diferentes nutrientes en la hoja de frijol.

Elemento	Absorbidos después de				
	6 h	24 h	48 h	96 h	192 h
	----- % -----				
R	55	80	90	95	98
K	50	70	80	90	95
Na	48	65	70	80	90
Cl	31	40	50	60	80
Zn	30	50	60	65	70
Ca	7	28	35	50	70
S	7	22	30	45	60
P	5	15	25	35	50
Mn	11	20	22	30	40
Ba	6	21	30	40	65
Sr	2	10	18	30	34
Fe	3	6	8	12	15

Fuente: Fregoni (1986).

Cuadro 4. Concentración de la urea en la solución foliar aplicada a diferentes plantas de cultivo.

Planta	Concen- tración	Planta	Concen- tración
	%		%
Manzano	0.6 - 1.0	Papa	0.6 - 1.6
Cerezo	0.6 - 1.0	Remolacha	1.5 - 2.0
Ciruelo	0.6 - 1.0	Maíz	0.5 - 2.5
Durazno	0.6 - 1.0	Cereales	0.5 - 10.0
Toronja	0.4	Tabaco	0.3 - 1.2
Frijol	0.3 - 0.4	Cacao	5.0
Pepino	0.3 - 0.4	Plátano	0.6 - 0.8
Tomate	0.4 - 0.6	Cítricos	0.6 - 1.0
Apio	0.8 - 1.0	Algodón	5.0
Col	0.8 - 1.6	Caña de	10 - 20
Zanahoria	1.2 - 3.0	azúcar	

Relacionadas con el Ambiente

Temperatura. La temperatura influye en la absorción de nutrimentos vía aspersión foliar. Los datos que se presentan en el Cuadro 5 indican que el fósforo en las hojas de frijol se absorbe en mayor cantidad a 21 °C que a 14 o 25 °C (Jyung y Wittwer, 1964).

Luz, humedad relativa y hora de aplicación. Estos tres factores deben de tomarse en cuenta en la práctica de fertilización foliar. La luz es un factor importante en la fotosíntesis y para que una planta pueda incorporar nutrimentos en los metabolitos se requiere de un proceso fotosintéticamente activo en la planta. La humedad relativa influye en la velocidad de evaporación del agua que se aplica. Por consiguiente, una alta humedad relativa del medio favorece la penetración de los nutrimentos al mantener húmeda la hoja. Este último factor está relacionado con la hora de aplicación, la cual debe de practicarse o muy temprano o en las tardes, según las condiciones de la región (Swietlik y Faust, 1984).

Relacionados con la Planta

Edad de la planta y hoja. La aplicación foliar de nutrimentos también está afectada por el estado de

Cuadro 5. Efecto de la temperatura sobre la absorción de P³² en hojas de frijol en diferentes horas después de la aplicación.

Horas después de la aplicación	Absorción de P ³²		
	14 °C	21 °C	25 °C
	µgP ³² . (100g) ⁻¹		
3	0.015	0.307	0.243
6	0.433	1.04	0.56
12	1.23	1.675	0.738

Fuente: Jyung *et al.* (1964).

desarrollo de la planta. Se indica, aunque existen pocos datos, que las plantas y hojas jóvenes son las que tienen mayor capacidad de absorción de nutrimentos vía aspersión foliar y desde luego deben de tener un déficit de esos nutrimentos en su desarrollo. Entre especies también hay diferencias, y posiblemente esta diferencia esté fundamentalmente influenciada por el grado de cutinización y/o significación de las hojas. A mayor cutinización, lignificación y presencia de ceras en la hoja, habrá menor facilidad de absorción del nutrimento (Swietlik y Faust, 1984).

PROPOSITOS DE LA FERTILIZACION FOLIAR

La fertilización foliar puede ser útil para varios propósitos tomando en consideración que es una práctica que permite la incorporación inmediata de los elementos esenciales en los metabolitos que se están generando en el proceso de fotosíntesis. Algunos de estos propósitos se indican a continuación: corregir las deficiencias nutrimentales que en un momento dado se presentan en el desarrollo de la planta, corregir requerimientos nutrimentales que no se logran cubrir con la fertilización común al suelo, abastecer de nutrimentos a la planta que se retienen o se fijan en el suelo, mejorar la calidad del producto, acelerar o retardar alguna etapa fisiológica de la planta, hacer eficiente el aprovechamiento nutrimental de los fertilizantes, corregir problemas fitopatológicos de los cultivos al aplicar cobre y azufre, y respaldar o reforzar la fertilización edáfica para optimizar el rendimiento de una cosecha.

Lo anterior indica que la fertilización foliar debe ser específica, de acuerdo con el propósito y el problema nutricional que se quiera resolver o corregir en los cultivos.

RESPUESTA DE LOS CULTIVOS A LA FERTILIZACION FOLIAR

Varios trabajos de fertilización foliar han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos. Sin embargo, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables.

En un ensayo de fertilización edáfica y foliar sobre el desarrollo y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Giskin *et al.* (1984) reportaron un incremento en número de vainas de 43 %, en número de semillas 13 % y en peso de grano 10 %, al

Cuadro 6. Fertilización edáfica y foliar sobre el desarrollo y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	No. de vainas	No. de semillas	Peso de semillas
100%FE	32	77	g 31
85FE+15FF, 80FE+20FF,75FE+25FF	46 43%	87 13%	34 10%
Significancia	*	ns	ns
CV(%)	19	25	14

FE= Fertilización edáfica (160-120-60). FF= Fertilización foliar.
ns = no significativo.
Valores medios de los tratamientos 85FE + 15FF, 80FE + 20FF y 75FE + 25FF.

Fuente: Giskin *et al.* (1984).

Cuadro 7. Eficiencia de N aplicado al suelo y follaje antes de la floración (AFL) en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamientos	Rendimiento	Eficiencia
	kg ha ⁻¹	kg (kg N) ⁻¹
(00-60-30) FE	1602.3	
(30-60-30) FE	1690.9	2.9
(00-60-30) FE + (30N) AFL	2338.6	21.6

FE= Fertilización edáfica al momento de la siembra.
AFL= Nitrógeno foliar aplicado antes de la floración.
Fuente: Chonay (1981).

completar la dosis con 15, 20 y 25 % de fertilización foliar, comparado con 100 % de fertilización edáfica (Cuadro 6).

La eficiencia de aprovechamiento de un nutrimento se eleva al ser aplicado foliarmente. Así lo demostró Chonay (1981) al fertilizar el frijol

Cuadro 9. Rendimiento de maíz en grano (t ha⁻¹) con fertilización edáfica y foliar en un Andisol de Camébaro, Pátzcuaro, Mich.

Tratamientos	Rendimiento grano	Incremento [†]	Incremento medio
	t ha ⁻¹	- - - - - % - - - - -	
(110 - 100) FE + (NPK) FF + (EM) FF	3.805	13.31	
(55 - 50) FE + (NPK) FF + (EM) FF	3.415	14.21	
(27.5 - 25) FE + (NPK) FF + (EM) FF	2.990	29.76	26.76
(0 - 0) FE + (NPK) FF + (EM) FF	1.932	49.76	
(110 -100) FE + (NPK) FF	3.560	6.01	
(55 - 50) FE + (NPK) FF	3.105	3.84	
(27.5 - 25) FE + (NPK) FF	2.792	21.12	17.72
(0 - 0) FE + (NPK) FF	1.805	39.92	
(110 - 100) FE	3.358	160.31 [‡]	
(55 - 50) FE	2.990	131.78 [‡]	
(27.5 - 25) FE	2.305	78.68 [‡]	
(0 - 0) FE	1.290	0.00	
CV(FF)	17.00%		

[†] Incremento por fertilización foliar con respecto a la fertilización edáfica (FE) para cada nivel correspondiente.

[‡] Incremento por fertilización edáfica (FE) con respecto al (0 - 0) FE.

Fuente: Pérez-I. (1988).

Cuadro 8. Eficiencia de N aplicado al suelo y follaje al llenado de grano (LLG) en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Tratamiento	Rendimiento	Eficiencia
	kg ha ⁻¹	kg (kg N) ⁻¹
(00-60-30)FE	1511.3	
(30-60-30)FE	1690.9	5.9
(00-60-30)FE + (30N)LLG	2784.8	42.4

FE= Fertilización edáfica al momento de la siembra.
LLG= Nitrógeno foliar aplicado en la etapa de llenado de grano.
Fuente: Chonay (1981).

(*Phaseolus vulgaris* L.) al suelo y follaje. Al aplicar 30 kg de nitrógeno como urea al suelo, cada kg de nitrógeno incrementó 2.9 kg de grano, mientras que aplicando foliarmente la misma cantidad de nitrógeno como urea a 4 %, hubo un rendimiento de 24.5 kg de grano por cada kg de nitrógeno aplicado, aumentando 8.5 veces la eficiencia en el aprovechamiento del nutrimento (Cuadro 7). La aplicación de 30 kg de nitrógeno al follaje en el llenado de grano fue mucho más eficiente (42.4 kg de grano por cada kg de nitrógeno) que la aplicación de esa misma cantidad de nitrógeno al follaje antes de la floración (Cuadro 8).

Pérez (1988) reportó un incremento promedio de 17.7 % al aplicar tres aspersiones de NPK foliarmente a partir de una fórmula con 21 % de N, 3 % de P, 3 % de K, y 26.7 % más elementos menores (Cuadro 9). Esto indica una respuesta a la aplicación foliar de elementos menores. Otro dato importante que se observa en el mismo cuadro, es un incremento de

Cuadro 10. Tipos de sales y concentración de fertilizantes foliares de Nutrición Vegetal, Colegio de Postgraduados.

Sales	FF NV1	FF NV2	FF NV3
	Conc. Sol.	Conc. Sol.	Conc. Sol.
	----- % -----		
Ca(NO ₃) ₂	0.2		
NH ₄ NO ₃	0.2	0.2	0.1
KNO ₃	-	0.3	0.2
Urea	-		0.2
KH ₂ PO ₄	0.2	0.2	0.2
MgSO ₄	0.1	-	-
H ₃ BO ₃	0.05	0.05	0.05
MnSO ₄	0.05	0.05	0.05
CuSO ₄	0.05	0.05	0.05
ZnSO ₄	0.05	0.05	0.05
FeEDTA	0.1	0.1	0.1

- No se aplicó en la formulación.

FF= Fertilizante foliar.

Fuente: Rodríguez, 1997.

rendimiento por concepto de fertilización foliar a bajos niveles de fertilización edáfica.

Tal parece que los fertilizantes foliares que llevan una solución nutritiva completa influyen más en el incremento global de rendimiento de un cultivo que cuando se aplican sólo 2 ó 3 nutrientes.

Rodríguez (1997) probó tres fertilizantes foliares en el cultivo de tomate que contenía todos los nutrientes esenciales; NV1 a diferencia de NV2 y NV3, contenía calcio y magnesio (Cuadro 10).

El mayor rendimiento se obtuvo en tepetate con el fertilizante foliar NV3, que carece de calcio y magnesio y que posiblemente fueron abastecidos por el tepetate que es rico en calcio (Figura 3). En este

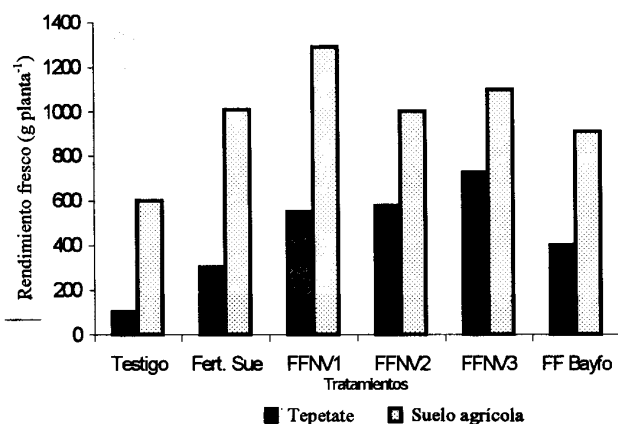


Figura 3. Rendimiento de tomate fresco con fertilización edáfica y foliar en dos tipos de sustrato (tepetate y suelo agrícola) (Rodríguez, 1997).

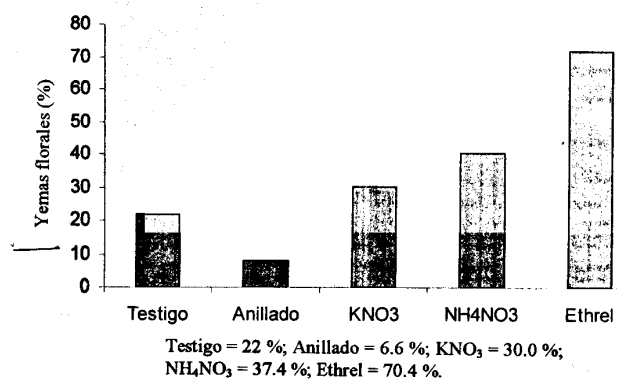


Figura 4. Diferentes tratamientos foliares para forzar la floración de mango en Cotaxtla, Ver. (Osuna, 1998).

trabajo se encontró que hubo un incremento de rendimiento de 21 % con la fertilización edáfica y foliar en comparación con sólo la fertilización edáfica.

La fertilización foliar también se ha utilizado para acelerar el proceso fisiológico de algunos árboles frutales, como en el caso del mango. Osuna (1998) reporta que con aplicaciones de nitrato de potasio a 4 % o nitrato de amonio a 2 % aplicados foliarmente, aceleran la brotación de yemas florales en comparación al testigo, que influye en un adelanto en la cosecha de fruta ganando mejores precios en el mercado. Sin embargo, estas sales presentan ciertas desventajas en relación con el Ethrel, que es un producto comercial formulado para este propósito (adelantar la brotación de yemas florales) (Figura 4).

Los trabajos de fertilización foliar deben ser avalados o soportados por un análisis económico para conocer su rentabilidad, que sin duda dependerá del cultivo que se está fertilizando, desde el punto de vista de su remuneración.

Analizando los datos de Rodríguez (1997) (Cuadro 11) se estima que el costo de fertilización foliar por hectárea, asciende a \$ 7000.00 aproximadamente, incluyendo equipo, fertilizantes, jornales de

Cuadro 11. Análisis económico del cultivo de tomate por concepto de fertilizante foliar.

Concepto	Beneficio
1. Costo de FF por hectárea	\$ 7000.00
2. Incremento de rendimiento por hectárea por FFF	6000kg (21.7 %)
3. Costo de tomate fresco por tonelada	\$ 3000.00
4. Ingreso total	\$ 18000.00
5. Ingreso neto	\$ 11000.00
6. Tasa de retorno	157 %

trabajo. Con ello se logra un incremento de rendimiento de 21.7 % que equivale a 6 toneladas de tomate por hectárea. Considerando que el precio de tomate fresco por tonelada es de \$ 3000.00, se tendría un ingreso total de \$ 18 000.00 por concepto de incremento de rendimiento. Restándole a este ingreso el costo de fertilización, se logra un ingreso neto de \$ 11 000.00, que equivale a una tasa de retorno de 157 %, es decir, por cada \$ 100.00 invertidos, se están ganando \$ 157.00 por concepto de fertilización foliar.

CONCLUSIONES

Se puede recalcar, que la fertilización foliar es una realidad en la nutrición de los cultivos y que esta práctica, utilizada convenientemente, optimiza la capacidad productiva de las cosechas tanto de gramíneas, leguminosas, hortalizas, plántulas de vivero, frutales y especies forestales. La fertilización foliar, entonces, es realmente un apoyo o respaldo a la fertilización edáfica para sobrepasar los rendimientos subóptimos.

LITERATURA CITADA

- Bear, F.E. 1965. Chemistry of soil. Second Edition. Reinhold Publishing Corporation. New York, N.Y. USA.
- Bidweil, R.G.S. 1979. Plant physiology. MacMillan Publishing Co, Inc. New York, N.Y. USA.
- Cardona B., D.J. 1988. Fertilización edáfica y foliar en Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) tipo mercado. Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Montecillo, Méx.
- Chonay P., J.J. 1981. Efecto de la fertilización foliar sobre la compensación de la fijación biológica de nitrógeno por *Rhizobium phaseoli* en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Chapingo, Méx
- Eibner, R. 1986. Foliar fertilization, importance and prospects in crop production. pp. 3-13. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Franke, W. 1986. The basis of foliar absorption of fertilizers with special regard to the mechanism. pp. 17-25. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. pp. 205-211. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- García H., E. del R. y C.B. Peña V. 1995. La pared celular, componente fundamental de las células vegetales. UACH. Primera Edición. México, D.F.
- Giskin, M.L., A. Trinidad S. y J.D. Etchevers. 1984. Can the foliar application of essential nutrients decrease fertilizer inputs? Act. VI. International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition. Vol. 1:239-242. Montpellier, France.
- Johnson, M.O. 1916. The spraying of yellow pineapple on manganese soil with iron sulfate solutions. Hawaii Agr. Expt. Sta. Press Bull. 51.
- Jyung, W.H. y S.H. Wittwer. 1964. Foliar absorption-an active uptake process. Amer. J. Bot. 51: 437-444.
- Kovacs, G. 1986. The importance of environmental, plant and spray characteristics for any foliar nutrition programme to be successful. pp. 26-43. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Leece, D.R. 1976. Composition and ultrastructure of leaf cuticles from fruit trees, relative to differential foliar absorption. Austral. J. Plant Physiol. 3: 833-847.
- Malavolta, E. 1986. Foliar fertilization in Brazil.- Present and perspectives. pp. 170-192. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.
- Osuna E., T. 1988. Anatomía y fisiología de la floración forzada en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Manila. Tesis Doctoral. EFRUT-IREGEP-CP. Montecillo, Méx.
- Pérez I., C. 1988. Fertilización foliar de macro y micronutrientes en un Andosol de la Sierra Tarasca, Michoacán. Tesis de M. en C. CEDAF-CP. Montecillo, Méx.
- Plancarte M., I. 1971. Fertilización fosfatada al suelo y follaje de maíz en dos suelos de Ando bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. ENA. Chapingo, Méx.
- Reed, D.W. y H.B. Tukey, Jr. 1978. Effect of pH on foliar absorption of phosphorus compounds by chrysanthemum. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 337-340.
- Rodríguez M., Ma. de las N. 1997. Fertilización foliar en el cultivo de tomate en condiciones de invernadero. Tesis Doctoral. EDAF-IRENAT-CP. Montecillo, Méx.
- Swietlik, D. y M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. pp. 287-355. In: J. Janik (ed.). Horticultural reviews. Vol. 6. AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. USA.
- Tisdale, S.W., W.L. Nelson y J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. MacMillan Publishing Co. New York, NY. USA.
- Trinidad S., A., R. Núñez E y F. Baldovinos de la P. 1971. Aplicaciones foliares de Fe, Mn, Zn y Cu en los árboles de durazno. Memorias del V Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Guadalajara, Jal.