

## Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura

Edgar Javier Morales-Morales<sup>1</sup>  
Ángel Roberto Martínez-Campos<sup>2</sup>  
José Antonio López-Sandoval<sup>3</sup>  
Ana María Castillo González<sup>4</sup>  
Martín Rubí-Arriaga<sup>3§</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México-*Campus* Universitario El Cerrillo. Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50200. (emoralesm374@gmail.com). <sup>2</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales-*Campus* Universitario El Cerrillo. Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50200. (amartinezc@uaemex.mx). <sup>3</sup>Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento-*Campus* Universitario 'El Cerrillo'. Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP. 50200. (mrubia@uaemex.mx; jalopezsa@uaemex.mx). <sup>4</sup>Departamento de Fitotecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (anasofiacasg@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: mrubia@uaemex.mx.

### Resumen

Los fosfitos son compuestos derivados del ácido fosforoso que regularmente se combinan con iones como potasio, sodio, calcio o amonio. La diferencia química entre fosfatos y fosfitos radica en un átomo de oxígeno, el cual es sustituido por uno de hidrógeno. Debido a su similitud estructural, los fosfitos son considerados como análogos de los fosfatos. Si bien en la actualidad es aceptado el uso de los fosfitos por su acción bioestimulante vegetal, así como auxiliar en el control de fitoparásitos como oomycetes, protozoos, hongos, bacterias y nematodos, es aún debatido su uso como fuente de fósforo para la nutrición vegetal. Tanto fosfitos como fosfatos pueden ser absorbidos por las plantas mediante las hojas o las raíces; sin embargo, los fosfitos no se pueden reducir dentro de la célula vegetal a un estado de oxidación más bajo. No obstante, los fosfitos pueden verse oxidados a fosfatos si se aplican directamente al suelo. La capacidad de microorganismos del suelo de poder oxidar los fosfitos a fosfatos abre una posibilidad de que estos puedan ser aplicados como fuente de nutrición complementaria a los fertilizantes fosfatados. El documento elaborado es una revisión de las investigaciones que aborda el papel de los fosfitos dentro de la agricultura en la actualidad, sus usos como bioestimulador, fungicida y su posibilidad de uso como fertilizante fosfatado, así como una recopilación de las investigaciones más relevantes sobre estos usos y los resultados.

**Palabras clave:** ácido fosforoso, bioestimulador, fertilizante, fungicida.

Recibido: enero de 2022

Aceptado: febrero de 2022

El fósforo (P) es un nutrimento esencial para el crecimiento vegetal y en la producción de alimentos, debido a que es un componente primario de los sistemas responsables del almacenamiento y transferencia de energía, es un compuesto básico en las estructuras de macromoléculas como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos vegetales (Fernández, 2007) además, este elemento constituye cerca de 0.2% de la materia seca vegetal (Aziz *et al.*, 2013).

El P está involucrado en una serie de funciones metabólicas y estructurales; forma parte de moléculas energéticas como el adenosin difosfato (ADP), adenosin trifosfato (ATP) o guanosin trifosfato (GTP), los cuales pueden regular la actividad enzimática vegetal, asimismo, participa en la formación de bloques de ADN y membranas celulares (Hawkesford *et al.*, 2012; Vinas *et al.*, 2020). El P acelera la maduración y promueve la producción de semillas, incluso es parte importante de numerosos procesos fundamentales del metabolismo vegetal, como glucólisis, biosíntesis de glúcidos y lípidos, síntesis de clorofilas y carotenoides y metabolismo de ácidos orgánicos (Estrada-Ortiz *et al.*, 2011).

Las deficiencias de P resultan en una asignación preferencial de carbohidratos hacia las raíces, resultando en un aumento dispar de crecimiento de raíz en relación con el tallo. Esto también da como resultado la modificación de la fotosíntesis y el metabolismo de azúcares, por lo que el crecimiento y desarrollo vegetativo y reproductivo se ve atrasado (Aziz *et al.*, 2013). En la naturaleza, el P no se encuentra como un elemento libre, sino que existe en combinación con otros elementos como oxígeno (O) o hidrógeno (H), esto ocurre como una forma completamente oxidada denominada anión fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), o con un oxígeno menos llamada anión fosfito ( $\text{PO}_3^{2-}$ ); (Bozzo *et al.*, 2004; Thao y Yamakawa, 2009). En condiciones de pH neutro, el ion fosfato está presente como ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y ácido dioxofosfórico ( $\text{H}_2\text{PO}_3$ ); siendo el primero la forma en la cual el fosfato se transporta normalmente en las células vegetales (McDonald *et al.*, 2001; Mixquititla-Casbis y Villegas-Torres, 2016).

### ¿Qué son los fosfitos?

De acuerdo con Havlin y Schlegel (2021) los fosfitos (Phi) son una forma reducida de los fosfatos (Pi), derivados del ácido fosforoso ( $\text{H}_2\text{PO}_3$ ), que regularmente se combinan con cationes no metales como potasio, sodio, calcio o amonio. Los términos ‘fosfito’ o ‘fosfanato’ son utilizados en la literatura para referirse a las sales derivadas del ácido fosforoso (Thao y Yamakawa, 2009; Yáñez-Juárez *et al.*, 2018). La diferencia química entre fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; Pi) y fosfito ( $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ; Phi); es un átomo de oxígeno el cual es sustituido por otro de hidrógeno (Figura 1) (Lovatt y Mikkelsen, 2006, Yáñez-Juárez *et al.*, 2018, Fathi *et al.*, 2021).

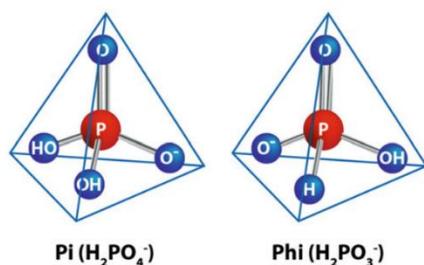


Figura 1. Estructura del grupo fosfato (Pi) y fosfito (Phi) (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015).

Debido a su similitud estructural, los fosfitos son considerados como análogos de los fosfatos; en la actualidad es ampliamente aceptado el uso de los fosfitos por su acción en el control de fitoparásitos y como bioestimulante en plantas, sin embargo, es aún debatida su utilización como fuente de fósforo en la nutrición vegetal (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015). Los fosfitos se comercializan como fertilizantes y fungicidas foliares, estos se encuentran dentro de la categoría toxicológica III, lo que implica que su uso en la agricultura es poco peligroso para el hombre, animales y ambiente (Barpen, 2004). Existen en el mercado formulaciones disponibles del producto en asociación con otros nutrientes como potasio (K), calcio (Ca), boro (B), zinc (Zn) o manganeso (Mn) (Mixquititla-Casbis y Villegas-Torres, 2016). El ácido fosforoso ( $H_3PO_3$ ) y sus sales contienen concentraciones más altas de P (39%) en relación con los fertilizantes tradicionales fosfatados (32% P) (Lovatt y Mikkelsen, 2006).

Los Phi no pueden ser convertidos en Pi dentro de la planta, debido a la ausencia del gen *ptxD*, el cual está presente en muchas bacterias de suelo (Wu *et al.*, 2018); por lo tanto, no participan en las rutas bioquímicas, de tal manera que por ello se observan efectos negativos de estos sobre el metabolismo vegetal (Varadarajan *et al.*, 2002). No obstante, los Phi hacen más eficaz el uso de fungicidas específicos e incrementan las defensas de las plantas ante la posibilidad de infección de algún patógeno (Bettiol, 2006; Lovatt y Mikkelsen, 2006).

### **Fosfitos en el control de fitopatógenos**

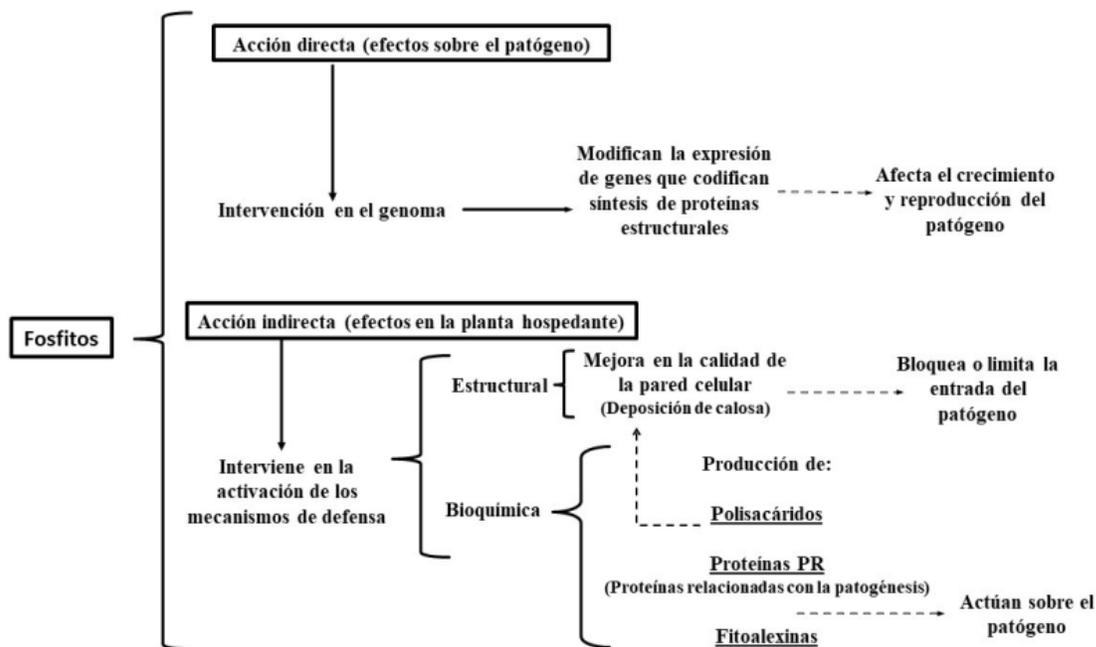
Los fosfitos han sido ampliamente estudiados como una alternativa para el control de organismos fitoparásitos. Su eficacia se ha probado en contra de protozoarios, oomycetes, hongos, bacterias y nematodos. Los niveles de eficacia de los fosfitos en el control de organismos fitoparásitos varían dependiendo del ion unido al fosfito (fosfito de potasio, fosfito de calcio, entre otros), el método de aplicación (vía foliar o radical), el organismo fitopatógeno y la planta hospedante (Monsalve *et al.*, 2012; Yáñez-Juárez *et al.*, 2018).

La efectividad de los fosfitos en el control de fitopatógenos ocurre mediante vía directa o indirecta (Figura 2). En la primera, el ion fosfito al entrar en contacto con los organismos fitopatógenos, afecta su crecimiento y reproducción, al influir en la expresión de genes que codifican la síntesis de compuestos indispensables en la estructura y fisiología celular. Por ejemplo, en oomycetes, la aplicación de fosfitos inhibe la fosforilación oxidativa del metabolismo, en el micelio inhiben el crecimiento y cambian la composición de la superficie, incrementan la actividad de la ruta de las pentosas fosfato e inhiben enzimas reguladas alostéricamente por el fosfato (Yáñez-Juárez *et al.*, 2018; García-Velasco *et al.*, 2020).

La vía indirecta está relacionada con el incremento en la resistencia de la planta. El fosfito ha sido considerado como un bioestimulador de la resistencia sistémica adquirida (SAR), al entrar a las células del tejido vegetal, activa mecanismos bioquímicos y estructurales de defensa (producción de polisacáridos, fitoalexinas o proteínas relacionadas con la patogénesis 'PR') que restringen la penetración y supervivencia de los patógenos (Monsalve *et al.*, 2012; Yáñez-Juárez *et al.*, 2018).

Wong *et al.* (2009) compararon el efecto del ion fosfito y el ion fosfato sobre el crecimiento de *Phytophthora cinnamomi in vitro* y comprobaron la susceptibilidad de los microorganismos al ion fosfito, no así al ion fosfato. Mogollón y Castaño (2012) demostraron la reducción del número y tamaño de colonias y porcentaje de germinación de *Mycosphaerella fijiensis* en medio de cultivo

Agar V8 al aplicar una concentración de  $27 \text{ ml L}^{-1}$  de fosfito de potasio. Por su parte, Hofgaard *et al.* (2010) obtuvieron disminuciones de 60, 80 y 90% en el crecimiento del micelio de *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* y *Microdochium majus* respectivamente, con  $10 \mu\text{l ml}^{-1}$  de fosfito de potasio.



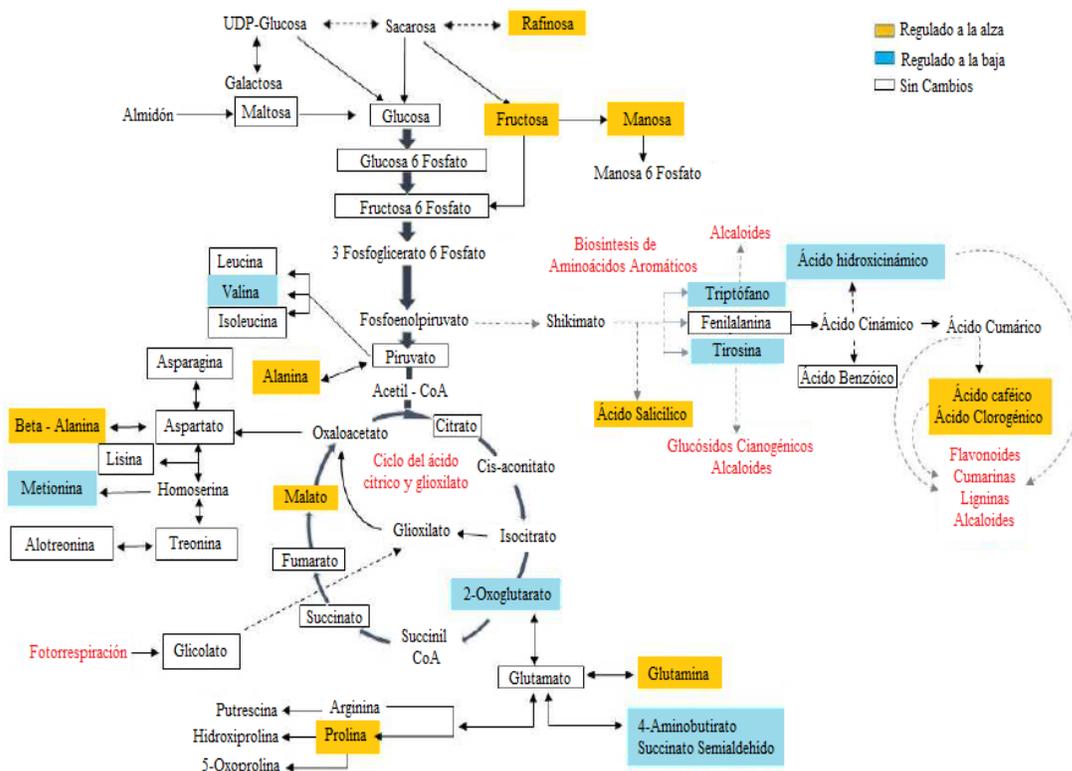
**Figura 2. Modo de acción de los fosfitos, representación esquemática (Yáñez-Juárez *et al.*, 2018).**

King *et al.* (2010) demostraron que existía una modificación inducida por fosfito de potasio en la expresión de genes que codifican la síntesis de proteínas que constituyen la pared celular y el citoesqueleto de *Phytophthora cinnamomi*, lo que originó rompimientos en la pared celular y distorsiones en las hifas. Amiri y Bompix (2011) concluyeron que había un porcentaje de germinación del 53 y de 0% de conidios de *Penicillium expansum* en medio malta dextrosa agar, cuando se aplicaron  $2 \text{ mg L}^{-1}$  de Phi y calentando el medio a 20 y 50 °C, respectivamente. Por otra parte, Cerioni *et al.* (2013) mostraron que concentraciones de 229, 334, 360, 469, 498 y 580  $\text{mg L}^{-1}$  de Phi, inhibían la germinación de conidios de *Penicillium digitatum* en medios de cultivo papa dextrosa agar (PDA).

Araujo *et al.* (2010) evaluaron la eficacia del fosfito de potasio en el control de *Colletotrichum gloeosporoides*, causante de la enfermedad de mancha foliar de glomerella en *Malus domestica*, mediante experimentos *in vivo* e *in vitro*. Demostraron que la adición de fosfitos interfiere el desarrollo micelial, lo que redujo la severidad de la enfermedad en hojas hasta un 62% en los experimentos *in vivo*, mientras que *in vitro* se redujo el diámetro de la colonia hasta 94%.

En cuanto a la vía indirecta, los fosfitos son capaces de activar los mecanismos de defensa naturales de las plantas mediante la producción de fitoalexinas, proteínas PR (relacionadas con la patogénia) y polisacáridos estructurales. Esta activación puede ocurrir debido a la alta movilidad de los fosfitos, los cuales son rápidamente absorbidos vía radical o foliar (Daniel y Guest, 2005; Ribeiro-Chagas *et al.*, 2020).

Wu *et al.* (2018) demostraron cambios significativos en la metabolómica de las hojas de papa (*Solanum tuberosum* L.) al entrar en contacto con aplicaciones de Phi, encontraron cambios en la concentración de productos intermediarios del metabolismo de azúcares, así como del ciclo del ácido cítrico. Los grupos de varios azúcares eran menores, probablemente debido a la interferencia del Phi en las reacciones de fosforilación que podrían influir en el grupo de monosacáridos fosforilados, que afectan los niveles de azúcares libres y la acumulación de almidón. Asimismo, las aplicaciones de Phi están asociadas con niveles más altos de los componentes de la ruta de los fenilpropanoides, como el ácido clorogénico, el ácido cafeico y el ácido salicílico, compuestos que son componentes esenciales en los mecanismos de defensa de las plantas (Figura 3).



**Figura 3. Principales metabolitos identificados en la metabolómica de muestras de hojas de papa y alteración en su abundancia en las plantas tratadas con Phi.** Destacados en cuadrados amarillos están los metabolitos que muestran un aumento de más de 1.3 veces en abundancia en las plantas tratadas con Phi, mientras que en cuadrados azules están los que muestran una disminución de más de 1.3 veces en abundancia. Los metabolitos en cuadrados blancos fueron identificados pero su abundancia no cambió en las plantas tratadas con Phi en comparación con los controles (Wu *et al.*, 2018).

Sin embargo, los reportes comparativos de la eficacia en el control entre fosfitos y fungicidas convencionales indican que los primeros son menos eficaces y no los pueden sustituir por completo, pero su integración como parte de un programa de manejo integrado permite disminuir el uso de fungicidas y reducir la posibilidad de generar resistencia por los organismos (Liljeroth *et al.*, 2016). Silva *et al.* (2013) encontraron una disminución significativa en el área bajo la curva de progresión de la enfermedad causada por *Peronospora manshurica* con aplicaciones de acibenzolar S-metil y fosfitos en soya (*Glycine max*).

Da Silva Neves y Blum (2014) reportaron que aplicaciones de mezclas de los fungicidas piraclostrobina + epoxiconazol, tiofanato de metilo + flutriafol y tebuconazol, junto con aplicaciones de fosfito de potasio reducen la severidad de *Phakopsora pachyrhizi* en soya. Ribero-Chagas *et al.* (2020) mencionan que con aplicaciones de fosfitos con ciproconazol, es posible controlar la incidencia de *Curvularia* sp. En el híbrido 30F53YH de maíz (*Zea mays* L.).

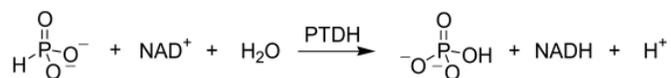
Jackson *et al.* (2000) reportaron una restricción en el desarrollo de lesiones causadas por *P. cinnamomi* en tejidos de *Eucalyptus marginata*, debido a un incremento significativo de las enzimas 4-coumarato coenzima A ligasa y deshidrogenasa de alcohol cinnamil y de fenoles solubles. Olivieri *et al.* (2012) reportaron incrementos en el contenido de pectinas en tejidos de la peridermis y corteza de tubérculos de papa tratadas con fosfito de potasio, lo que mejoró la resistencia a ataques microbiológicos. Por otra parte, Eshraghi *et al.* (2011) mostraron que plántulas de *Arabidopsis thaliana* inoculadas con *P. cinnamomi* tratadas con fosfito de potasio, presentan un incremento en la producción de calosa y de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en las células infectadas.

### Uso de fosfitos como fuente de fósforo

La forma convencional de absorción de P por las plantas son los fosfatos. Actualmente existen varios productos químicos de uso agrícola, que han sido presentados como fertilizantes para suplemento de P principalmente vía foliar, que utilizan como fuente primaria de este elemento formas reducidas como fosfitos de K o Ca entre otros; no obstante, estudios sobre este efecto fertilizante apuntan a una baja o nula acción (Bertsch *et al.*, 2009). Thao *et al.* (2008) concluyeron que el fosfito de potasio aplicado vía foliar o radical, no provee nutrición a plantas de espinaca (*Spinacia oleracea* L.), por el contrario, inhibió severamente el crecimiento de raíces en plantas con deficiencia de fosfato, incluso con niveles bajos de aplicaciones foliares de fosfitos.

Thao y Yamakawa (2009) son tajantes al mencionar que los fosfitos no son fertilizantes y no tienen ningún efecto beneficioso sobre el crecimiento de las plantas sanas, por lo que no deberían de ser comercializados como tales. Thao *et al.* (2009) investigaron el efecto de los fosfitos en relación con los fosfatos sobre el crecimiento y calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y demostraron que la adición de fosfitos no mejoró el crecimiento o la calidad de las plantas. Bertsch *et al.* (2009) estudiaron la capacidad de los fosfitos para suplir las necesidades de P en lechuga (*Lactuca sativa* L.), jitomate (*Solanum lycopersicum*) y plátano (*Musa × paradisiaca*) y demostraron que el P en forma de fosfito, no es utilizable por la planta para llenar sus necesidades de P y tienden a causar daño, y que en condiciones de deficiencia del P, los fosfitos vía raíz no contribuyeron al crecimiento de los cultivos, sino que intensificaron el deterioro del follaje y de la raíz.

Estos resultados difieren con los de investigaciones que describen que el uso de los fosfitos en la agricultura como fuente de fertilización fosfatada, puede ocurrir si los fosfitos entran en contacto con microorganismos que tienen la capacidad de oxidarlos a fosfatos (McDonald *et al.*, 2001; Manna *et al.*, 2016). Varias especies de *Bacillus* pueden oxidar el fosfito e hipofosfito (H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>) a fosfato. Además, se ha reportado que varias cepas de laboratorio comunes, incluida *Escherichia coli*, son capaces de oxidar los fosfitos. La oxidación microbiana del fosfito es posible gracias a la acción de la enzima fosfito deshidrogenasa (PTDH) (Figura 4) (Relyea y Van der Donk, 2005).



**Figura 4. Ecuación de oxidación de fosfito a fosfato mediante la enzima PTDH (Relyea y Van der Donk, 2005).**

Lovatt (1999) reportó incrementos en el rendimiento de naranja (*Citrus × sinensis*) al realizar aplicaciones foliares de fosfito, con base en el número de frutos cosechados por árbol. De forma similar, Albrigo (1999) encontró efectos positivos en el número de flores, rendimiento y sólidos solubles totales en frutos de naranja después de una aspersión foliar. Bertsch *et al.* (2009) indican que concentraciones de fosfito + fosfato promovieron una mayor absorción total de P en los cultivos de lechuga, jitomate y plátano; sin embargo, no identificaron la forma química en que se encuentra el P dentro de la planta.

Estrada-Ortiz *et al.* (2011) demostraron que, en etapa de fructificación, la adición de 30% del P total como fosfito, estimuló el metabolismo de fresa (*Fragaria × ananassa* Duch.), incrementándose las concentraciones de clorofilas a, b y totales, de aminoácidos y de proteínas. De igual manera, Estrada *et al.* (2012) mostraron en cultivo de lechuga que aplicaciones de fosfito de hasta 0.5 meq L<sup>-1</sup> de solución nutritiva favorecieron la acumulación de N, P y K en las raíces y estimularon la acumulación de clorofilas a, b y totales en hojas, sin afectar la ganancia de materia seca de la planta.

Lovatt y Mikkelsen (2006) afirmaron que los efectos negativos en el crecimiento de las plantas son el resultado de un uso inapropiado de los fosfitos, como fuente primaria de P o con aplicaciones en cantidades excesivas. Ya que el fosfito es químicamente diferente al fosfato, estas diferencias deben ser tomadas en consideración para evitar efectos fitotóxicos.

## Conclusiones

Esta ampliamente aceptado el uso de los fosfitos como fungicidas o bioestimuladores de la resistencia sistémica adquirida de plantas, para evitar la incidencia de organismos fitoparásitos. El modo de acción directa ayuda especialmente contra oomycetes, además de hongos, bacterias, protozoarios y nemátodos. Por otra parte, la aplicación de los fosfitos en los cultivos promueve una mejora en el sistema de defensa de las plantas y se incrementan las cantidades de polisacáridos estructurales, de proteínas PR y de fitoalexinas. Si bien los fosfitos por si mismos son menos eficaces en el control de fitoparásitos, se pueden incluir en el control integral de enfermedades, para reducir en mayor medida la incidencia en cultivos.

Es aún debatida la capacidad fertilizante de los fosfitos, si bien estos pueden ser absorbidos vía foliar o radical, y pueden ser transportados vía xilema o floema, no pueden ser utilizados como una forma directa de nutrición fosfatada y por lo tanto, no pueden ser sustitutos directos de los fertilizantes fosfatados. Sin embargo, la capacidad de los microorganismos del suelo de oxidar los fosfitos a fosfatos abre una posibilidad de que estos puedan ser aplicados como fuente de fertilización complementaria a los fertilizantes fosfatados. Hay que considerar también, que existen estudios que avalan la eficacia de los fosfitos como una fuente parcial de fertilización. Es necesario continuar con la investigación sobre la eficacia de aplicar fosfitos como una fuente de fertilización complementaria en la agricultura intensiva.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca proporcionada al primer autor para el desarrollo del Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

## Literatura citada

- Albrigo, L. G. 1999. Effects of foliar applications of urea or nutriphite on flowering and yields of Valencia orange trees. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 112(1):1-4.
- Amiri, A. and Bompeix, G. 2011. Control of *penicillium expansum* with potassium phosphite and heat treatment. *Crop Protec.* 30(2):222-227. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.010>.
- Araujo, L.; Valdebenito-Sanhueza, R. M. and Stadnik, M. J. 2010. Avaliação de formulações de fosfito de potássio sobre *Colletotrichum gloeosporioides in vitro* e no controle pós-infecional da mancha foliar de glomerella em macieira. *Tropical Plant Pathol.* 35(1):54-59. <http://www.scielo.br/pdf/tpp/v35n1/a10v35n1>.
- Aziz, T.; Sabir, M.; Farooq, M.; Maqsood, M. and Ahmad, H. 2013. Phosphorous deficiency in plants: responses, adaptive mechanisms, and signaling. *Plant signaling understanding the molecular crosstalk*. Springer, New Delhi. 133-148 pp. Doi: 10.1007/978-81.322-1542-4-7.
- Barpen. 2004. Ficha técnica Agrifos® 400 SL. [http://www.ghcia.com.co/plm/source/productos/2418\\_13\\_206.htm](http://www.ghcia.com.co/plm/source/productos/2418_13_206.htm).
- Bertsch, F.; Ramírez, F. y Henríquez, C. 2009. Evaluación del fosfito como fuente fertilizante de fósforo vía radical y foliar. *Agron. Costarricense.* 33(2):249-265. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=436/43613279009>.
- Bettiol, W. 2006. Productos alternativos para el manejo de enfermedades en cultivos comerciales. *Fitosanidad.* 10(2):85-98.
- Bozzo, G. G.; Singh, V. K. and Plaxton, W. C. 2004. Phosphate of phosphate addition promotes the proteolytic turnover of phosphate-starvation inducible tomato purple acid phosphatase isozymes. *FEBS letters.* 573(1):51-54.
- Cerioni, L.; Rapisarda, V. A.; Doctor, J.; Fikkert, S.; Ruiz, T.; Fassel, R. and Smilanick, J. L. 2013. Use of phosphite salts in laboratory and semicommercial tests to control citrus postharvest decay. *Plant Dis.* 97(2):201-212. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0299-RE>.
- Da-Silva, N. J and Blum, L. E. 2014. Influência de fungicidas e fosfito de potássio no controle da ferrugem asiática e na produtividade da soja. *Rev. Caatinga.* 27(1):75-82. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2371/237130153009>.
- Daniel, R. and Guest, D. 2005. Defense responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora* challenged *Arabidopsis thaliana*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 67(3-5):194-201.
- Eshraghi, L.; Anderson, J.; Aryamanesh, N.; Shearer, B.; McComb, J.; Hardy, G. E. S. and Brien, P. A. 2011. Phosphite primed defense responses and enhanced expression of defense genes in *Arabidopsis thaliana* infected with *phytophthora cinnamomi*. *Plant Athology.* 60(6):1086-1095. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02471.x>.
- Estrada-Ortiz, E.; Trejo, L. I.; Gómez, F. C.; Núñez, R. y Sandoval, M. 2011. Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17(3):129-138.

- Estrada, O. E.; Gómez, F. C.; Silva, H. V.; Castillo, A. M. y Avitia, E. 2012. Respuestas de lechuga a la aplicación de fosfito en la solución nutritiva. *In: Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas*. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Texcoco, Estado de México.
- Fathi, Z.; Zamani, K. and Malboobi, M. 2021. Phosphite, biotechnology, modern agriculture. *Crop Biotechnol.* 10(32):55-70. Doi: 10.30473/cb.2021.57825.1833.
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar.* 41(2):51-57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>.
- García-Velasco, R.; Mora-Herrera, M. E.; Mejía-Carranza, J.; Aguilar-Medel, S. y González-Millán, M. 2020. Fosfitos de potasio en el manejo de peronospora sparsa berkeley y calidad floral del cultivo de rosa cv Samourai. *Acta Agrícola y Pecuaria.* 7(1):1-10. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071004>.
- Gómez-Merino, F. C. and Trejo-Téllez, L. I. 2015. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Hort.* 196(1):82-90. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.035>.
- Havlin, J. L. and Schlegel, A. J. 2021. Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide soil systems. 5(3):52-71. <https://doi.org/10.3390/soilsystems5030052>.
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Møller, I. S. and White, P. 2012. Chapter 6 functions of macronutrients. *In: marschner, P. (Ed.), marschner's mineral nutrition of higher plants, third edition.* Academic press, San Diego. 135-189 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>.
- Hofgaard, I. S.; Ergon, A.; Henriksen, B. and Tronsmo, A. M. 2010. The effect of potential resistance inducers on development of microdochium majus and *Fusarium culmorum* in winter wheat. *Eur. J. Plant Pathol.* 128(2):269-281. <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9662-5>.
- Jackson, T. J.; Burgess, T.; Colquhoun, I. and Hardy, G. 2000. Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathol.* 49(1):147-154. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2000.00422.x>.
- King, M.; Reeve, W.; Van-Hoek, M. B.; Williams, N.; McComb, J.; Brien, P. A. and Hardy, G. E. 2010. Defining the phosphite-regulated transcriptome of the plant pathogen *phytophthora cinnamomi*. *Mol. Genet Genomics.* 284(6):425-35. <https://doi.org/10.1007/s00438-010-0579-7>.
- Liljeroth, E.; Lankinen, A.; Wiik, L.; Burra, D. D.; Alexandersson, E. and Andreasson, E. 2016. Potassium phosphite combined with reduced doses of fungicides provides efficient protection against potato late blight in large-scale field trials. *Crop Protec.* 86(1):42-55.
- Lovatt, C. J. 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. *HortTech.* 9(4):607-612.
- Lovatt, C. and Mikkelsen, R. 2006. Phosphite fertilizers: what are they? can you use them? what can they do? *Better Crops.* 90(4):11-13.
- Manna, M.; Achary, V. M. M.; Islam T. M.; Agrawal, P. Q. and Reddy, M. K. 2016. The development of a phosphite-mediated fertilization and weed control system for rice. *Scientific Reports.* 6(1):1-13. <https://doi.org/10.1038/srep24941>.
- McDonald, A. E.; Grant, B. R. and Plaxton W. C. 2001. Phosphite (phosphorous acid): its relevance in the environment and agriculture, and influence on the plant phosphate starvation response. *J. Plant Nutr.* 24(10):1505-1519. Doi: 10.1081/PLN-100106017.
- Mixquititla-Casbis, G. y Villegas-Torres, O. G. 2016. Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. *Acta Agrícola y Pecuaria.* 2(3):55-61.

- Mogollón, A. M. and Castaño, J. 2012. Evaluación *in vitro* de inductores de resistencia sobre *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Rev. Facultad Nacional de Agronomía. 65(1):6327-6336.
- Monsalve, V.; Viteri, R.; Rubio, C. y Tovar, D. 2012. Efectos del fosfito de potasio en combinación con el fungicida metalaxyl mancozeb en el control de Mildeo veloso (peronospora destructor berk) en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). Rev. Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 65(1):6317-6325. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179924340003>.
- Olivieri, F. P.; Feldman, M. L.; Machinandarena, M. F.; Lobato, M. C.; Caldiz, D. O.; Dalo, G. R. and Andreu, A. B. 2012. Phosphite applications induce molecular modifications in potato tuber periderm and cortex that enhance resistance to pathogens. Crop Protec. 32(1):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.025>.
- Relyea, H. A. and Van-Donk, W. A. 2005. Mechanism and applications of phosphite dehydrogenase. Bioorganic Chem. 33(3):171-189. Doi: 10.1016/j.bioorg.2005.01.003.
- Ribeiro-Chagas, J.; Costa, R.; Dos-Santos, G.; Abadia, M. and Costa, E. 2020. Foliar fungal diseases control and productivity depending on the phosphite and fungicide application in two corn hybrids. Biot. Veg. Villa clara. 20(1):33-41. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S207486472020000100033&lng=es&nrm=iso>.
- Silva, O.; Santos, A. A.; Deschamps, C.; Dalla-Pria, M. y May-Mio, L. 2013. Fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados a fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura da soja. Tropical plant pathology. 38(1):72-77.
- Thao, H. and Yamakawa, T. 2009. Phosphite (phosphorous acid): fungicide, fertilizer or bio-stimulator? Soil Sci. Plant Nutr. 55(2):228-234. Doi: 10.1111/j.1747-0765.2009.00365.x.
- Thao, H.; Yamakawa T.; Myint, A. and Sarr, P. 2008. Effects of phosphite, a reduced form of phosphate, on the growth and phosphorus nutrition of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Soil Sci. Plant Nutr. 54(5):761-768.
- Thao, H.; Yamakawa T. and Shibata, K. 2009. Effect of phosphite–phosphate interaction on growth and quality of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa*). Soil Sci. Plant Nutr Sci. 172(3):378-384.
- Varadarajan, D. K; Karthikeyan, A. S.; Matilda, P. D. and Raghothama, K. G. 2002. Phosphite, an analog of phosphate, suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. Plant Physiol. 129(3):1232-1240.
- Vinas, M; Mendez, J. C. and Jiménez, V. M. 2020. Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. Sci. Hortic. 265(1):109-200. Doi: 10.1016/j.scienta.2020.109200.
- Wong, M. A.; McComb, B. J.; Hardy, B. G. E. J. and Brien, P. A. 2009. Phosphite induces expression of a putative proteophosphoglycan gene in phytophthora cinnamomi. Australasian Plant Pathol. 38(3):235-241. <https://doi.org/10.1071/AP08101>.
- Wu, L.; Gao, X.; Xia, F.; Joshi, J.; Borza, T. and Wang-Pruski, G. 2018. Biostimulant and fungicidal effects of phosphite assessed by GC-TOF-MS analysis of potato leaf metabolome. Physiol. Mol. Plant Pathol. 106(1):49-56. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2018.12.001>.
- Yáñez-Juárez, M. G.; López-Orona, C. A.; Ayala-Tafuya F.; Partida-Ruvalcaba, L.; Velázquez-Alcaraz T. J. and Medina-López R. 2018. Phosphites as alternative for the management of phytopathological problems. Rev. Mex. Fitopatol. 36(1):79-94. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1710-7>.