

## EVALUACION DEL FOSFITO COMO FUENTE FERTILIZANTE DE FOSFORO VIA RADICAL Y FOLIAR

Floria Bertsch, Floria Ramírez y Carlos Henríquez<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se realizaron evaluaciones sobre la capacidad que tienen las formas reducidas de P (fosfitos) para suplir las necesidades nutricionales de tres cultivos, lechuga, tomate y banano, bajo las dos modalidades de absorción, radical y foliar. Se comparó la efectividad relativa del fosfito con respecto al fosfato como fuente de P vía raíz, a través del crecimiento y absorción del elemento por los tres cultivos, creciendo bajo condiciones de invernadero en soluciones nutritivas sin P, con fosfito, con fosfato y con ambos, todos ellos calidad reactivo. Bajo las mismas condiciones, sobre soluciones nutritivas exentas de P, se comparó el suplemento de P vía foliar y su efecto sobre el crecimiento y absorción a partir de cuatro fuentes comerciales y dos de calidad reactivo, una de fosfitos y otra de fosfatos, en los mismos tres cultivos.

En el primer ensayo (absorción vía raíz), los resultados obtenidos demuestran claramente que, el P en forma de fosfito aplicado como ácido fosforoso calidad reactivo a la solución nutritiva, resulta una forma no utilizable por parte de la planta, y que tiende a causar daño. Además, el suplemento de P vía raíz por medio de fosfitos produce síntomas visuales de deficiencia del elemento (coloración morada, deformaciones de las hojas, retrasos en floración de tomate, etc). El efecto de los fosfitos aplicados a la solución nutritiva depende de la especie; afecta las raíces en tomate y lechuga, y el follaje en banano y lechuga. La combinación de ambas fuentes (fosfitos y fosfatos) como suplemento de P vía raíz, promovió una mayor absorción total de este elemento por parte de las plantas, especialmente en tomate; sin embargo, las determinaciones efectuadas en este experimento no permitieron identificar la forma química específica en que se encuentra ese fósforo dentro de la planta.

De los resultados obtenidos en el segundo ensayo al suplir vía foliar diferentes fuentes de P (fosfitos comerciales y fosfatos y fosfitos calidad reactivo), a los tres cultivos creciendo en soluciones nutritivas carentes de P, se demuestra una vez más que resulta imposible llenar las necesidades de P de un cultivo con suplemento estrictamente foliar. Por otro lado, bajo condiciones de carencia del elemento vía raíz, los productos comerciales a base de fosfitos evaluados como fuentes de P vía foliar no contribuyen en forma significativa al crecimiento de los cultivos; tampoco atenúan la expresión de deficiencia del elemento, ni mejoran la absorción de este nutrimento en el follaje de manera estadísticamente importante. Las aplicaciones intensivas de fuentes de fosfitos vía foliar sin un suplemento adecuado de P vía raíz, pueden intensificar el deterioro del follaje y la raíz.

El efecto sinérgico de la aplicación vía raíz de fosfatos y fosfitos, así como la respuesta a los fosfitos foliares en condiciones de adecuado suplemento de fosfatos vía raíz, ya sea aportado a través de una solución nutritiva en condiciones hidropónicas o por medio del suelo, requieren ser estudiados con mayor profundidad.

### INTRODUCCION

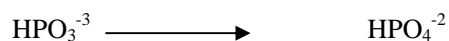
#### Formas de P absorbidas vía raíz

La forma convencional de las plantas de absorber P son los fosfatos. Actualmente existen varios productos químicos de uso agrícola, que han sido presentados como fertilizantes para suplemento de P principalmente vía foliar y que utilizan como fuente primaria de este elemento, formas reducidas tales como los fosfitos en forma de fosfonatos de K. A estos productos se les reconoce en forma generalizada

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Correo electrónico: [fbertsch@cariari.ucr.ac.cr](mailto:fbertsch@cariari.ucr.ac.cr)

su efecto fungicida sobre oomicetes, de los cuales *Phytophthora* es el género más importante, sin embargo, sobre su efecto fertilizante lo que se ha demostrado es poca o ninguna acción (Förster y otros, 1998; Smillie y otros, 1989; Orbovic y otros, 2008).

Algunos estudios han corroborado que las formas más reducidas de  $\text{PO}_4^{-2}$  no son aprovechables directamente por las plantas y que más bien requieren de un proceso de oxidación previo para que su absorción y aprovechamiento por la planta realmente ocurra (Marschner, 1996; MacIntire, 1950; McDonald y otros, 2001).



Mansour (1995) no encontró ninguna respuesta o aumento en rendimiento o en contenido foliar de P en brócoli y cebolla, al aplicar un producto comercial foliar cuya fuente de P eran fosfitos. Resultados similares fueron obtenidos por Förster y colaboradores (1998) y Adamowicks y colaboradores (1996) en los cultivos de tomate y chile. Lovatt (1990) logró superar deficiencias de P con fosfitos foliares en aguacate de vivero.

Pese a lo anterior, es importante hacer la aclaración de que en el suelo esta oxidación y la consecuente transformación de fosfitos a fosfatos, puede ocurrir bajo ciertas circunstancias y en forma lenta (McDonald y otros 2001). Este fenómeno ocurre con mayor probabilidad en el suelo que bajo otras condiciones como cultivo hidropónico, en el aire, etc. Alexander (1977) anota que se le ha brindado poca atención a las transformaciones REDOX de P, reacción que es catalizada principalmente a través de mecanismos bioquímicos (Mitchell y otros, 2004), o sea mediante actividad microbial (Adams y Conrad, 1953). La habilidad de utilizar el fosfito como fuente de P y oxidarlo, parece ser una característica que poseen solo algunos microorganismos como bacterias heterotróficas, hongos y actinomocetes (Alexander, 1977).

Aunque hay reportes de otras latitudes que señalan la limitada capacidad como suplemento nutricional de los fosfitos (Adamowicks y otros, 1996; Wells y otros, 2000; Landschoot y Cook, 2007), los estudios en soluciones nutritivas son bastante más escasos (Förster y otros, 1998), y bajo condiciones locales, no existe ningún experimento que evalúe su comportamiento como fertilizante vía raíz o foliar.

### Capacidad de llenar los requerimientos de P vía foliar

El P al igual que otros elementos como el N y K, es considerado como macroelemento, aunque las cantidades absorbidas son comparativamente menores a las de estos otros nutrientes. Pese a esto, los kg/ha de P absorbidos por la mayoría de cultivos, constituyen una cantidad respetable en términos de absorción total.

Tradicionalmente se ha hecho énfasis en la alta cantidad de procesos que ocurren en el suelo, y que dificultan, en muchos casos, la disponibilidad del P para la planta. Lo anterior ha influenciado la idea de promover la incorporación de P vía foliar, en forma poco discriminada. Adicionalmente, se sabe que, en términos fisiológicos, el P es un elemento altamente móvil en la planta y que su translocación ocurre principalmente vía floema (Barel y Black, 1979).

Marschner (1995) apunta que desde el punto de vista nutricional y bajo condiciones normales de crecimiento, las tasas de absorción de elementos por las hojas son mucho más bajas que por la raíz. También menciona, al igual que Kannan (1986), que el estado nutricional de la planta incide directamente sobre la tasa de absorción vía foliar. Con lo anterior se puede suponer que es poco probable que los requerimientos de P puedan ser llenados por aplicaciones vía foliar en forma exclusiva. A diferencia de lo apuntado anteriormente, algunos autores han encontrado efectos positivos en rendimiento, debido a aplicaciones de productos sintéticos de P (Barrel y Black, 1979a, 1979b).

El objetivo general de este estudio fue el de evaluar la capacidad que tienen las formas reducidas de P (fosfitos) para suplir las necesidades nutricionales de tres cultivos bajo las dos modalidades de absorción: radical y foliar.

**Se plantearon dos ensayos con objetivos muy concretos:**

El primero, consistió en comparar la efectividad relativa del fosfito con respecto al fosfato como fuente de P vía raíz, a través del crecimiento y absorción del elemento por tres cultivos, en solución nutritiva bajo condiciones de invernadero, y el segundo, comparar el suplemento de P vía foliar proveniente de cuatro fuentes comerciales de fosfitos y dos calidad reactivo (una de fosfitos y la otra de fosfatos) a través del crecimiento y absorción de P por los mismos tres cultivos en solución nutritiva carente de P, bajo condiciones de invernadero.

**MATERIALES Y METODOS**

**Sistema hidropónico**

Se establecieron dos ensayos bajo condiciones de invernadero con fosfatos y fosfitos utilizando la técnica de cultivo hidropónico, en tres cultivos: lechuga, tomate y banano. Los almácigos utilizados para los tres cultivos fueron muy homogéneos entre sí, como se puede comprobar en la Tabla 1, en el que se anotan las características iniciales de tamaño, peso y área foliar de las plantas utilizadas en los dos ensayos.

Las plántulas fueron instaladas en el sistema hidropónico con una edad aproximada de 20, 49 y 51 días, para lechuga, tomate y banano, respectivamente, considerando que tuvieran un porte adecuado para manejarlas bajo ese sistema.

Se utilizaron baldes plásticos de 5 L con tapa de estereofón y bombeo de aire suplementado por medio de compresores pequeños. La concentración de la solución nutritiva utilizada se presenta en la Tabla 2, la cual únicamente fue modificada en el caso de los tratamientos sin P, y en el segundo ensayo para Fe, en el que se decidió aplicar el doble.

**Tabla 1.** Características iniciales promedio de las plantas de lechuga, tomate y banano utilizadas. La variedad aparece entre comillas.

ENSAYO I	Lechuga "Boston"		Tomate "Hook"		Banano "Gran Enano"	
	Prom	IC $\alpha=0.05$	Prom	IC $\alpha=0.05$	Prom	IC $\alpha=0.05$
<b>VARIABLES</b>						
Peso fresco foliar (g)	0.843	± 0.035	3.04	± 0.152	5.97	± 0.89
Peso seco foliar (g)	0.042	± 0.004	0.186	± 0.024	0.296	± 0.061
Humedad foliar (%)	95	± 0.4	94	± 0.6	95	± 0.4
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	23.95	± 1.64	54.67	± 3.75	88	± 10
Razón de área foliar	578	± 29	298	± 22	303	± 50
Peso fresco raíz (g)	0.411	± 0.034	1.038	± 0.170	1.19	± 0.26
Peso seco raíz (g)	0.021	± 0.003	0.046	± 0.006	0.053	± 0.016
Humedad de raíz (%)	95	± 0.5	95	± 1.2	96	± 0.4
Raíz/follaje	0.50	± 0.05	0.248	± 0.054	0.177	± 0.034
ENSAYO II	Lechuga I "Americana"	Lechuga II "Americana"	Tomate "Hook"	Banano "Williams"		

VARIABLES	IC $\alpha=0.05$	IC $\alpha=0.05$	IC $\alpha=0.05$	IC $\alpha=0.05$
Peso fresco follaje (g)	1.65 ± 0.17	1.010 ± 0.115	1.179 ± 0.083	4.59 ± 0.50
Peso seco follaje (g)	0.076 ± 0.00	0.047 ± 0.006	0.132 ± 0.015	0.198 ± 0.029
Humedad follaje (%)	95 ± 0.2	95 ± 0.4	89 ± 0.7	96 ± 0.2
Peso fresco raíz (g)	0.622 ± 0.05	0.450 ± 0.084	0.586 ± 0.069	1.860 ± 0.352
Peso seco raíz (g)	0.020 ± 0.00	0.021 ± 0.006	0.038 ± 0.005	0.072 ± 0.020
Humedad de raíz (%)	97 ± 0.3	95 ± 0.6	93 ± 0.3	96 ± 0.5
Raíz/follaje	0.265 ± 0.02	0.440 ± 0.078	0.290 ± 0.016	0.356 ± 0.061

IC = intervalo de confianza

**Tabla 2.** Concentración de nutrimentos en la solución nutritiva completa.

ppm													
N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N	P	K	Mg	Ca	S	Mn	Fe	Cu	Zn	B	Mo
11	189	200	60	300	50	100	67	1.14	2.14	0.10	0.23	0.50	0.03

## TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

### I ENSAYO: Evaluación vía raíz

En este primer ensayo se utilizaron los siguientes tratamientos:

1. Solución nutritiva **sin P (-P)**.
2. Solución nutritiva completa con 60 ppm de P suplido como **ácido fosforoso calidad reactivo (fosfitos) (P3)**.
3. Solución nutritiva completa con **50% P suplido como ácido fosfórico y 50% como ácido fosforoso (P3P4)**.
4. Solución nutritiva completa con 60 ppm de P suplido como **ácido fosfórico calidad reactivo (fosfatos) (P4)**.

Al utilizar ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y ácido fosforoso (H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>) para suplir fosfatos y fosfitos, respectivamente, el pH de la solución nutritiva debió ser ajustado con NaOH hasta, aproximadamente, 5.7-5.8, valor que presentó el tratamiento sin P. Se utilizaron para cada cultivo un total de 8 repeticiones, en donde cada unidad experimental consistió de una maceta con tres plantas cada una (Figura 1). Se implementó un diseño de Bloques Completos al Azar.

### II ENSAYO: Evaluación vía foliar

En el segundo ensayo se utilizaron los siguientes tratamientos:

1. Solución nutritiva completa (**P4**).
2. Solución nutritiva sin P (**-P**).
3. Solución nutritiva sin P más fosfatos (ácido fosfórico) vía foliar (**P4f**).
4. Solución nutritiva sin P más Nutriphite (fosfonato de K) vía foliar (**NPf**).
5. Solución nutritiva sin P más Phyto's-K (fosfonato de K) vía foliar (**PKf**).
6. Solución nutritiva sin P más Aliete (fosetil-Al) vía foliar (**Af**).
7. Solución nutritiva sin P más fosfito (ácido fosforoso) vía foliar (**P3f**).

Todos los productos foliares se prepararon inicialmente a una concentración de 4000 ppm de P (4000 mg/L ó 0.4%), la cual fue modificada seguidamente a 2000 y finalmente a aproximadamente 1000 ppm de P, debido a la quema inicial que se provocó en la Lechuga I. El objetivo era aportar vía foliar una cantidad semejante o al menos comparable a la aplicada en la solución nutritiva vía raíz, distribuida en un elevado número de aplicaciones. Con 5 aplicaciones de 4 ml/maceta de un producto foliar a 4000 ppm de P se suplirían aproximadamente 80 mg de P. Esta cantidad representaría un tercio del P suplido vía raíz por 4 L de solución nutritiva por maceta en los tratamientos con P de la fase I (240 mg P/maceta, Tabla 3). Como se verá más adelante fue imposible alcanzar con aplicaciones foliares la cantidad propuesta.

Otro criterio que se consideró para estimar el suplemento foliar fue la absorción máxima de P que hicieron los cultivos durante el Ensayo I. El banano fue el cultivo que más P absorbió y este valor correspondió, considerando la parte aérea y la raíz, a aproximadamente 60 mg/maceta con 3 plantas.

Para la aplicación foliar, se calibró un atomizador manual de manera que, se descargaran aproximadamente 4 ml/maceta/aplicación. Al asperjar 1 ml de una solución de 1000 ppm se aplica 1 mg de P. Durante la aplicación se colocaron barreras entre tratamientos, para evitar la contaminación por deriva. Las aplicaciones foliares fueron iniciadas una semana después del transplante de los almácigos a las macetas hidropónicas.

Para este ensayo se utilizaron para cada cultivo un total de 4 repeticiones, en donde cada unidad experimental consistió de una maceta con 3 plantas cada una. Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar.

**Tabla 3.** Características de los productos foliares aplicados en el ensayo II.

**a) Información suministrada por la etiqueta de los productos comerciales y dosis comparadas**

Producto Comercial (PC)	Dosis Recomendada		Cultivos	
	Etiqueta	Por litro	Registrados	Frecuencia
Nutri-Phite	1-3 L/ha*	5-15 ml/lL	Tomate	10-15 días
	2-5 L/ha*	10-25 ml/L	Banano	Mensualmente
Phyto´s K	150-250 cc/100 L	2 ml/L	Tomate	tanto como
	200-300 cc/100 L	2,5 ml/L	Banano	sea necesario
Aliette	2.5 kg/ha en 300 L	8,3 g/L	Lechuga	4-5 aplic./ciclo
	4-5 kg/ha en 1000 L	4-5 g/L	Otros	2 aplic./ciclo

\* Se asumen 200 L de agua / ha

**b) Características de las soluciones utilizadas para las aplicaciones foliares**

Nombre	Fórmula	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en PC	Dosis de PC		pH Final	ppm P*
			pH Inicial	pH Final		
Fosfato	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	86 p/v	2.2 ml/L	1.0	3.97**	867
Nutri-Phite	0-28-26	39 p/v <sup>1</sup>	5.8 ml/L	6.12	6.21	1133
Phyto´s-K	0-30-20	42 p/v <sup>2</sup>	5.5 ml/L	4.87	4.91	1100
Fosetil-Al	Al(C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> PO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	48 p/p	4.8 g/L	3.40	3.47	1067
Fosfito	H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	85 p/p	3.1 g/L	1.35	4.91**	1233

\* Concentración de P determinada en las soluciones de atomización digeridas según el método descrito

\*\* pH de la solución ajustado con NaOH. <sup>1</sup> Densidad 1.39 g/ml <sup>2</sup> Densidad 1.4 g/ml

**Método de determinación de P:** La manera usual de determinar P (Henríquez y otros 1998) tiene un fundamento colorimétrico que actúa sobre la forma  $PO_4^{-2}$  (ortofosfatos). Esta metodología utiliza el ácido sulfomolibdico para formar un complejo con las formas fosfóricas presentes, que luego, al combinarse con cloruro estañoso, como solución reductora, genera una coloración azul (producto del Azul de Mo) proporcional a la concentración de fosfatos acomplejados, que es susceptible de ser medida en el espectrofotómetro de luz.

Las formas fosforosas de P ( $PO_3^{-3}$ ), al estar reducidas, no pueden ser determinadas por este método de colorimetría tradicional, por lo que en las soluciones que contenían fosfitos se procedió, previo a su determinación, a efectuar una oxidación fuerte de la muestra, a través de la digestión con una mezcla de los ácidos nítrico y perclórico (relación 5:1). Esta metodología permitió que las formas reducidas pasaran a fosfatos, y de esta manera se convirtieran en formas determinables por los métodos de rutina (Henríquez y otros 1998).

Como se puede observar en la Tabla 3, el elemento P analizado mediante la digestión oxidativa con mezcla nitroperclórica se encontraba en concentraciones elementales comparables en todas las soluciones asperjadas.

### VARIABLES EVALUADAS

Además de las variables comunes de Peso Fresco (PF), Peso Seco (PS) y Área Foliar, se calculó el índice de Crecimiento Relativo (ICR) que permite relativizar, en función del tamaño inicial, el crecimiento manifestado por las plantas en cada uno de los tratamientos.

Los índices y su forma de calcularlos se presentan a continuación:

$$ICR = \text{Índice de crecimiento relativo} \quad ICR = \frac{PS_{final} - PS_{inicial}}{PS_{final}}$$

En el caso de lechuga, también se efectuaron mediciones de área foliar, que se expresaron a través del siguiente índice:

$$RAF = \text{Razón de área foliar (cm}^2\text{/g)} \quad RAF = \frac{\text{área.foliar}}{\text{peso.seco}}$$

Adicionalmente se analizó el contenido de nutrimentos en el follaje y en la raíz, por los métodos convencionales (Henríquez y otros 1998); estas variables fueron relacionadas al peso seco y se cuantificó la cantidad de nutrimentos absorbida con especial énfasis en P.

### MANEJO COMPLEMENTARIO DE LOS EXPERIMENTOS

Durante el transcurso del primer experimento se efectuaron algunos complementos a la fertilización básica, con el fin de evitar la interferencia de otros factores nutricionales. A la solución nutritiva se le aplicó doble dosis de Fe, un adicional de 50 ppm de  $NH_4NO_3$ /pote a los 15 días a todos los cultivos, y un 10% más de la concentración de N, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn, a los 38 días a los cultivos de tomate y banano. Foliarmente, se realizó una aplicación generalizada de Nitrato de K (10 g/L), dos de Quelato de Fe (7.2% de Fe) (5 ml/L) y una más de Nitrato de Amonio (0.25%).

También, en el primer ensayo, en forma preventiva, se aplicó antibiótico (Cloranfenicol) a la solución nutritiva, sin embargo, en comparación con algunos testigos adicionales instalados colateralmente sin producto, no se presentaron diferencias que justificaran su uso en ensayos posteriores. También, para

prevenir *Botrytis*, a la instalación del ensayo, se aplicó Rovral (0.5 g/L) 3 veces a la lechuga (una vez/semana) y una vez a todo el experimento. A los 45 días, se aplicó Benlate para combatir un ataque de Mildiú Polvoso en las hojas bajas del tomate.

En el primer ensayo, el nivel de agua de las macetas se procuró mantener constante, de ahí que, con regularidad semanal, cada maceta se rellenó con agua destilada según las necesidades. En general, los tratamientos sin P y con fosfito fueron los que consumieron menos agua. Entre los tres cultivos, el tomate fue el que consumió más agua. Al mes se suspendió el bombeo de aire sin que se observaran repercusiones en el comportamiento de los cultivos.

En el segundo ensayo, debido a una reacción inicial negativa de las plantas de lechuga a las aplicaciones foliares durante la primera siembra, el material se cosechó a las 5 semanas y se procedió a sembrar nuevamente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### I ENSAYO

#### Evaluación de fosfatos y fosfitos para suplir la necesidad de P para las plantas vía raíz

##### Síntomas Visuales

A los 5 días de instalado el experimento comenzó a presentarse una clorosis fuerte en los ápices y las hojas jóvenes en tomate y lechuga, la cual se asoció con deficiencia de Fe. Se duplicó la dosis de Fe en la solución nutritiva y se efectuaron un par de aplicaciones de Quelato de Fe foliar y el problema desapareció en menos de 7 días.

A los 11 días después de la siembra, especialmente en lechuga ya era posible distinguir fuertes diferencias visuales entre tratamientos. Sin P y en solución con fosfito el crecimiento era mucho menor que en las condiciones con fosfato. A los 21 días, las plantas de lechuga que estaban creciendo en solución con fosfitos, en todas sus repeticiones, mostraban un severo deterioro que obligó a efectuar su cosecha.

Al mes, comenzó a notarse un conspicuo color morado en las venas de las hojas de tomate que estaban creciendo en soluciones sin P o con fosfito, característico de la deficiencia de este elemento (Wilcox, 1993). Este desarrollo de síntomas de deficiencia de P en plantas de tomate tratadas con fosfitos ha sido reportado previamente por Adamowicz y colaboradores (1996) y Förster y colaboradores (1998).

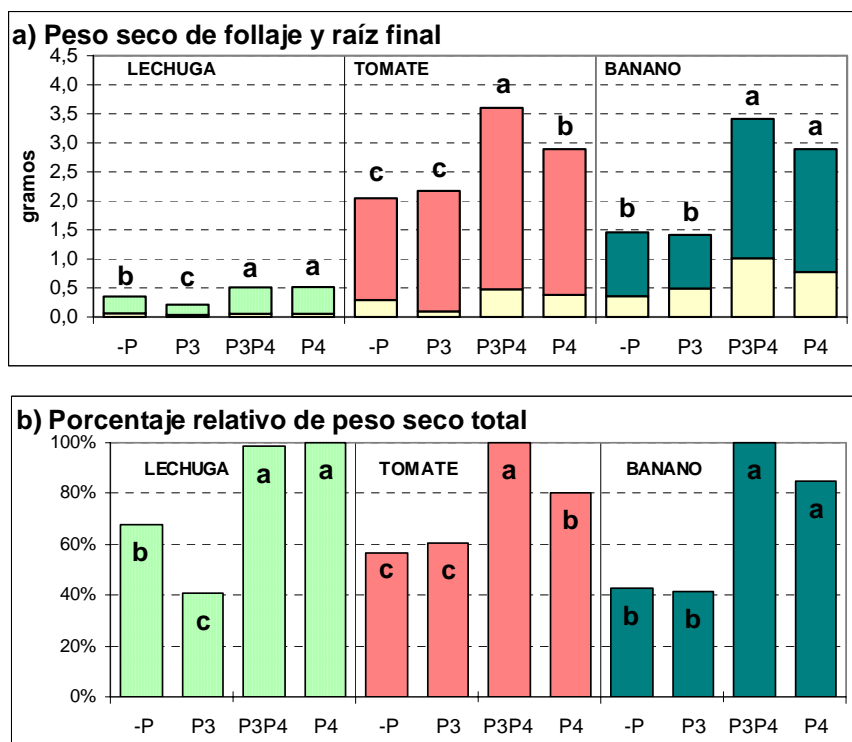
A los 27 días las plantas de todos los tratamientos presentaron flores abiertas, excepto aquellas que estaban en solución con fosfito (P3). En este último tratamiento las flores no se llegaron a abrir o lo hicieron muy tardíamente y las hojas del brote presentaron una disposición erecta particular, visiblemente diferente al convencional brote de tomate que tiende más bien a dejar caer sus hojas hacia abajo. Adamowicz y colaboradores (1996) quienes encontraron este mismo síntoma, sugieren que el fosfito puede estar actuando como un inhibidor de la transpiración, ya que el ángulo de la hoja depende de su turgencia.

De igual manera, las raíces y especialmente las de banano se vieron afectadas por la ausencia de P o por la presencia de fosfitos, condición en la que se presentaron coloraciones moradas en los ápices radicales.

**Peso Seco**

En la Figura 1 se presenta el peso seco final alcanzado por los tres cultivos al crecer en soluciones nutritivas sin P (-P), con fosfito (P3), con fosfato (P4) y con ambos (P3P4). Como se puede observar en la Figura 1a, la tendencia general para los tres cultivos, en follaje y raíz fue similar. Cuando las plantas crecieron en soluciones nutritivas con fosfato (P4 y P3P4) la acumulación de Peso Seco resultó significativamente mayor que en la solución sin P y con P3.

Dicho de otra manera, la ausencia de P como fosfato en la solución nutritiva ocasionó un efecto detrimental sobre el crecimiento de los tres cultivos, si se compara con el crecimiento de las plantas ante la adición normal de P como fosfato en su dosis completa y media. Al mismo tiempo, las plantas que crecieron en soluciones nutritivas con la forma fosforosa de P (fosfitos) mostraron un comportamiento similar al tratamiento carente de P.



**Figura. 1.** Peso seco promedio de tres cultivos en solución nutritiva con distintas fuentes de P. En la sección a) la parte inferior de cada barra corresponde a la raíz y la superior al follaje.

Esta reducida expresión de crecimiento en ambos tratamientos permite inferir que el fosfito representó para las plantas una situación muy similar a la condición de carencia del elemento, a partir de la cual no logró llenar sus necesidades de P adecuadamente.

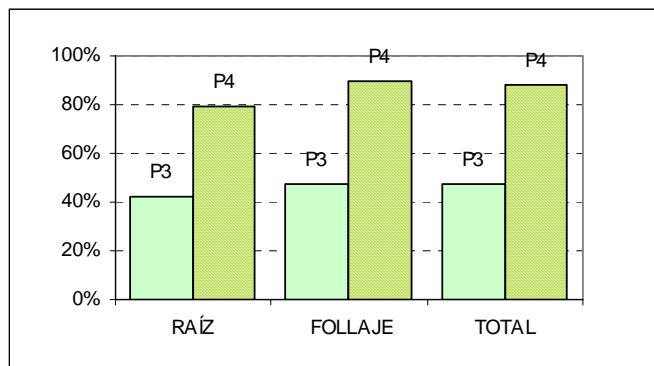
La baja acumulación de materia seca presentada por la lechuga (comparativamente a la lograda en la segunda fase del ensayo) se debe a que la cosecha se efectuó prematuramente (a las 3 semanas) dado el severo efecto negativo que comenzó a ejercer la solución de fosfitos sobre este cultivo.

Analizando los resultados en términos porcentuales del mejor tratamiento para cada cultivo (Figura 1b), se puede visualizar en una forma comparativa y más contundente, el efecto negativo del fosfito vía raíz sobre el peso seco total del tomate, el banano y la lechuga, con respecto a los tratamientos P4 y P3P4.



También, se puede observar una clara tendencia a que la combinación de ambas formas de P incluidas en la solución nutritiva en iguales concentraciones (30 ppm de cada una) produjera un efecto sinérgico.

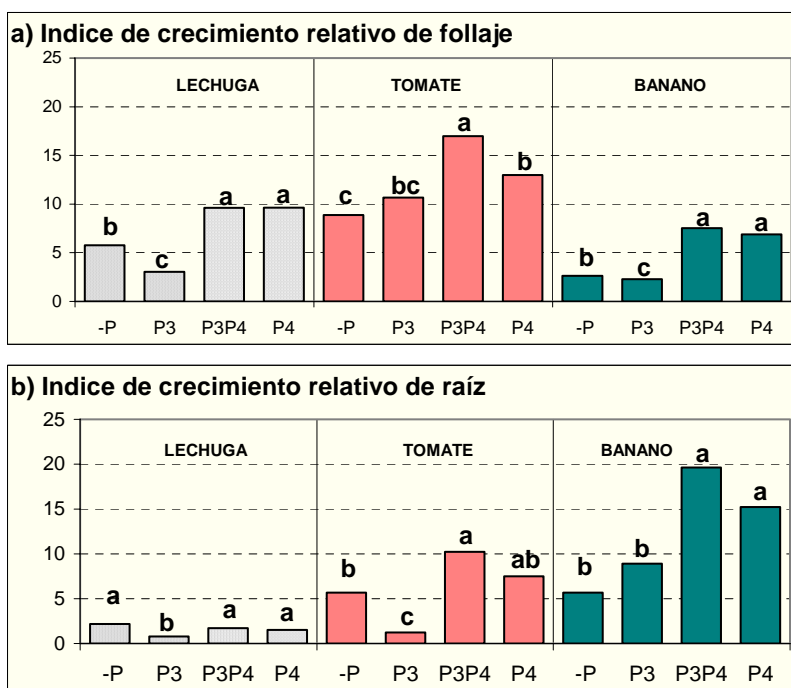
La Figura 2 compara nuevamente el efecto negativo del fosfito, como suplemento de P vía raíz, en relación al fosfato en forma porcentual y promedio para los tres cultivos, por órganos. Como se puede observar, tanto en la raíz como en el follaje con fosfito se acumuló la mitad de peso seco que con fosfato.



**Figura 2.** Porcentaje relativo de peso seco de cada órgano, promedio de los tres cultivos, con aplicación de fosfito y fosfato vía raíz.

### Índice de crecimiento relativo

Al expresar el crecimiento de cada tejido en referencia al peso inicial (Figura 3) se puede ver muy claramente que en el caso de la lechuga el fosfito vía raíz no sólo no suplió el P que la planta necesitaba, sino que su presencia afectó negativamente tanto a la raíz como al follaje.



**Figura 3.** Índices de crecimiento relativo de tres cultivos en solución nutritiva con distintas fuentes de P.

En el caso del tomate el efecto nocivo fue solo sobre la raíz y en el banano sobre el follaje. Esto demuestra que aunque se puede generalizar que el suplemento de P vía raíz con fuentes reducidas es negativo para las plantas, la forma en que ocurre esta repercusión depende de la especie.

Con este análisis también es posible detectar, en el caso específico del tomate, el efecto sinérgico que la combinación de ambas formas de P tuvo sobre el crecimiento. Algunos autores (Förster y otros 1998) han ligado este tipo de comportamientos al poder fungicida de los fosfitos. El sistema hidropónico no era aséptico y no se conoce la vida media del antibiótico utilizado, por lo que pudo haber habido contaminación con patógenos (aunque no se observaron daños evidentes), que fuera controlada por la forma fosforosa de P.

### Area Foliar

En términos de Area Foliar, en lechuga, (Tabla 3) los resultados evidencian un comportamiento similar al presentado por las variables anteriores; el mayor despliegue de área foliar total se obtuvo en los tratamientos con fosfato, la mitad en los sin fósforo y una cuarta parte en los tratamientos con fosfito vía raíz. Vistos como razón o sea la cantidad de área por cada g de peso de los tejidos existentes, las diferencias se establecen aún más claras entre los tratamientos. La razón de área foliar con fosfito (P3) en relación con la de fosfato (P4) fue casi de la mitad (58%), sin P correspondió con tres cuartas partes (74%) y con ambos fue de un 86%.

**Tablas 3.** Comportamiento del Area Foliar promedio de lechuga evaluada al cabo de 20 días de permanecer en solución nutritiva con distintas fuentes de P.

Variable	-P	P3	P3P4	P4	Probabilidad
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	104.24 b	52.93 c	204.30 a	222.02 a	0.0001
Razón de área foliar (cm <sup>2</sup> /g)	418.6 c	326.5 d	488.6 b	566.9 a	0.0001

Filas con letras iguales son estadísticamente similares según Duncan 0.05

### Concentración y Absorción de P

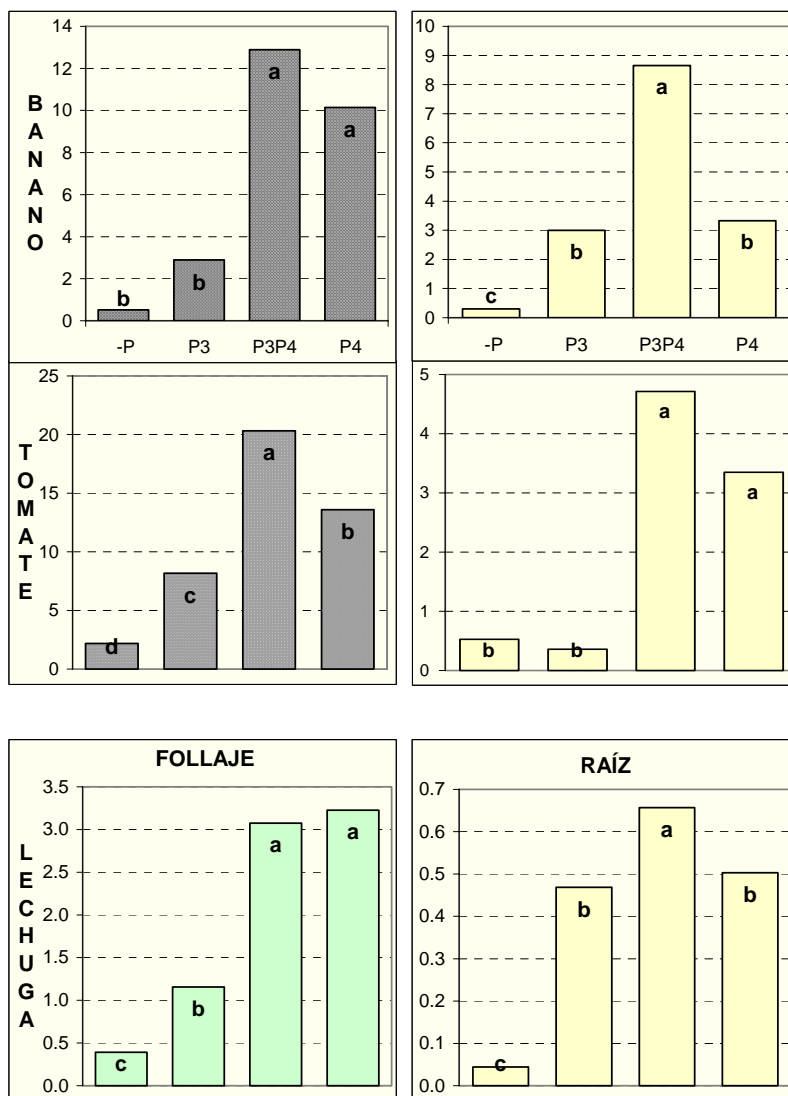
En la Tabla 4 se presentan las concentraciones y en la Figura 4 las cantidades de P que fueron absorbidas por los diferentes órganos de los cultivos durante el ensayo, mientras crecían en soluciones nutritivas con distintas fuentes de P.

**Tabla 5.** Concentraciones de P (%) en el follaje y la raíz de lechuga, tomate y banano, al inicio y final del ensayo con diferentes fuentes de P en la solución nutritiva.

Cultivo	Sección	Inicial	-P	P3	P3P4	P4
Lechuga	Follaje	0.56	0.22	0.80	0.73	0.75
	Raíz	0.58	0.25	1.57	1.37	1.16
Tomate	Follaje	1.23	0.25	0.50	0.72	0.63
	Raíz	0.72	0.29	0.68	1.05	0.96
Banano	Follaje	0.56	0.21	0.50	0.61	0.56
	Raíz	0.48	0.16	0.66	0.88	0.46

Las concentraciones de P, en términos generales, siguieron el siguiente comportamiento: con referencia a la concentración de las plantas iniciales, en los dos tejidos, el tratamiento sin P mostró valores

menores y en cualquiera de los otros tratamientos con fosfito o fosfato, las concentraciones subieron, con excepción del follaje de tomate. También en general, las raíces tendieron a subir más sus concentraciones que el follaje, lo que destaca la gran demanda energética de este órgano. Marschner (1998) apunta que bajo condiciones de deficiencia de P, la raíz se convierte en un sumidero de fotosintatos y P de la parte aérea.



**Figura 4.** Absorción de P (mg/planta) por el follaje y la raíz durante el período de crecimiento en invernadero en los tres cultivos.

Obviamente, en todos los casos (Figura 4), las absorciones que se produjeron en el tratamiento sin P tanto en follaje como en raíz fueron despreciables pues no hubo suplemento alguno de P. En el follaje de los tres cultivos, en el caso del fosfito (P3) vía raíz se puede observar que hubo un ingreso mayor del elemento que en el tratamiento sin P, sin embargo, éste siempre fue mucho menor que en los tratamientos con fosfato, correspondiendo a un 36% de la cantidad absorbida por el tratamiento P4 en lechuga, 60% en tomate y 28% en banano. En el caso del tomate, como ya se evidenció en Peso Seco, la

combinación de ambas fuentes mejoró la asimilación de P en una forma estadísticamente significativa (Adamowicks y otros 1996), y en banano se mostró una tendencia similar.

En la raíz la situación fue diferente. En primer lugar debe quedar claro que la cantidad de P consumida por este órgano, en las tres especies fue sustancialmente menor que lo consumido por el follaje. En el tratamiento que representa la condición normal, o sea con P4, el consumo hecho por la raíz correspondió a un 13, 20 y 26% del total absorbido, para lechuga, tomate y banano, respectivamente. Con fosfito vía raíz, el tomate no acumuló nada de P, probablemente por el daño de raíces que ya se mencionó, mientras que las raíces de lechuga y banano creciendo en solución con fosfito, acumularon tanto fósforo total como las que crecieron en fosfato, al punto que en el caso del banano incluso el acúmulo en la raíz fue mayor (55%) que en el follaje. Vale la pena recordar que la determinación de P en tejidos vivos corresponde a una medición total, que no permite establecer la forma química (fosfatos o fosfitos) que está presente dentro de los mismos. Estas observaciones sugieren que las formas reducidas de P (fosfitos) podría ser que ingresen a la planta vía raíz, pero se acumulen allí sin trasladarse, y por lo tanto, no necesariamente cumplan funciones nutricionales. En relación a lo anterior, las condiciones de este ensayo no permiten ir más allá de estas especulaciones.

### Conclusiones del I Ensayo

Con los resultados obtenidos y analizados en el Ensayo I, se demuestra claramente que, el fosfito aplicado como ácido fosforoso calidad reactivo **vía raíz** a la solución nutritiva a una concentración de 60 ppm, resulta una forma no utilizable nutricionalmente por parte de los tres cultivos utilizados, y que más bien les causa daño.

El suplemento de P vía raíz por medio de fosfitos produce síntomas visuales de deficiencia del elemento (coloraciones, deformaciones particulares, retrasos fisiológicos, etc).

El efecto de los fosfitos como suplemento de fósforo vía raíz, es diferencial según la especie. Afecta raíces en tomate y lechuga y el follaje en banano y lechuga.

Finalmente la combinación de ambas fuentes (fosfitos y fosfatos) como suplemento de P vía raíz, promovió una mayor absorción total de este elemento por parte de las plantas, especialmente en tomate.

## II ENSAYO

Evaluación de cinco fuentes comerciales y técnicas de fosfatos y fosfitos para suplir la necesidad de P para las plantas vía foliar

### Síntomas Visuales

En este ensayo, la lechuga I se tuvo que cosechar mucho antes de lo previsto debido a una progresiva quema de follaje causada por las primeras soluciones aplicadas foliarmente (de todos los productos), que resultaron excesivamente concentradas para las condiciones del experimento (4000 ppm) bajo invernadero. Vale la pena señalar que solamente el Aliette es recomendado para lechuga bajo condiciones de campo.

Lo anterior sugiere la poca tolerancia que tiene la planta de lechuga en particular, a la carencia de P en la solución nutritiva y a un excesivo plan de aplicaciones foliares. No obstante, los síntomas de quema frente a las primeras aplicaciones foliares concentradas no sólo afectaron a la lechuga, sino que los otros cultivos, tomate y banano también los presentaron, especialmente frente al tratamiento de fosfato foliar.

El efecto de quema por parte de formas ortofosfóricas de P vía foliar ha sido ampliamente corroborado por Barel y Black (1979a y 1979b), quienes apuntan que tradicionalmente el P no ha sido aplicado

foliarmente por dos razones principales: su buena absorción radical y la carencia de un compuesto que pueda ser aplicado a las hojas en suficiente cantidad para llenar los requisitos de P sin producir daño secundario debido a su aplicación.

En este ensayo, las concentraciones aplicadas como ácido fosfórico calidad reactivo variaron de 0.1 a 0.4% de P. Barel y Black (1979a) encontraron una tolerancia a concentraciones de 0.5% y 0.4% de P (suministrado como ortofosfato) para maíz y soya, respectivamente.

La quema se debió a que esta solución foliar se preparó a partir de ácido fosfórico calidad reactivo, con pH ajustado con NaOH y no se le agregó ningún tipo de coadyuvante. En el mercado existe una amplia gama de fertilizantes foliares a base de fosfato debidamente acondicionados que no ocasionan este tipo de problema en aplicaciones de campo.

Este daño condujo a la dilución inmediata de las soluciones de aspersión (a 2000 y finalmente a 1000 ppm) y por ende a la disminución de las cantidades totales a suministrar vía foliar en el experimento. La cantidad de aplicaciones de P realizada, además, se vio limitada por el número de semanas de crecimiento de cada cultivo.

No obstante esta serie de circunstancias que condujeron a ajustar las cantidades aplicadas vía foliar a cada cultivo, se considera que al momento de la cosecha, el acumulado de P aplicado en cada caso, constituyó una dosis y una frecuencia muy alta en comparación a lo que se recomienda bajo condiciones de campo, y por lo tanto respondió al objetivo específico de la investigación que era evaluar las posibilidades que tienen estas fuentes foliares de sustituir el suplemento vía raíz.

Las cantidades aproximadas, en mg de P/maceta, de cada uno de los productos que fueron aplicadas vía foliar ascendieron a 36 en la lechuga I (4 aplicaciones), 28 en el tomate (5 aplicaciones), 24 en el banano (6 aplicaciones) y 16 en la lechuga II (4 aplicaciones). En general cantidades mayores que las recomendaciones de la etiqueta de cualquiera de los productos comerciales (Tabla 3).

Las aplicaciones del tratamiento P3 con ácido fosforoso calidad reactivo, también causaron un leve efecto de quema al inicio, cuando se usaron concentraciones elevadas. Luego de disminuir la concentración y regular el pH la solución no mostró mayores problemas.

Ninguno de los productos comerciales a base de fosfitos aplicados foliarmente causaron quemaduras tan severas como el fosfato (ortofosfato), sin embargo, la aplicación semanal de estos productos en ausencia de suplemento de P vía radical ocasionó un deterioro progresivo del aspecto de la biomasa foliar de los cultivos, especialmente en lechuga.

Dentro de las evaluaciones visuales no-cuantitativas, también se observó que las plantas aplicadas con cualquier tipo de fosfitos vía foliar, mostraron un crecimiento de raíz anómalo y de color oscuro.

Estas apreciaciones concuerdan con lo reportado por Adamowicz y otros (1996), quienes además del color, encontraron que la raíz afectada por fosfitos presentó un crecimiento en forma de esqueleto de pescado, probablemente debido a la inhibición de la elongación de las raíces laterales, retardo del crecimiento de la raíz pivotante y necrosis general del tejido radical.

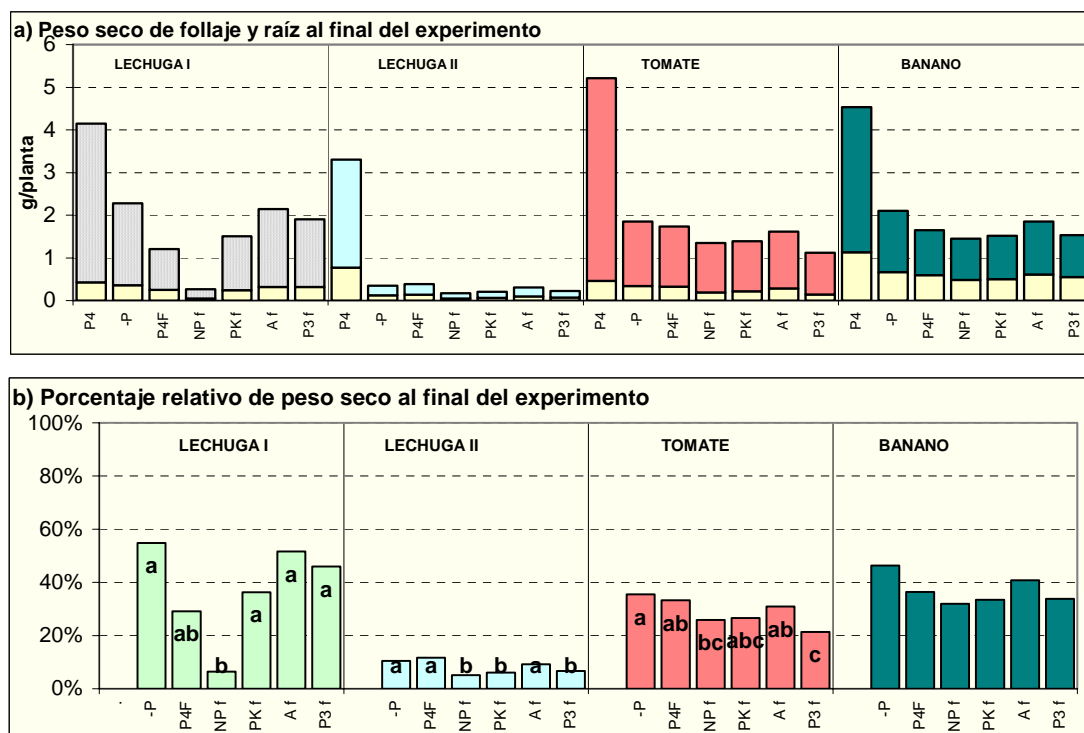
### **Peso Seco**

En la Figura 5 se presenta el peso seco de los tres cultivos sometidos a aplicaciones foliares con diferentes fuentes de P. Se encontró una clara evidencia que en los tres cultivos, la carencia de P en la solución nutritiva y por ende su ausencia en el área radical de las plantas, afectó el desarrollo de las plantas, en comparación con los tratamientos donde el P se aplicó adecuadamente vía radical (Figura 5).

Todos los tratamientos en donde se trató de suplementar el P vía foliar o en el que no se aplicó del todo, mostraron un crecimiento muy bajo, con respecto al aplicado vía raíz. Lo anterior demostró la imposibilidad de parte de la planta, de tomar vía foliar toda la cantidad de P requerido para su desarrollo (Marschner, 1998).

En todo el experimento se observó un mejor crecimiento en el testigo sin P que en los tratamientos de aplicaciones foliares (Figura 5a). Este efecto sobre el crecimiento fue similar tanto en la sección de follaje como en la radical.

Para mostrar el efecto relativo de la aplicación de P radical contra el foliar, en la Figura 5b se expresa el peso seco total de los tratamientos foliares en términos relativos al tratamiento P4. Como se observa en la Figura 5, con ninguno de los otros tratamientos que incluyen tanto el sin P como los de aplicación de P foliar, se logró alcanzar el 50% del desarrollo que se obtuvo con el suplemento de fosfato (P4) vía raíz. Esto demuestra una vez más el impacto y la relevancia de este elemento en la nutrición vegetal, cuya carencia fácilmente disminuye a la mitad la potencialidad de una planta. Estudios realizados por Adamowicz y otros (1996) en tomate, concluyen que ninguna otra forma de suplir P pudo sustituir al fosfato vía radical como fuente de P.



**Figura 5.** Peso seco promedio de tres cultivos en cultivo hidropónico sometidos a aplicaciones foliares de diferentes fuentes de P. En la sección a) la parte inferior de cada barra corresponde a la raíz y la superior al follaje. Letras iguales por cultivo son estadísticamente similares según Tukey; en banano no hubo diferencias.

Excluyendo el tratamiento con fosfato vía raíz (P4), entre los seis tratamientos restantes, solo hubo diferencias estadísticamente significativas en crecimiento, para los cultivos de tomate y lechuga, sin embargo fueron diferencias con poco sentido biológico, ya que sólo en muy pocos casos las aplicaciones foliares lograron superar al tratamiento sin P. Ni siquiera la aplicación foliar de la forma ortofosfato (P4f), repercutió significativamente. El crecimiento que se produce en un sistema con carencia total del elemento P responde posiblemente a las reservas que traía la plántula de almácigo. O sea, en este

experimento, bajo condiciones de **ausencia total de suplemento P vía radical**, ninguna de las aplicaciones de P vía foliar a través de las fuentes probadas lograron aliviar de manera significativa el efecto limitante de la deficiencia de P sobre el crecimiento.

### Concentración y Absorción de P por el follaje

En la Tabla 6 se presentan las concentraciones de P en el follaje al inicio y al final del crecimiento de los tres cultivos, después de haber sido sometidos a aplicaciones foliares semanales.

**Tabla 6.** Concentración de P (%) en el follaje de lechuga, tomate y banano, al inicio y final del ensayo II.

Cultivo	Nivel*	Inicial	P4	-P	P4f	NPf	PKf	Af	P3f
Lechuga I	0.4-0.5	0.83	0.71 a	0.18 d	0.15 d	0.44 b	0.28 c	0.22 cd	0.25 c
Lechuga II	0.4-0.5	0.75	0.52	0.12	0.11	0.39	0.41	0.17	0.33
Tomate	0.25	0.99	0.44 a	0.12 c	0.15 bc	0.20 b	0.20 b	0.17 bc	0.20 b
Banano	0.20	0.65	0.53 a	0.12 c	0.11 c	0.20 b	0.16 bc	0.16 bc	0.20 b

\* Nivel crítico foliar según Jones, B.J. 1991. *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Pub.

Filas con letras iguales son estadísticamente similares según Duncan 0.05.

Como se observa en la Tabla 6, las mayores concentraciones de P se presentaron en las plantas provenientes del almácigo, al inicio del ensayo; luego, conforme comenzó el desarrollo de las plantas y el efecto de los tratamientos, la concentración tendió a disminuir. Esto ocurrió incluso en el tratamiento que aportó fósforo a través de la solución nutritiva (P4), considerado como la condición normal. Todos los otros tratamientos acabaron con la mitad o mucho menos de la concentración de P que presentó esta condición normal (P4). Esta disminución en concentración, resulta comprensible si se considera el fuerte suplemento de P con que se acostumbra preparar las plántulas de almácigo en su etapa final, previa al transplante, y el efecto normal de dilución que acompaña al crecimiento de las plantas.

Al establecer una comparación con los Niveles Críticos foliares convencionales reportados en forma general para estos cultivos (Tabla 6), se refleja la condición adecuada del tratamiento P4 vía raíz, y la condición deficiente en el resto de los tratamientos con aplicación foliar.

La absorción de nutrientes por la biomasa aérea a la cosecha (mg de P promedio/planta) presentó la misma tendencia que el crecimiento expresado en peso seco (Figura 5a). Sin importar el cultivo, los tratamientos con fósforo en la solución nutritiva absorbieron en su follaje entre 13 y 26 mg P/planta, mientras que de los otros tratamientos incluyendo el sin P y las aplicaciones foliares, el que más logró absorber llegó a 4 mg P/planta, siendo los valores dominantes entre 0.5 y 2 mg P/planta. Si se considera que las plantas venían del almácigo con aproximadamente 1 mg P/planta en la parte aérea (0.6-0.4 mg las lechugas y 1.3 mg el tomate y el banano, Tabla 1), prácticamente se puede concluir que en los tratamientos sin P en la solución nutritiva, no hubo absorción significativa de este elemento. En concordancia con otros autores (Adamowicz y otros, 1996), definitivamente no se puede pretender llenar las necesidades de P por medio de aplicaciones foliares cualquiera que sea la fuente.

Los cultivos que crecieron sin P o después de recibir aplicaciones semanales con P vía foliar (en cualquiera de las formas), acumularon apenas entre un 2 y, como máximo, un 15% del total de P encontrado en el follaje de plantas con suplemento vía raíz (P4). Resultaría de gran interés y una buena continuación de esta investigación, el evaluar el comportamiento de las aplicaciones foliares de este tipo como complementos nutricionales en plantas bien suplidas de P vía raíz. No obstante los resultados obtenidos, existen experiencias en las que deficiencias de P en viveros de aguacate sembrados en suelo, se han logrado recuperar con aplicaciones semanales al suelo o foliares de fosfitos (Lovatt, 1990).

Observaciones como la anterior que incluyen el suelo (donde probablemente existe al menos un mínimo de fosfato disponible o las condiciones apropiadas para oxidar los fosfitos), unidas a los efectos sinérgicos encontrados en la primera parte de este estudio (tratamiento P3P4 del Ensayo I), y a lo inapropiado que resultó pretender suplir todo el P vía foliar, permiten sugerir que para poder valorar las potencialidades nutricionales reales que puedan tener las fuentes reducidas de P (fosfitos) tanto aplicadas al suelo, soluciones hidropónicas o por vía foliar, es indispensable que la investigación futura contemple el efecto combinado de ambas formas de P.

### Conclusiones del II Ensayo

- Con los productos aplicados foliarmente se demuestra una vez más, que resulta imposible llenar las necesidades de P de los tres cultivos en crecimiento en solución nutritiva sin fósforo.
- Los productos comerciales a base de fosfitos evaluados como fuentes de P **vía foliar**, bajo condiciones de carencia del elemento vía raíz, intensifican el daño provocado por la extrema deficiencia de P, y no contribuyen en forma significativa sobre el crecimiento y la absorción de este nutrimento por el follaje.
- Las aplicaciones intensivas (muy frecuentes) de fuentes de fosfitos **vía foliar** en plantas en cultivo hidropónico con carencia de P, causan daños al follaje y a la raíz.
- Las aplicaciones semanales **vía foliar** de fosfato calidad reactivo, con el pH ajustado con NaOH, en concentraciones de 1000 a 4000 ppm causan quemaduras al follaje de plantas de lechuga, tomate y banano.

### BIBLIOGRAFIA

- Adamowicz, S., J. Fabre, J. Hostalery, y P. Robin. 1996. Study of the activity of phosphorous acid as a phosphorus plant fertilizer. Final Report. Institut National de la Recherche Agronomique. Unité de Recherche en Ecophysiologie et horticulture, France. 9 p.
- Adams, F. y J.P. Conrad. 1953. Transition of phosphite to phosphate in soils. *Soil Science* 75:361-371.
- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. New York, Wiley. p. 347-348.
- Bare, D. y C.A. Black. 1979a. Foliar application of P. I. Screening of various inorganic and organic P compounds. *Agr. J.* 71:15-24.
- Bare, D., C.A. Black. 1979b. Foliar application of P. II. Yield responses of corn and soybeans sprayed with various condensed phosphates and P-N compounds in greenhouse and field experiments. *Agron. J.* 71:21.
- Carswell, C., B. Grant, M. Theodorou, J. Harris, J. Niere, y W. Plaxton. 1996. The Fungicide Phosphonate disrupts the phosphate starvation response in *Brassica nigra* seedlings. *Plant Physiol.* 110:105-110.
- Förster, H., K. Adaskaveg, H. Him, y E. Stanghellini. 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown in hydroponic culture. *Plant Disease* 82(10):1165-1170.
- Greenberg, A., L. Clesceri, y A.D. Eaton. 1992. Standard methods for the examination of water and waste water.



- Halman, M. 1972. Phosphorus compounds. Sec. 4-108-111. Ed. Interscience. New York.
- Henríquez, C., F. Bertsch, y R. Salas. 1998. Fertilidad de suelos: Manual de laboratorio-. San José, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 2ª reimpresión. 64 p.
- Kannan, S. 1989. Foliar absorption and transport of inorganic nutrients. *Critical Reviews Sciences* (4):341-375.
- Landschoot, P. y J. Cook. 2007. Understanding the phosphonate products. Department of Crop and Soil Sciences, Cooperative Extension. Penn. State University.
- Lovatt, C.J. 1990. A definitive test to determine whether phosphite fertilization can replace phosphate fertilization to supply P in the metabolism of "Hass" on "Duke 7". *Calif. Avocado Soc. Yearbook* 74:61-64.
- Lovatt, C.J, y R.L. Mikkelsen. 2006. Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do? *Better Crops* 90(4):11-13.
- Lucas, R.E., D.D. Warncke, y V.A. Thorpe. 1979. Phosphite injury to corn. *Agronomy Journal* 71:1063-1065.
- MacIntire, W.H., S.H. Winterberg, L.J. Hardin, A.J. Sterges, y L.B. Clements. 1950. Fertilizer evaluation of certain phosphorus and phosphoric materials by means of pot cultures. *Jour. Amer. Soci. Agron.* 42:543-549.
- Mansour, N.S. 1995. Effect of Nutri-phite P foliar fertilizer on onion and broccoli. *Vegetable Research at NWRC*. In <http://osu.orst.edu>.
- Marschner, H. 1998. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Academic Press. 889 p.
- McDonald, A.E., B.R. Grant, y W.C. Plaxton. 2001. Phosphite: Its relevance in agriculture and influence on the plant phosphate starvation response Recent research developments in plant physiology 2:49-56.
- Mitchell, C., J. Adams, R. Duffield, y G. Harris. 2004. Phosphites as fertilizer. *Agronomy Series Timely Information S-04-04*. Dept of Agronomy & Soils, Auburn University, Alabama.
- Ohashi, S. 1973. Chromatographic analysis of oxoacids of phosphorus. In *Environmental phosphorus handbook*. Ed. by E. Griffith. New York, Wiley. p 303-313.
- Orovic, V., P.J. Syvertsen, D. Bright, D.L. Van Clief, y J.H. Graham. 2008. Citrus seedling growth and susceptibility to root rot as affected by phosphate and phosphite. *Journal of Plant Nutrition* 31(4):774-787.
- Ouimette, D. y M. Coffey. 1989. Phosphonate levels in avocado (*Persea americana*) seedlings and soils following treatment with Fosethyl Al or potassium phosphonate. *Plant Disease* (73):212-215.
- Smillie, R., B.R. Grant, y D. Guest. 1989. The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. in plants. *Phytopathology* 79(9):921-926.
- Wells, K.L., J.E. Dollarhide, y R.E. Mundell. 2000. Effect of phosphite phosphorus on alfalfa growth. *Comm. Soil Sciece and Plant Nutrition* 31(15-16):270.