

El fosfito: Frontera entre la nutrición de cultivos y el control de plagas y enfermedades

RODRÍGUEZ-NEAVE, Francisco

F. Rodríguez

Profesor-Investigador, Dpto. de Suelos, UACh, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5, 56230 Texcoco de Mora, Méx.
neavef@yahoo.com.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The phosphorus is the second nutriment in importance in the national agriculture. The plants absorb it as phosphate diácido (H_2PO_4^-) and the monoacid phosphate (HPO_4^{2-}). The phosphates take part strongly of the reactions of adsorption and precipitation in the soil, which provokes a low efficiency (30 %) of the phosphoric fertilizers. Recently there have been commercialized the phosphite (H_2PO_3^-), which do not present the problematics of the phosphates, though his three-dimensional structure does not allow him to substitute the phosphate in the nutrition of the plants, nevertheless have been in use effectively in the control of fito-pathogenic fungi (oomycetos). This effect is variable depending on the cation accompanist (K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn). Likewise, there exists abundant evidence of the bio-stimulant action of the phosphite in vegetables (potatoes) and fruit trees (citrus fruits), that is to say it takes part in some metabolic routes of the plant that drive to promote a major production and quality of the crops. Finally we have thought that the phosphite has insecticide effect. In the onion there was discovered that they reduced the number of trips for plant up to in 90 % and in the lettuce the plant louses were brought down even in 80 %. The previous effects will take place as soon as the plant is supplied well of phosphates. Nowadays the technology is had of producing plants with aptitude to take advantage of the phosphite as source of phosphorus, which would allow to diminish the doses of fertilization and to use the phosphite as herbicide

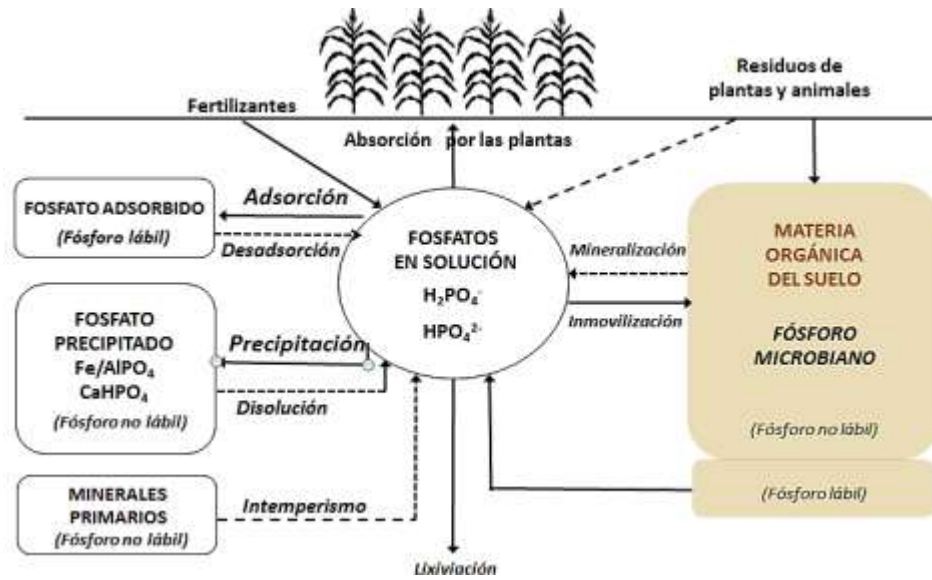
6 Introducción

El fósforo es uno de los 17 nutrimentos esenciales para las plantas superiores. Es el segundo nutrimento en importancia en la agricultura nacional y mundial, después del nitrógeno. La razón de lo anterior se ubica en la baja disponibilidad de las formas aprovechables de fósforo en el suelo (0.06 a 0.1 mg/L), no obstante que la demanda por los cultivos lo ubica más allá del 6º lugar, después del carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, potasio y calcio.

6.1 Fosfatos y fosfitos en la agricultura

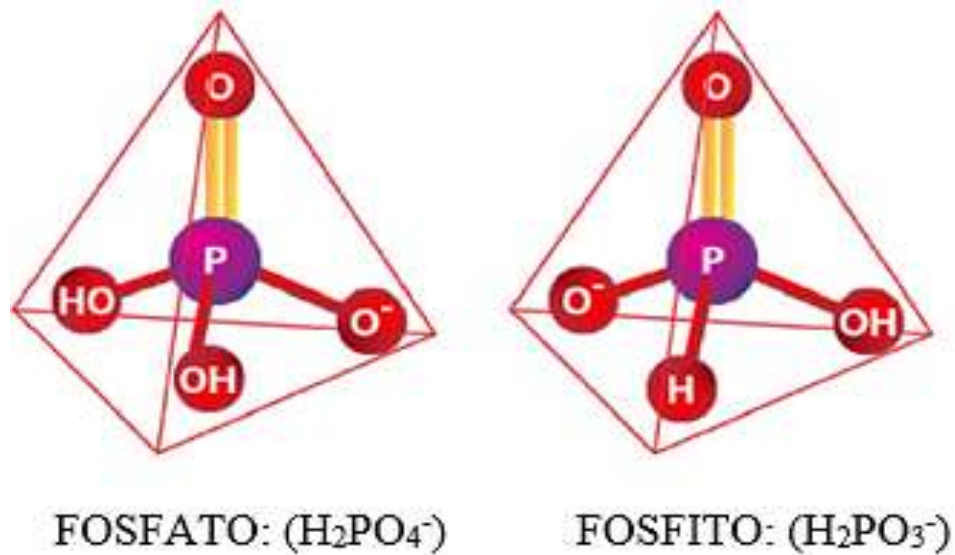
Las formas aprovechables del fósforo por las plantas, son el fosfato diácido (H_2PO_4^-) y el fosfato monoácido (HPO_4^{2-}). El primero es el preferido por las plantas y predomina en ambiente ácido, mientras que el segundo se encuentra en el pH alcalino. Estos aniones son muy reactivos en el suelo, participando de los procesos de adsorción y precipitación (ver Figura 6). La adsorción de los fosfatos se presenta con el aluminio en la superficie de los coloides del suelo ácido y con el Ca^{2+} en la superficie de los coloides del suelo alcalino. La precipitación de los fosfatos se desarrolla principalmente con el Al^{3+} que se encuentra en solución en el suelo ácido y con el Ca^{2+} disuelto en suelo alcalino. La adsorción y precipitación, provocan los bajos de fosfatos encontrados en la solución nutritiva del suelo (0.06 a 0.1 mg/L). Con base en lo anterior, el abastecimiento del fosfato del suelo a la raíz es predominantemente por difusión, la cual es efectiva solo a distancias cortas (mm), por lo que la nutrición fosfórica de las plantas depende de los fosfatos que se encuentren en su rizósfera. La adsorción y precipitación de los fosfatos, explican la eficiencia relativamente baja (alrededor del 30%) de los fertilizantes fosfóricos, es decir de cada 100 kg de P adicionado al suelo, solo 30 kg podrán ser absorbidos por las plantas, mientras que los 70 kg restantes están siendo adsorbidos y precipitados por el suelo. Lo anterior se logra con un buen manejo del fertilizante, lo que significa adicionar toda la dosis a la siembra, lo más cerca posible de donde se establecerán las raíces de las plantas. Este efecto residual, con el paso de los años, promueve el enriquecimiento del suelo con fósforo, hasta el punto de que los métodos analíticos (Bray y Olsen) detectan niveles altos de formas aprovechables de este nutrimento.

Figura 6 Dinámica del fósforo en el suelo (adaptado de Havlin *et al.*, 2005)



Recientemente, se han introducido al mercado de los agroquímicos el ácido fosforoso (H_3PO_3) y sus aniones los fosfitos ($H_2PO_3^-$, HPO_3^{2-}). La ventaja de los fosfitos es que no presentan la problemática de los fosfatos en el suelo, es decir la adsorción y precipitación es menos intensa. Adicionalmente los fosfitos pueden ser absorbidos por los cultivos. Sin embargo, no pueden ser utilizados en las rutas metabólicas de los fosfatos en las plantas, es decir no pueden sustituir al fosfato en la nutrición de los cultivos, debido a las diferencias en la conformación espacial de ambos aniones, las cuales se pueden observar en la Figura 6.1 (Gómez-Merino y Trejo-Tellez, 2015). No obstante, los fosfitos tienen otras ventajas en la agricultura.

Figura 6.1 Estructuras químicas del fosfato y el fosfito (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015)



6.2 Los fosfitos en la nutrición vegetal

En el ámbito de la nutrición de los cultivos, los fosfitos han actuado como bio-estimulantes, según lo demuestra Gómez-Merino y Trejo-Téllez (2015). Este efecto es evidente en los cultivos que no presentan deficiencias de fósforo, es decir cuándo se maneja la dosis adecuada de fosfato. Un resumen de estos efectos en horticultura es el siguiente: en el apio se incrementó el rendimiento; en lechuga se produjo mayor biomasa y contenido de fósforo; en cebolla se aumentó el tamaño jumbo; en papa se logró mayor rendimiento y calidad grado 1, se presentaron más fitoalexinas y quitinasas, se observó una pared celular reforzada, se tuvo una mejor emergencia y crecimiento, se midió mayor colonización de micorriza, más clorofila y mejor protección contra UV; en pimiento se presentó mayor rendimiento y tamaño grado 1; en jitomate se logró mayor biomasa y contenido de fósforo; en aguacate se tuvo mayor rendimiento y tamaño de fruto; en plátano mayor biomasa, área foliar y contenido de fósforo; en cítricos aumento el rendimiento y calidad del fruto; en fresa se promovió mayor crecimiento de raíces y tallos, se incrementó de clorofila, los aminoácidos y proteínas en hoja, se elevó el contenido de antocianinas en fruto; en jitomate se produjo mayor biomasa y contenido de fósforo. Estos efectos se lograron, tanto con el ácido fósfórico, como con el fosfito de potasio. En el primer caso el efecto se atribuye exclusivamente de los fosfitos, mientras que en el segundo caso, el efecto es la combinación de los fosfitos y del macronutriente potasio. Existen en el mercado fosfitos asociados con otros cationes, tales como el magnesio y el calcio, así como con el cobre y el zinc, de tal manera que pueden constituirse en transportadores de esos nutrimentos en la nutrición foliar de los cultivos.

6.3 Los fosfitos y su acción fungicida

Actualmente, el uso principal de los fosfitos es el control de enfermedades fungosas, sobre todo aquellas causadas por oomycetos, como *Phytophthora*, *Pseudoperonospora*, *Peronospora*, *Pythium*, *Albugo*, *Bremia*, etc, según Thao y Yamakawa, (2009). Para lograr eficazmente esta actividad, no deben existir deficiencias de fósforo en las plantas (Thao y Yamakawa, 2009), ya que en caso contrario se presentan efectos contraproducentes. La acción fungicida de los fosfitos, puede ser explicado mediante dos vías. Un efecto indirecto relacionado con el incremento de la resistencias de la planta, ya que los fosfitos intervienen en el metabolismo de la planta como elicitores, estimulando la vía del ácido shiquímico, con lo cual promueven la formación de peroxidasas, fitoalexinas y la acumulación de polímeros fenólicos, además de lignina, en el sitio de infección (Avila et al., 2011). Otra vía de acción de los fosfitos es el efecto directo, es decir el fosfito absorbido por el hongo compete con el fosfato en diversas rutas metabólicas catalizadas por enzimas fosforilativas, pero no cumple plenamente su función debido a las diferencias en su estructura tridimensional (Figura 2), fracasando la construcción del DNA, la estructuración de las membranas con fosfolípidos, en la formación del ATP. Adicionalmente, se han tenido efectos diferentes en la acción fungicida de los fosfitos, en función del catión acompañante. Trejo (2009) evaluó los fosfitos de potasio, de calcio, de magnesio, de zinc y de cobre, en el control de *Phytophthora* en el cultivo de papa, obteniendo los mejores resultados con el zinc y el cobre. Esto puede variar en función de las deficiencias que presente el suelo. Una planta bien abastecida con cobre, promoverá más eficazmente las enzimas que darán lugar a la producción de fitoalexinas y melaninas de acción fungicida y de la lignina que puede fortalecer a las paredes celulares contra la invasión de patógenos.

6.4 Los fosfitos y su acción insecticida

Otro efecto de los fosfitos es su acción insecticida. En trabajos desarrollados en la Universidad Autónoma Chapingo en los cultivos de cebolla, lechuga y tomate de cáscara, hemos tenido resultados muy prometedores en su acción insecticida.

Díaz y Calderón (2014) evaluaron los fosfitos de potasio en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de cebolla, durante tres ciclos. Encontraron que con la dosis de 6 ml del producto comercial/ L de solución, se disminuyó la incidencia de trips hasta por un 90%. Por su parte, Briano y Ponce (2016) evaluaron el fosfito de potasio en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de lechuga. Ellos descubrieron que el número de pulgones por planta disminuyó hasta por un 80% con la dosis de 6 ml del producto comercial/ L de solución, mientras que los trips se abatieron hasta por un 48% con la misma dosis. En el cultivo de tomate de cáscara, Rodríguez (2013) encontró que los fosfitos de potasio, sumados al silicato de calcio, abatieron hasta por un 59% la incidencia de trips. Lovatt y Mikkelsen (2006) indican que los fosfitos estimulan en la planta la vía del ácido shiquímico, lo cual conduce a la producción de metabolitos secundarios, como terpenos, alcaloides, fenoles y ligninas, los cuales están implicados en las defensas químicas (repelentes o tóxicos) y físicas (lignina y pared celular) de la planta contra las plagas.

6.5 Los fosfitos sustituyendo los fosfatos

La acción bio-estimulante, fungicida e insecticida de los fosfitos, además de ser transportador de los macronutrientes K, Ca, Mg y de micronutrientes Cu, Zn y Mn, se logra cuando la planta está bien abastecida de fosfatos. En situaciones de deficiencia de fósforo, el efecto de los fosfitos es negativo. Esto sucede porque los fosfitos adicionados al suelo o al follaje, son absorbidos por las plantas y no pueden ser oxidados a fosfatos y, por tanto, no pueden ser incorporados al metabolismo, inhibiendo además los mecanismos de respuesta de la planta a las deficiencias de fosfato. Existen microorganismos que pueden transformar el fosfito en fosfato. Esta capacidad se puede trasladar a las especies cultivadas, de tal manera que se puede utilizar el fosfito como fertilizantes en los cultivos, como lo ha demostrado los trabajos desarrollados en el Cinvestav, unidad Irapuato. En estas condiciones el fosfito podría actuar como herbicida, sobre todo en condiciones de deficiencia de fosfato, toda vez que las malezas no podrán utilizar el fosfito como fuente de fósforo y no lograrán desarrollarse.

6.6 Referencias

- Ávila, F., Faquin, V., Lopes, J., Marques, D., Ribeiro, M., da Silva, A., Ramos, S. and Pereira, D., (2011). Phosphite supply affects phosphorus nutrition and biochemical responses in maize plants. *Australian Journal of Crop Science* 5 (6): 646-653.
- Briano-Ramos, E. y Ponce-Méndez, D., 2016. Fosfito de potasio en el control de plagas y enfermedades en lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la región de Texcoco, Méx. Tesis profesional, UACH
- Díaz-Cáceres, I. H. y Calderón-Segreste, E. (2014). Evaluación de fosfitos de potasio en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de cebolla en Texcoco, Méx. Tesis profesional, UACH.
- Gómez-Merino, F. y Trejo-Téllez, L. I. (2015). Biostimulant activity of phosphite in horticulturalae. *Review. Scientia Horticulturae* 196 (2015) 82-90
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., & Werner L., N. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers and Introduction to Nutrient Management*. United States of América: Pearson
- Lovatt, C.J., and Mikkelsen, R.L. 2006. Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do? *Bette Crops*, 90, 11-13.

Rodríguez-Romero, D. (2013). Evaluación de bio-reguladores, inductores de resistencia y enraizadores en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis profesional, UACH

Thao, H. and Yamakawa, T., (2009). Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer o bio-stimulator? Review. *Soil Science and Plant Nutrition* (2009) 55, 228-234.

Trejo-Flores, M. N. (2011). Evaluación de fosfitos en el control del tizón tardío *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary en papa (*Solanum tuberosum* L). Tesis profesional UACH.