

Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos

Importance of phosphates and phosphites in crop nutrition

Gabriela Mixquititla-Casbis¹, Óscar G. Villegas-Torres^{1*}

RESUMEN

El fósforo es absorbido por la planta en forma de fosfatos y fosfitos. Ambas formas causan diferentes efectos en las plantas, aunque presentan gran similitud en sus estructuras. El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión crítica de la importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de los cultivos. Los fosfatos son un nutriente esencial porque realizan funciones específicas dentro de las plantas. En relación con los fosfitos, aunque se les atribuyen algunas propiedades benéficas, se requiere más información debido a que su potencial como fertilizante aún se debate.

PALABRAS CLAVE

fósforo, ácido fosforoso, metabolismo vegetal

ABSTRACT

Phosphorus is absorbed by plants in the form of phosphates and phosphites. Both of them cause different effects on plants although they have great similarity in their structures. The objective of this study was to conduct a critical review of the importance of phosphates and phosphites in crop nutrition. Phosphate is an essential nutrient that performs specific functions within plants. Although some beneficial properties are attributed to phosphites, more information is required, because there is still debate about its potential as fertilizer.

KEYWORDS

phosphorus, phosphorous acid, plant metabolism

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

*Autor para correspondencia. Av. Universidad 1001, col. Chamilpa. 62209 Cuernavaca, Morelos.

Correo electrónico: voscar66@yahoo.com.mx

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios se han llevado a cabo con el fin de conocer a fondo la importancia que ejercen los nutrientes esenciales en las plantas. Actualmente, se sabe que el buen desarrollo de cualquier planta depende de la disponibilidad de todos los nutrientes esenciales, entre otros factores. Las funciones de cada uno de los nutrientes esenciales no pueden ser realizadas por ningún otro nutriente y, aunque la mayoría de las plantas requiere de todos ellos, ciertas especies pueden necesitar mayor cantidad de unos que de otros. El fósforo (P) es uno de los principales macronutrientes esenciales requeridos por todos los organismos vivos, pero también es uno de los elementos menos disponibles de la rizósfera. Después del nitrógeno (N), el P es el nutriente más limitante para el crecimiento de las plantas (Gebrem *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2007). Esto se debe a la baja velocidad de difusión y a la alta velocidad de absorción del fosfato en las plantas, situaciones que rápidamente crean una zona de agotamiento libre de fosfato, alrededor de la raíz (Estrada *et al.*, 2011).

El fósforo puede ser absorbido y asimilado por las plantas en forma de fosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} o PO_4^{3-}); sin embargo, las plantas pueden desprender grupos de fosfatos de los compuestos orgánicos, a través de sus enzimas y, posteriormente, absorberlos (Ticconi *et al.*, 2001). Raghothama (2000) menciona que el P es un elemento muy móvil en la planta y su translocación ocurre principalmente mediante floema; además, el P es incorporado a los compuestos orgánicos en estado de oxidación.

El fosfato se produce por la oxidación y la reducción de compuestos de fósforo por reacciones de transferencia de electrones. Cuando el fósforo se oxida en la mayor medida posible, el producto es ortofosfato (PO_4^{3-}), en el cual cuatro átomos de oxígeno se han unido con un solo átomo de fósforo. En condiciones de pH neutro, el ion fosfato está presente como una mezcla de HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- . En otras circunstancias, el fosfato se presenta como fosfito (H_3PO_3), lo cual se abordará más adelante. El primer producto es la forma en la cual el fosfato se transporta normalmente en las células vegetales (McDonald *et al.*, 2001).

El fosfato acelera la maduración y promueve la producción de semillas, ya dentro de las células vegetales; incluso es parte importante de numerosos compuestos fundamentales en el metabolismo vegetal, tales como biosíntesis de glúcidos, biosíntesis de lípidos, síntesis de clorofilas y carotenoides, glucólisis y metabolismo de los ácidos orgánicos

(Estrada *et al.*, 2011). El fosfato fortalece el sistema radical fomentando la extensión de las raíces y su ramificación lateral (Rubio, 2002).

Las plantas pueden presentar deficiencias visibles cuando el contenido de fósforo se encuentra $\geq 0.2\%$ con base en materia seca, lo que puede provocar detenimiento en su crecimiento y desarrollo. Cuando sucede esto, las hojas maduras presentan un color verde oscuro, acumulan pigmentos, son delgadas, erectas y de menor tamaño; por tanto, la maduración se atrasa (Pellerin *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2009). Torrealba *et al.* (1998) reportaron que la planta de *Canavalia* fue capaz de crecer en un sustrato de arena que contenía 19 mg de fósforo kg^{-1} , aunque con altura menor de planta y un peso menor de materia seca de la parte aérea, en comparación con la aplicación de dosis de 50 y 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de fósforo (fosfato monoamónico como fuente), mientras que las diferencias estadísticas entre las dosis de 50 o 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de fósforo no fueron significativas.

Por lo tanto, la actividad que desempeña el fósforo dentro de la planta es crítica porque participa prácticamente en todos los procesos metabólicos principales de ésta, incluyendo la fotosíntesis y la respiración (Raghothama, 2000). Es por lo anterior que en el presente trabajo hablaremos del fósforo (P), pero en dos de sus estados de oxidación: como fosfato (Pi) y como fosfito (Phi) con el objetivo de realizar una revisión crítica de la importancia de éstos en la nutrición de los cultivos.

Fosfatos

El Pi está íntimamente involucrado en la bioenergética celular y en la regulación metabólica. Es un componente estructural de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas y fosfolípidos, como las lecitinas; almacena y transfiere energía (ATP y ADP), y es constituyente de las membranas citoplasmáticas así como de las enzimas y proteínas (Ratjen y Gerendás, 2009; Molina y Rodríguez, 2012). Cuando existe una deficiencia de Pi, la planta tiene al menos dos mecanismos diferentes de señalización para mantener la homeostasis del Pi: una opera a nivel celular y otra involucra diferentes órganos. A nivel celular, el movimiento de Pi hacia y desde la vacuola, y el flujo de salida regulado son los mecanismos principales que mantienen la homeostasis Pi (Raghothama, 2000).

De igual manera, el Pi interviene en los procesos de maduración y formación de semillas; también está relacionado en la fijación simbiótica del nitrógeno (Sánchez *et al.*, 2009). Ejerce un papel regulador en

la formación y translocación de sustancias como azúcares y almidón (Ojeda *et al.*, 2008); el Pi facilita la maduración precoz y mejora la calidad del fruto. Asimismo, la morfología y las propiedades fisiológicas de la raíz de las plantas pueden influir en la absorción de Pi del suelo, la geometría cilíndrica y el radio de la raíz influyen en el flujo de Pi del suelo a las raíces (Rubio *et al.*, 2002)

Parra *et al.* (2004) investigaron las características morfológicas y bioquímicas de la raíz de dos genotipos de frijol que podrían estar relacionadas con el grado de eficiencia en la utilización de Pi. Los resultados indicaron que en Canario 60 (genotipo no tolerante) no se modificó la estructura de la raíz, no se incrementó la actividad de fosfatasas ácidas que se secretan al medio extracelular y la absorción de Pi tuvo un aumento pequeño; en contraste, en MAR1 (genotipo tolerante) todas estas respuestas aumentaron considerablemente. Estos resultados sugieren que existe una menor respuesta a la ausencia de Pi en C60, que es el genotipo menos tolerante.

Molina y Rodríguez (2012) realizaron un trabajo en el cual fertilizaron con N, P, K y S en arroz inundado, var. CFX 18. Hicieron un análisis foliar en prefloración y determinaron el rendimiento de arroz seco y limpio a la cosecha. Así, encontraron que el tratamiento de 120 kg.ha⁻¹ de N, 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 50 kg.ha⁻¹ de K₂O, y 20 kg.ha⁻¹ de S presentó el rendimiento más alto de arroz, en un suelo que tenía un contenido adecuado de P y K, pero bajo en S. Estas mismas dosis propiciaron los contenidos de N y P foliar más altos, con diferencia significativa respecto a los tratamientos sin N y sin P. También la curva de absorción estuvo relacionada directamente con la producción de materia seca; la absorción máxima de N, P, K, Ca, Mg y S fue de 61, 25, 197, 17, 11 y 9 kg.ha⁻¹, respectivamente. Concluyeron que la mayor parte de la absorción de nutrimentos se presentó en la etapa reproductiva y de maduración, de ahí la importancia del fósforo en dichas etapas y de los demás nutrimentos.

Pérez y Rolo (1998) estudiaron el efecto del P y el potasio (K) en la producción de semillas de *Lablab purpureus* (L.) Sweet. Los tratamientos consistieron en la combinación de tres niveles de P (0, 25 y 50 kg de P₂O₅/ha) con tres niveles de K (0, 50 y 75 kg de K₂O/ha). Encontraron una respuesta significativa para el P y el K. En el primer año, los máximos valores (825 y 769 kg ha⁻¹) se obtuvieron con la aplicación de 0 y 25 kg de P₂O₅ ha⁻¹ en presencia de 75 kg de K₂O ha⁻¹; mientras que en el segundo año, el mejor resultado (463 kg ha⁻¹) se obtuvo con 25 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y 75 kg de K₂O ha⁻¹. La cantidad de legumbres/m² presentó interacción

significativa entre los tratamientos; los valores más elevados para el primer y segundo año fueron de 139 y 70 legumbres/m² respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede recomendar la siembra de esta leguminosa con aplicación de la dosis de 25 kg de P₂O₅/ha/año con 75 kg de K₂O/ha/año, en condiciones similares a las de este experimento. Así, se concluye que la acción del P en las plantas se encuentra estrechamente relacionada con la propia interacción de este elemento con los demás.

En los fertilizantes, el P se encuentra normalmente en forma de ácido fosfórico (H₃PO₄) y sus sales, por ejemplo, súper fosfato triple, fosfato de amonio y fosfato de potasio. Todas estas formas se disocian fácilmente para liberar fosfato de hidrógeno (HPO₄²⁻) y fosfato de dihidrógeno (H₂PO₄⁺), que son las formas en las que normalmente el Pi se transporta a las células vegetales (Thao y Yamakawa, 2009). El Pi es retenido en la vacuola celular o incorporado en forma orgánica; por ejemplo, inicialmente en forma de ATP a través de foto o fosforilación oxidativa (McDonald *et al.*, 2001).

En muchas regiones agrícolas es común aplicar el fertilizante fosfatado después de que la plántula ha emergido. Álvarez *et al.* (2001), tras aplicar P en cantidades de 81 y 54 mg.kg⁻¹ de suelo (para papa y maíz, respectivamente) usando como fuente el superfosfato triple, indican que hubo mayor acumulación de materia seca de P en los distintos órganos de la planta. En lo peculiar, la papa mostró alta dependencia del P por la característica de su sistema radical.

Castro *et al.* (2005) encontraron diferencias estadísticas significativas en área foliar y en peso de biomasa seca de raíces de fresa entre plantas que crecían en condiciones normales de abastecimiento de P (testigo) y plantas con deficiencia de este nutrimento. Estas últimas tuvieron un peso de materia seca de raíces menor en 68% respecto al testigo, debido a que la condición de deficiencia extrema de P afecta los puntos de crecimiento, lo que a su vez causa una reducción de crecimiento de todas las partes de la planta. El Pi influye en muchos procesos de las plantas, así que la adquisición de nutrientes de lenta movilidad, como sucede con P, está fuertemente influenciada por la morfología de la raíz y sus propiedades fisiológicas: las raíces liberan de ácidos orgánicos (citrato), liberan fosfatasa y, por lo tanto, provocan el aumento de su actividad en la rizosfera (Sánchez *et al.* 2009).

Casanova (2000) menciona que, al aplicar 70 kg.ha⁻¹ de P (superfosfato triple) en combinación con 108 kg.ha⁻¹ de K, obtuvo los más altos rendimientos en

soya ($2,938 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para el primer año, y que para el segundo año su rendimiento fue de $2,713 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; sin embargo, cuando el P no es aplicado, se presentan deficiencias en las hojas principalmente. Lima *et al.* (2007) evaluaron los efectos de la aplicación de algunas dosis de nitrógeno (urea 45% N) y P (superfosfato simple $20\% \text{ P}_2\text{O}_5$) en el rendimiento y la calidad de frutos de melón, y encontraron que el P no tuvo influencia en los rasgos cuantitativos o cualitativos. Lo anterior sucedió sólo para el caso de melón; sin embargo, esto no indica que para otros cultivos el P no influya en la calidad del fruto.

Todos los productos a base de Pi son ampliamente aceptados ya que es el único nutriente que contiene P, importante para el crecimiento y el desarrollo óptimo de las plantas (Molina y Rodríguez, 2012). Sin embargo, hay que mencionar que el Pi puede causar problemas ambientales, aunque desde el punto de vista de la nutrición vegetal este elemento se presente en un nivel bajo en el suelo (Turner y Haygarth 2000). Es por esto que, durante los últimos años, se ha venido utilizando una forma reducida de Pi conocida como fosfito (Phi) para mejorar el rendimiento de muchos cultivos, con menos daño al suelo (Gebirim *et al.*, 2010; Lovatt y Mikkelsen, 2006).

Fosfitos

En la naturaleza, el P no se encuentra como elemento libre, está en combinación con otros elementos, tales como oxígeno (O) o hidrógeno (H). No obstante, las plantas no aprovechan las formas reducidas de Pi directamente, requieren de un proceso de oxidación previo para que ocurra su absorción y aprovechamiento por la planta; esto puede ocurrir bajo ciertas circunstancias y en forma lenta (Lovatt y Mikkelsen, 2006). El P se presenta de forma totalmente oxidada (P tiene valencia de 5) como anión Pi y con un oxígeno menos (P tiene valencia de 3) como Phi; el ácido conjugado del anión Phi es ácido fosforoso (H_3PO_3) (Thao y Yamakawa, 2009).

El término fosfito (Phi) se refiere comúnmente a las sales de ácido fosforoso; la sal (fosfito) contiene concentraciones de P (39%) más altas que los fertilizantes fosfatados (32%) basados en ácido fosfórico (H_3PO_4) (Bettiol, 2006; Lovatt y Mikkelsen, 2006). También se utiliza el término fosfonato en el sentido de éster de fosfito que contiene un fósforo-carbono (C-P), que se encuentra en enlace de éster de fosfato (Thao y Yamakawa, 2009).

Sin embargo, los Phi no pueden ser convertidos en Pi dentro de la planta; por lo tanto, no participan

en las rutas bioquímicas, de tal manera que por ello se empiezan a observar los efectos negativos de estos sobre el metabolismo vegetal, mencionan Varadarajan *et al.* (2002). Por otro lado, existen investigaciones que demuestran que el Phi –en dosis adecuadas– puede estimular a la planta para producir un gran espectro de metabolitos biológicamente activos; para incrementar la floración, rendimiento, tamaño de fruta, sólidos solubles totales y concentración de antocianinas, y para proporcionar control de algunas enfermedades; por lo tanto, esto hace que el Phi sea considerado un nutriente benéfico para las plantas (Lovatt y Mikkelsen, 2006).

Los Phi se utilizan comercialmente como fertilizantes foliares. Existen en el mercado formulaciones disponibles del producto en asociación con otros nutrientes como K, Ca, B, Zn y Mn. Bettiol (2006) menciona que los Phi también son utilizados como fertilizantes en distintos cultivos, como cítricos, manzana, pera, uva, plátanos, aguacate, papaya, mango, guayaba, café, fresa, tomate, papa, pimentón, melón, cebolla, arroz, maíz, soya, frijol, tabaco, algodón, ornamentales, frutas y hortalizas en general. Además de su efecto nutricional, tienen la propiedad de estimular las defensas de la plantas, hacen más eficaz el uso de fungicidas específicos e incrementan las defensas de las plantas ante la posible infección de un patógeno (Bertsch *et al.*, 2009; Bettiol, 2006; Gómez y Reis, 2011; Lovatt y Mikkelsen, 2006; McDonald *et al.*, 2001).

El Phi no es un fertilizante y no tiene ningún efecto beneficioso sobre el crecimiento de plantas sanas (Thao y Yamakawa, 2009), aunque esto difiere con lo reportado por otras investigaciones. Un ejemplo son Estrada *et al.* (2011), quienes demostraron en el cultivo de fresa, que, si se adicionan $3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Phi en etapa inicial y $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en etapa de fructificación a la solución nutritiva, manteniendo los niveles óptimos de P de acuerdo con la solución de Stainer (1984), se obtienen resultados positivos en cuanto a rendimiento (955.63 g por planta), tamaño de fruto y concentración de azúcares totales en hojas en etapa de floración (25.14 mg g^{-1} de materia fresca), así como en frutos cambiantes (24.30 mg g^{-1} de materia fresca).

Lovatt (1999) demostró que en naranja Navel se incrementó el rendimiento (60.8 kg por árbol) al realizar aplicaciones foliares de Phi con base en el aumento del número de frutos por árbol. A su vez, Albrigo (1999) encontró efecto positivo en el número de flores, sólidos solubles totales y rendimiento en naranja valencia con la aspersión del mismo producto, en Florida, Estados Unidos.

Por otro lado, Forster *et al.* (1998), al aplicar dosis iguales de Phi (50%) y Pi (50%), indicaron que las plantas de chile y tomate presentaron bajos rendimientos comparados con los obtenidos sólo con Pi (100%) de tal manera que, para obtener efectos benéficos del Phi, se debe cuidar su porcentaje con respecto al Pi. Estrada *et al.* (2011) observaron que valores de Phi superiores a 30% en la solución nutritiva tienen efectos negativos en rendimiento, tamaño de fruto y °Brix. En su investigación, la etapa de fructificación fue más sensible a la presencia de Phi en comparación con la etapa de floración, en la cual no importó que se suministrara suficiente P en forma de Phi.

El trabajo que realizaron Moor *et al.* (2009) indicó que no se inhibe ni promueve el crecimiento de plantas de fresa al fertilizar con Phi. En cuanto a rendimiento, no hubo ninguna ventaja al usar Phi como fertilizante en comparación con Pi; sin embargo, la aplicación foliar con Phi modificó el sabor de la fruta debido a que se incrementó su acidez, por tanto, disminuyó la concentración de azúcares. También encontraron que las plantas que recibieron aplicaciones de Phi, activaron los mecanismos de defensa aumentando el ácido ascórbico en las frutas y contenido de antocianinas.

Bertsch *et al.* (2009) hicieron evaluaciones de Phi como fuente fertilizante de P vía radical y foliar en plantas de lechuga, banano y tomate. En el ensayo de absorción vía raíz, los resultados demostraron que el P en forma de Phi, calidad reactivo en la solución nutritiva, no es utilizable por la planta para llenar sus necesidades de P y tiende a causar daño; mientras que la combinación de Phi más Pi vía raíz tendió a promover mayor absorción total de P. En el segundo ensayo se demostró que resulta imposible llenar las necesidades de P de un cultivo con suplemento estrictamente foliar. En condiciones de carencia del elemento vía raíz, los productos comerciales no contribuyeron al crecimiento de los cultivos; tampoco atenuaron la expresión de deficiencia del elemento ni mejoraron la absorción de este nutrimento en el follaje, más bien intensificaron el deterioro del follaje y la raíz.

Thao *et al.* (2008) llegaron a la conclusión de que el Phi (di hidrogeno fosfito KH_2PO_3) no proporcionó ninguna nutrición de P a las plantas de espinaca a través de las raíces o aplicación foliar, sino más bien se inhibió el crecimiento de raíces severamente en plantas con deficiencia de Pi, incluso a niveles bajos de aplicaciones foliares de Phi.

Los productos a base de Phi siguen comercializándose ampliamente como cualquier fertilizante o bioestimulante, como inductor de respuestas bioquímicas a los agentes de estrés abiótico y biótico; no obstante, estos efectos no han sido suficientemente estudiados, lo que ha de tenerse en cuenta al utilizarlos para cultivo determinado.

Diferencias entre fosfatos y fosfitos

Ávila *et al.* (2011) evaluaron el efecto del aporte del Phi como parte de la fertilización con P, su influencia en la actividad de la peroxidasa guayacol, y el contenido de fenólicos totales y lignina en las plantas de maíz. Con base en estudios de cinética de absorción del fósforo, se demostró que el Phi inhibe la captación de Pi competitivo en el maíz, independientemente del estado del Pi en la planta. El reemplazo de 25% de Pi por Phi disminuyó la producción de materia seca de las plantas cultivadas, pero no presentó ningún efecto en las plantas cultivadas con bajo suministro de Pi, con la ventaja de la obtención de respuestas bioquímicas a los agentes de estrés, tales como la estimulación de la actividad de la peroxidasa guayacol y lignina.

Thao *et al.* (2009) realizaron un estudio para investigar el efecto del Phi en relación con Pi en el crecimiento y calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Los resultados mostraron que la adición de Phi a la solución no mejoró el crecimiento de las plantas; en cuanto a la relación Pi/Phi, no se observó ningún efecto estimulante de cualquier combinación. Con Phi a 0.05 mM se obtuvieron efectos marginales sobre el crecimiento vegetal en todos los niveles de Pi. No obstante, en sí, el Phi tuvo poca influencia en el ascorbato y las concentraciones de minerales de lechuga. Su aplicación a las plantas con deficiencia de Pi puede disminuir las concentraciones de minerales de las plantas provocadas por el efecto inhibitorio de Phi en el crecimiento de la raíz y por ende, la absorción de nutrientes. Por lo tanto, se debe tener cuidado en las relaciones Pi/Phi para reducir al mínimo los efectos nocivos.

Los resultados de varias investigaciones confirman que las plantas deficientes de Pi son muy sensibles a Phi, y que éste representa una forma nutricionalmente ineficaz de P. Por lo tanto, para algunos cultivos no debería ser considerado como una forma de fertilización.

CONCLUSIONES

El Pi es un nutriente esencial para las plantas y no puede ser sustituido por ningún otro nutrimento ya que realiza funciones específicas dentro de las plantas. El Phi, aunque puede ser absorbido por la mayoría de las plantas, tiene efectos negativos; por ello, no se debe utilizar directamente como fuente de P.

El Pi y Phi en combinación no proporcionan ningún efecto estimulante en comparación con Pi solamente; por lo anterior, no es posible complementar o sustituir al Pi con Phi. Aunque se atribuyen algunas propiedades benéficas a los Phi, se requiere más información, debido a que su potencial como fertilizante se sigue debatiendo.

LITERATURA CITADA

- Albrigo, L. 1999. Effects of foliar applications of urea or nutriphite on flowering and yields of Valencia orange trees. *Proceedings-Florida State Horticultural Society* 112: 1-4.
- Álvarez, S., B. Etchevers, C. Ortiz, E. Núñez, G. Martínez, J. Castellano. 2001. Phosphorus nutrition of potato and maize seedlings. *TERRA Latinoamericana* 19 (1): 55-65.
- Casanova, E. 2000. Phosphorus and potassium fertilization and mineral nutrition of soybean. *Interciencia-Caracas* 25 (2): 92-95.
- Castro, G., A. Rodríguez, M. Hoyos. 2005. Marginal mineral nutrition of strawberry (*Fragaria x ananassa*) plants grown hydroponically. *Acta Horticultura* 697: 321-327.
- Bertsch, F., F. Ramírez, C. Henríquez. 2009. Evaluación del fosfito como fuente fertilizante de fósforo vía radical y foliar. *Agronomía Costarricense* 33 (2): 249-265.
- Bettiol, W. 2006. Productos alternativos para el manejo de enfermedades en cultivos comerciales. *Fitosanidad* 10 (2): 85-98.
- Estrada, E., L. I. Trejo, F. C. Gómez, R. Núñez, M. Sandoval. 2011. Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17 (3): 129-138.
- Forster, H., J. Adaskaveg, D. Kim, M. Stanghellini. 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and to Phytophthora root and crown rot in hydroponic culture. *Plant Disease* 82 (10): 1165-1170.
- Gebrim, F., R. Novais, I. Silva, F. Schulthais, L. Vergütz, L. Procópio, G. Jesus. 2010. Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34(4): 1195-1205.
- Gómez, D., E. Reis. 2011. Inductores abióticos de resistencia contra fitopatógenos. *Química Viva* 10 (1): 6-17.
- Hernández, G., M. Ramírez, O. Valdés, M. Tesfaye, M. Graham, T. Czechowski, C. Vance. 2007. Phosphorus stress in common bean: root transcript and metabolic responses. *Plant Physiology* 144 (2): 752-767.
- Lima, P., V. L. Paiva, B. Freire, J. F. Medeiros, J. Silva. 2007. Response of melon plants to nitrogen and phosphorus application. *Revista Caatinga* 20 (1): 64-70.
- Lovatt C., J. 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. *HortTechnology* 9 (4): 607-612.
- Lovatt, C. J., R. L. Mikkelsen. 2006. Phosphite fertilizer: What are they? Can you use them? What can they do? *Better crops* 90 (4): 11-13.
- Mcdonald, A., B. Grant, C. Plaxton W. 2001. Phosphite (phosphorous acid): its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *Journal of Plant Nutrition* 24 (10): 1505-1519.
- Molina, E., J. H. Rodríguez. 2012. Fertilización con N, P, K y S, y curvas de absorción de nutrimentos en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. *Agronomía costarricense* 36 (1): 39-51.
- Moor, U., P. Pöldma, T. Tõnutare, K. Karp, M. Starast, E. Vool. 2009. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. *Scientia horticulturae* 119: 264-269.
- Ojeda, L. A., R. Cárdenas, P. Lobit, O. Grageda, E. Valencia, L. Macías. 2008. Efecto de la nutrición níttrica y sistemas de riego en el sabor de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14 (1): 61-70.

- Parra, C., E. Martínez, J. Acosta, P. Coello. 2004. Respuesta a la deficiencia de fosfato de genotipos de frijol contrastantes en su capacidad de crecer en suelos con bajo contenido de fósforo. *Agrociencia* 38 (2): 132.
- Pellerin, S., A. Mollier, D. Plenet. 2000. Phosphorus deficiency affects the rate of emergence and number of maize adventitious nodal roots. *Agronomy Journal* 92: 690-697.
- Pérez, A., R. Rolo. 1998. Efecto de la dosis de fósforo y potasio sobre la producción de semillas de leguminosas. II. *Lablab purpureus* cv. Rongai. *Pastos y Forrajes* 21 (3): 219.
- Raghothama, K. G. 2000. Phosphate transport and signaling. *Current Opinion in Plant Biology* 3: 182-187.
- Ratjen, A. M., J. Gerendás. 2009. A critical assessment of the suitability of phosphite as a source of phosphorus. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172 (6): 821-828.
- Rubio, R. 2002. Conectando el fósforo del suelo con la planta. In: Simposio "Enfoque sistémico de la fertilización fosfórica". *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 16: 19-24.
- Sánchez, E., E. Muñoz, Á. Anchondo, J. Ruiz, L. Romero. 2009. Nitrogen impact on nutritional status of phosphorus and its main bioindicator: response in the roots and leaves of green vean plants. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15 (2): 177-182.
- Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution. In: I. S. O. S. C. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. pp. 633-649. The Netherlands.
- Ticconi, C. A., C. A. Delatorre, S. Abel. 2001. Attenuation of phosphate starvation responses by phosphite in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* 127 (3): 963-972.
- Thao, H., T. Yamakawa, A. Myint, P. Sarr. 2008. Effects of phosphite, a reduced form of phosphate, on the growth and phosphorus nutrition of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Soil Science and Plant Nutrition* 54 (5): 761-768.
- Thao, H., T. Yamakawa. 2009. Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Science and Plant Nutrition* 55 (2): 228-234.
- Thao, H., T. Yamakawa, K. Shibata. 2009. Effect of phosphite-phosphate interaction on growth and quality of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172 (3): 378-384.
- Torrealba, G., J. Viera, P. Bravo. 1998. Factores relacionados con la acidez del suelo y su efecto sobre el crecimiento de la *Canavalia ensiformis* (L.) DC. *Agronomía Tropical* 48 (1): 19-32.
- Turner, B. L., P. M. Haygarth. 2000. Phosphorus forms and concentrations in leachate under four grassland soil types. *Soil Science Society of America Journal* 64 (3): 1090-1099.
- Varadarajan, D. K., A. S. Karthikeyan, P. D. Matilda, K. G. Raghothama. 2002. Phosphite, an analog of phosphate, suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. *Plant Physiology* 129 (3): 1232-1240.