



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**RENDIMIENTO DE TOMATE (*Solanum Lycopersicum*) EN FUNCION DE
FOSFITO DE POTASIO COMO FERTILIZANTE FOLIAR.**

**PRESENTA:
ROSA INES MAYEN VILLA**

**ARTÍCULO ESPECIALIZADO PARA PUBLICAR EN REVISTA INDIZADA QUE
COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA EVALUACIÓN PROFESIONAL DE LA
CARRERA INGENIERO AGRÓNOMO INDUSTRIAL.**

**ASESORES:
DR. EDGAR JESÚS MORALES
ROSALES
DR. JOSÉ ANTONIO LÓPEZ
SANDOVAL**

**CAMPUS UNIVERSITARIO "EL CERRILLO", EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS,
TOLUCA, ESTADO DE MÉX.**

MARZO 2023.



**RENDIMIENTO DE TOMATE (*Solanum Lycopersicum*) EN FUNCIÓN DE FOSFITO DE POTASIO
COMO FERTILIZANTE FOLIAR**

**YIELD OF TOMATO (*Solanum lycopersicum*) AS A FUNCTION OF POTASSIUM PHOSPHITE AS
FOLIAR FERTILIZER**

Rosa I. Mayén Villa¹, Edgar Jesús Morales-Rosales^{2*}, Edgar Javier Morales-Morales², José Antonio López-Sandoval²

¹Pasante de Ingeniero Agrónomo Industrial, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca – Ixtlahuaca, km 15.5, CP 50200, Toluca, México.

²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca – Ixtlahuaca, km 15.5, CP 50200, Toluca, México.

*Autor de Correspondencia: ejmoralesr@uaemex.mx

RESUMEN. El fosfito de potasio es empleado como supresor de enfermedades, pero es posible utilizarlo en hortalizas como fuente de fósforo y potasio. El tomate producido en México tiene calidad de exportación y a nivel nacional el consumo per cápita es de 12.5 kg. La investigación tuvo como objetivo, evaluar el rendimiento de dos cultivares de tomate en función de cinco dosis de fosfito de potasio (0, 1.2, 1.5, 1.8 y 2.1 L ha⁻¹) suministradas de manera foliar en las etapas de plántula, estado vegetativo e inicio de floración, bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones con arreglo factorial, siendo las dosis de fosfito de potasio (prorratedas en cada etapa fenológica) y los cultivares 'Paipai' y 'Cid' los factores de estudio. Se efectuó el análisis de varianza y cuando los valores de F resultaron significativos se ejecutó la prueba de Tukey ($p < 0.05$). El cultivar 'Cid' tuvo el mejor rendimiento de fruto debido al mayor número de hojas, índice de área foliar, tasa de asimilación neta y número de racimos por planta. Respecto a las dosis, cuando se adicionó 1.2 L ha⁻¹ se optimizó la producción de fruto. La interacción cultivar x dosis reveló que la mayor cantidad de fruto la logró 'Cid' (3.18 kg planta⁻¹) cuando se añadieron 1.2 L ha⁻¹ de producto, mientras que, 'Paipai' con 1.5 L ha⁻¹ produjo 2.74 kg planta⁻¹. Se concluyó que provisionando al follaje fosfito de potasio se acrecentó el rendimiento de baya.

Palabras Clave: Ácido fosforoso, bioestimulante, fertilizante, fosfato, nutrimento.

ABSTRACT. Potassium phosphite is used as a disease suppressant, but it is possible to use it in vegetables as a source of phosphorus and potassium. The tomato produced in Mexico is of export quality and the national per capita consumption is 12.5 kg. The aim of this research was to evaluate the yield of two tomato cultivars as a function of five doses of potassium phosphite (0, 1.2, 1.5, 1.8 and 2.1 L ha⁻¹) supplied foliarly at the seedling stage, vegetative stage and beginning of flowering, under greenhouse conditions. The experimental design was a randomized complete block design with four replications and a factorial arrangement, being the doses of potassium phosphite (prorated at each phenological stage) and the cultivars 'Paipai' and 'Cid' the study factors. Analysis of variance was carried out and when F values were significant, Tukey's test was performed ($p < 0.05$). The 'Cid' cultivar had the best fruit yield due to the highest number of leaves, leaf area index, net assimilation rate and number of bunches per plant. Regarding the doses, when 1.2 L ha⁻¹ was added, fruit yield was optimized. The cultivar x dose interaction revealed that the highest fruit yield was achieved by 'Cid' (3.18 kg plant⁻¹) when 1.2 L ha⁻¹ of product was added, while Paipai with 1.5 L ha⁻¹ produced 2.74 kg plant⁻¹. It was concluded that providing the foliage with potassium phosphite increased berry yield.

Key words: Phosphorous acid, bio-stimulant, fertilizer, phosphate, nutrient.

INTRODUCCIÓN

Los bioestimulantes son una clase diversa de compuestos que incluyen sustancias o microorganismos que tienen efectos positivos en el crecimiento, diferenciación, rendimiento y la composición química de las plantas, así como efectos potenciadores a la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Mohamad-Hezam *et al.* 2021). El fósforo es absorbido por la planta en forma de fosfatos y fosfitos, ambas formas causan efectos diferentes en el cultivo. Los fosfatos son un nutriente esencial porque cumplen funciones específicas en los vegetales (Mixquititla-Casbis y Villegas-Torres 2016). Varios reportes aseguran que las sales de fosfito son más solubles en el suelo que las de fosfatos, ya que los microorganismos del suelo son capaces de incorporar fosfitos y liberar fosfatos. Debido a su equilibrada composición y momento de aplicación, los fosfitos favorecen la diferenciación floral y fructificación de los cultivos (Caballero y Zamora 2017). Es decir, el fosfito es una forma reducida de fosfato y hoy día, está surgiendo como un nuevo estimulante en la horticultura (Morales-Morales *et al.* 2022). Como bioestimulante, su uso dio lugar a una mejor absorción y asimilación de elementos minerales, mayor calidad y valor nutricional del rendimiento agronómico, así como tolerancia al estrés abiótico (Afonso *et al.* 2022). Camoचना *et al.* (2020) argumentan que las formulaciones a base de fosfito (Phi) son una alternativa para enmendar problemas asociados a la

absorción de fósforo a través del tejido foliar. Este ion tiene aproximadamente 7% más fósforo por molécula que el fosfato, lo que permite ampliar el rendimiento de tomate mejorando su calidad. Al respecto, Cruz *et al.* (2014) regaron con fosfito disuelto en la solución Steiner al 75% plantas de *Capsicum annum* 'Serrano', las cuales presentaron buen crecimiento y mayor concentración de nitrógeno, calcio y magnesio en el tejido foliar, por lo que su producción fue mayor en 41% con relación al tratamiento donde se nutrió la hortaliza sólo con la disolución Steiner al 25%. En aguacate (*Persea americana*) se observó que la aspersión de Phi al follaje mejoró el cuajado de fruto y la producción de baya, concluyendo que con una sola aplicación foliar del ion: prolifera la intensidad floral, aumenta el tamaño de fruto, los sólidos solubles totales, el rendimiento y la concentración de antocianinas (Mohan *et al.* 2017). Además, el fosfito diácido de potasio (KH₂PO₃) produce un rápido estímulo en importantes procesos metabólicos de las plantas implicados en la superación del estrés ambiental, control patológico e incremento nutricional (Núñez *et al.* 2017). Concretamente, el fosfito de potasio (KPhi) se utiliza para optimizar el rendimiento, tamaño de fruto, biomasa fresca, seca y la calidad de los cultivos hortícolas (Omar *et al.* 2020). Se aprovisiona por aspersión foliar o mediante la solución nutritiva con riego por goteo. La pulverización a la planta con KPhi estimula el crecimiento y el desarrollo de las raíces en una serie de especies vegetales, agrandando la biomasa en 30% aproximadamente (Caballero y Zamora, 2017). Hoy día, el KPhi se considera como una alternativa para tener mejores plantas con buen rendimiento, que proporciona resistencia al estrés abiótico y a las enfermedades fungosas (Nuno *et al.* 2021). Estos investigadores declararon que el KPhi registró los mejores parámetros morfológicos y químicos con respecto al silicato de potasio, aunque no hallaron diferencias estadísticas significativas entre ambos tratamientos. De acuerdo a Mohamad-Hezam *et al.* (2021) se ha apreciado en *Solanum tuberosum* que la pulverización directa a los tubérculos con KPhi optimiza el crecimiento y rendimiento de la planta. Sin embargo, resultados divergentes sobre él bioestimulante se han divulgado, ya que al usar productos a base de fosfito en los sistemas vegetales como nutrimento no se han encontrado resultados positivos. Es decir, la contribución real como fuente de fósforo para la nutrición de las plantas ha sido objeto de debate (Havlin y Schelegel. 2021). Esta probado que el suministro foliar de Phi es eficaz para activar la respuesta de defensa de la planta, pero no parece contribuir a mejorar el crecimiento y el estado nutricional de los vegetales, lo que sugiere que este anión no es una fuente relevante de nutrientes (Vinas *et al.* 2020). Por lo anterior, la investigación tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de dos genotipos de tomate, en función del suministro foliar de cinco dosis de fosfito de potasio (0, 1.2, 1.5, 1.8 y 2.1 L ha⁻¹) prorrateadas en las etapas fenológicas de plántula, estado vegetativo e inicio de floración bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bioestimulante. Se utilizó el promotor de crecimiento vegetal denominado QFosfi-K cuya composición es: fósforo (P_2O_5) 40%, Potasio (K_2O) 20% y aminoácidos 5% proporcionado por la empresa Química Foliar. De acuerdo con el fabricante, el fosfito de potasio es un producto que se utiliza como un bioestimulante que acelera el crecimiento de las raíces, incrementa el rendimiento, mantiene y uniformiza el tamaño de fruto, provoca la apertura de yemas y mejora la calidad de fruto.

Cultivares. Se utilizaron los cultivares 'Paipai' y 'Cid' los cuáles, de acuerdo a las firmas comerciales que producen semilla de estos genotipos presentan las siguientes características: 'Paipai' es una planta fuerte y compacta con entrenudos cortos, tiene una excelente cobertura foliar con amarres continuos, el fruto tiene buena vida útil, sin problemas de maduración. Es un cultivar de ciclo de cultivo corto, tiene pared gruesa y mantiene el tamaño comercial hasta el final de la cosecha. 'Cid' es un tomate de crecimiento indeterminado, con frutos uniformes en tamaño y forma, con pared gruesa que proporciona una excelente firmeza, color rojo intenso, larga vida útil y alto rendimiento.

Sitio del estudio. El experimento se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2019 bajo condiciones de invernadero en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, localizada en El Cerrillo Piedras Blancas, México a $19^{\circ} 14'$ Norte y $92^{\circ} 42'$ Oeste, con una altitud de 2 611 msnm. El clima predominante es C (W2) (W) b (i), que corresponde a un clima templado húmedo con lluvias de verano, el invernadero es de tipo capilla con ventana cenital y techo en forma de arco; las paredes están cubiertas de malla antiáfidos de nylon blanco; el techo está protegido de plástico transparente con revestimiento para filtrar la radiación ultravioleta. El piso es de tierra y las dimensiones son de 20 m de ancho por 50 m de largo con una apertura cenital de 1 m de ancho y 8 m de altura.

La preparación de la tierra consistió en un barbecho, rastreo y formación de camas de siembra. Se adicionaron 2 kg m^{-2} de composta que se incorporó al suelo con azadón. Las semillas de los dos cultivares se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando composta como sustrato. El trasplante se efectuó cuando las plántulas presentaron la segunda hoja verdadera expandida (20 de marzo de 2019). La fórmula de fertilización fue de 160-100-240 distribuyéndose de la manera siguiente: en el trasplante se adicionó el tratamiento 80-80-140, en floración 60-00-50 y al primer corte 20-20-50 (ICAMEX 2022). Como fuentes se emplearon Urea, Superfosfato de Calcio Triple y Cloruro de Potasio. La distancia entre plantas fue de 0.4 m y la distancia entre camas de 1 m.

Diseño experimental y descripción de los tratamientos. Los tratamientos surgieron del arreglo factorial de los dos factores de estudio: los dos cultivares de tomate ('Paipai' y 'Cid') y las cinco dosis de fosfito de potasio (0, 1.2, 1.5, 1.8 y 2.1 L ha⁻¹) distribuidos en forma equitativa en cada una de las tres fases fenológicas del cultivo (Tabla 1). Los 10 tratamientos fueron acomodados en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Para la toma de los datos se consideraron dos plantas por tratamiento en cada repetición.

(Insertar Tabla 1)

Variabes evaluadas. Las variables fisiológicas y agronómicas valuadas fueron: número de hojas sin considerar el peciolo (NH), área foliar (AF), la cual se determinó midiendo las láminas foliares de toda la planta y se expresó en dm² utilizando un integrador de área foliar modelo LI-3100 (LI-COR, Nebraska, USA), el índice de área foliar (IAF) que se define como el área de hojas verdes por unidad de superficie del suelo se calculó con la ecuación siguiente (Mendoza-Pérez *et al.* 2017):

$$IAF = \left(\frac{AF * NH}{A} \right)$$

Donde: IAF = índice de área foliar; AF = área foliar (dm²); NH = número de hojas y A es el área sembrada (dm²).

Mientras que la eficiencia del follaje se estimó a través de la tasa de asimilación neta (TAN) mediante la siguiente relación de acuerdo a Xuefei *et al.* (2016):

$$TAN = \left(\frac{PS_2 - PS_1}{AF_2 - AF_1} \right) \left(\frac{\log AF_2 - \log AF_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Donde: PS₂ y PS₁, son el peso seco final e inicial de los muestreos; AF₂ y AF₁, son el área foliar final e inicial, log AF₂ y AF₁ de los muestreos; son el logaritmo natural del área foliar final e inicial, t₂ y t₁, son el tiempo final e inicial de cada muestreo.

En la floración se contaron el número de racimos (NRA) y en la cosecha se cuantificó el número, peso y rendimiento de fruto (NFR, PFR y RFR, respectivamente).

Análisis estadístico. Con los datos recabados se efectuaron los análisis de varianza y cuando las pruebas de F (p < 0.05) resultaron significativas se empleó el método de comparación de medias de Tukey (p ≤ 0.05) utilizando SAS (SAS 2004).

RESULTADOS

Análisis de varianza y comparación de medias. Se observaron diferencias altamente significativas (p ≤ 0.01) entre los cultivares, dosis y la interacción en todas las variables excepto en el NFR para el factor

cultivares y en el NH en la interacción cultivar x dosis. Los coeficientes de variación fueron bajos y fluctuaron entre 1.34 y 6.48% para el IAF y NH, respectivamente (Tabla 2).

La comparación de medias en los cultivares mostró que el RFR de 'Cid' se acrecentó en 15.6 % con respecto a 'Paipai' lo cual fue consecuencia de la mayor expresión en todos los caracteres estudiados excepto para el número de frutos. En este sentido, tres variables fisiológicas que incidieron en el rendimiento de baya de 'Cid' ($3.2 \text{ kg planta}^{-1}$) fueron el número de hojas, el índice de área foliar y la tasa de asimilación neta superando a 'Paipai' en 10.4, 16.1 y 30.9%, respectivamente. En la Tabla 2 se advierte que las dosis de fosfito de potasio que se encontraron en el rango de 1.2 y 1.5 L ha^{-1} fueron las mejores. Con 1.2 L ha^{-1} se presentó un efecto positivo en las variables PFR y RFR, mientras que el número de hojas, índice de área foliar, tasa de asimilación neta y número de frutos se incrementó cuando se añadieron 1.5 L ha^{-1} de KPhi. La interacción Cultivar x Dosis reveló este efecto en todas las variables con excepción del NH (Tabla 2). El cultivar 'Cid' exhibió un índice de área foliar de 4.59 cuando se asperjaron 1.5 L ha^{-1} de KPhi, a diferencia de 'Paipai' ya que con esa misma cantidad obtuvo 3.09 en esa variable (Figura 1A), en esa misma figura se aprecia que ambos genotipos tuvieron un descenso en el IAF cuando se añadieron 1.8 L ha^{-1} de producto, siendo mayor la caída en el cultivar 'Cid'.

La tasa de asimilación neta en 'Cid' y 'Paipai' logró su máximo pico con la dosis de 1.5 L ha^{-1} cuyos valores fueron de $0.104 \text{ g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $0.084 \text{ g dm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente (Figura 1 B), también destaca esa figura que los niveles de fosfito añadidos a 'Cid' a partir de esa cantidad mantuvieron constante la tasa de asimilación neta, ya que sus valores variaron entre 0.096 y $0.098 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Los racimos planta^{-1} en 'Cid' consiguieron su máximo número cuando se añadieron 1.2 L ha^{-1} de producto, mientras que en las demás porciones los racimos disminuyeron en 2.1, 12.4 y 17.5% respectivamente. Con relación a esta variable, el cultivar 'Paipai' expresó su máxima cantidad con 1.5 L ha^{-1} de producto (Figura 2A). El número de frutos en 'Paipai' con 2.1 L ha^{-1} y en 'Cid' con 1.5 L ha^{-1} de KPhi mostraron el mayor número de bayas (Figura 2B).

Finalmente, la interacción dosis x rendimiento de fruto demostró que con 1.2 L ha^{-1} de estimulante, el rendimiento de 'Cid' fue de $3.18 \text{ kg planta}^{-1}$ superando en 13.8% al cultivar 'Paipai' cuando se le añadieron 1.5 L ha^{-1} de fosfito de potasio (Figura 3).

DISCUSIÓN

Cultivares. Los procesos eco-fisiológicos ayudan a explicar el crecimiento y desarrollo de las plantas que inciden en el aumento de la producción en el tomate (Latifah *et al.* 2021). El rendimiento es un carácter

cuantitativo controlado por muchos genes (Rojalin *et al.* 2018) y es el resultado del efecto combinado de varios factores como es el genotipo, el ambiente y su interacción (Monge-Pérez y Loria-Coto 2021). En este sentido, dentro de los componentes morfológicos de rendimiento de tomate destacan la altura de planta, número de ramas, número de flores por racimo y número de frutos por planta (Tomar *et al.* 2019). Para analizar el rendimiento de una planta, es necesario el estudio de componentes que involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, tales como el índice de área foliar y la tasa de asimilación neta los cuales estiman la capacidad fotosintética y facilitan la comprensión de la relación entre la acumulación de biomasa y el rendimiento (Martínez-Sías *et al.* 2020). En este tenor, la aplicación foliar de nutrientes a base de fósforo y potasio ayudan a mantener la actividad del aparato fotosintético y a disminuir el proceso de envejecimiento durante el desarrollo reproductivo de las plantas, así el tomate fortalece su potencial productivo (Kovalyshyn y Shevchenko 2020). La superioridad en la producción de baya del cultivar 'Cid' sobre 'Paipai' desde el punto de vista fisiológico fue debida al mayor número de hojas, mayor índice de área foliar y al incremento en la tasa de asimilación neta. Esta inferencia fue corroborada por Won y Jong (2020) en un experimento donde valoraron la eficacia del área foliar sobre el crecimiento de tomate cultivar 'Poongyoung'. De ese ensayo se concluyó que este material genético tuvo un mayor número de frutos debido a su alto índice de área foliar, es decir 'Poongyoung' al poseer mayor superficie foliar, captó mayor radiación solar lo que condujo a un acrecentamiento en la producción de tomate bajo condiciones de invernadero. En otra pesquisa donde se indago el efecto de fosfito de potasio en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) se notó una reducción del periodo plantación-emergencia, así como un desarrollo significativo en el índice de área foliar y la tasa de asimilación neta lo cual ocasionó mayor número de tubérculos en los cultivares 'Shepody' y 'Kennebec' (Tambascio *et al.* 2014).

Desde otra perspectiva, las relaciones directas e indirectas entre el rendimiento del fruto y los componentes morfológicos también incrementan la producción de tomate. Los principales componentes numéricos de rendimiento de esta solanácea son: el número de racimos, el número y peso de fruto por planta. Lo anterior, lo sustenta un estudio donde se asevera que el número de racimos, número de flores por racimo, número de frutos por planta, número de ramas secundarias y primarias son los componentes morfológicos de rendimiento que más influyen en la producción de fruto de tomate (Martínez-Sías *et al.* 2020). Esta aseveración ratifica que el cultivar 'Cid' al tener valores altos en esas características morfológicas obtuvo mayor cantidad de fruto con respecto a 'Paipai'. Se puede concluir que la pulverización foliar de fosfito

potásico produjo mayores efectos benéficos sobre el crecimiento y el rendimiento en el cultivar 'Cid' respecto al cultivar 'Paipai' (Kovalyshyn y Shevchenko 2020).

Dosis. Las dosis de KPhi causaron un comportamiento disímil en los genotipos empleados en el trabajo experimental, siendo las menores porciones (1.2 y 1.5 L ha⁻¹) las que exhibieron mejores promedios en los componentes morfológicos y fisiológicos del tomate. Esta afirmación coincide con el estudio llevado a cabo por Swarup *et al.* (2020) con relación al crecimiento y desarrollo de las plantas. Este grupo de investigadores concluyeron que los fosfitos actúan como un potente bioestimulante cuando se suministran en bajos niveles.

Han *et al.* (2021) estudiaron el impacto del fosfito sobre el metabolismo y la respuesta al estrés de *Solanum tuberosum* para mejorar su producción, concluyendo que al asperjar una solución de fosfito al 1.0% durante la fase vegetativa (5-6 hojas verdaderas) permitió que el cultivo se adaptara mejor a las condiciones del ambiente, elevando el rendimiento de tubérculo. En torno a esto, Swelam y Abd El-Basir (2021) en una indagatoria donde establecieron frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) para valorar diferentes fuentes de potasio de manera foliar, concluyeron que hubo precocidad del cultivo y mayor rendimiento de vaina cuando se utilizó 1.5 g L⁻¹ de fosfito de potasio prorateándolo tres veces a intervalos de 10 días a partir del primer mes después de la siembra. Los citados investigadores confirmaron que este fertilizante es un bioestimulante, ya que mejora la calidad del fruto, activa mecanismos bioquímicos, fisiológicos y moleculares que impulsan el metabolismo de las plantas e interviene en la respuesta del vegetal a infecciones de fitopatógenos. Además, precisan que la superioridad del fosfito de potasio radica en los tres átomos de oxígeno que contiene, lo que le permite mayor movilidad en los tejidos conductores de la planta, por lo que las raíces absorben y translocan los iones dentro del xilema y floema de las plantas. En otro ensayo, Patriota *et al.* (2020) encontraron que al adicionar 200 mL⁻¹ dm³ la eficiencia del uso del fósforo se mejora. En fresa (*Fragaria vesca*) Estrada-Ortiz *et al.* (2011) incorporaron diferentes concentraciones de fosfito (20-40%) en la solución nutritiva durante la fase de desarrollo del fruto, en el análisis de datos hallaron que la cantidad de fósforo en las hojas fue proporcional al nivel de fosfito aplicado y que cuando se aprovisionó fósforo como fosfito en concentraciones de hasta el 40% en la solución no se observaron efectos significativos en comparación con el tratamiento control. Sin embargo, el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de antocianinas en el fruto se beneficiaron al asperjar 30% de este compuesto químico. Estos científicos concluyeron que las concentraciones superiores a 30% en la solución nutritiva afectan negativamente el rendimiento y la calidad de los frutos. Sin embargo, a dosis menores a 30%, el

bioestimulante activó los mecanismos de defensa de las plantas por lo que se agrandó la concentración de antocianinas y mejoró la calidad de la fruta.

Martins *et al.* (2020) hallaron que la pulverización de KPhi (0.5 L ha^{-1}) en la etapa fenológica R1 en *Helianthus annuus* L. atenuó los efectos del estrés por sequía al actuar especialmente en los procesos fisiológicos ligados a las respuestas antioxidantes y al almacenamiento de agua en los tejidos foliares. Los resultados obtenidos apuntan hacia el potencial que tiene este elícitor para mitigar el déficit hídrico en la producción de esta oleaginosa. En plantas de lechuga el aprovisionamiento de 0.25 mM de Phi elevó la concentración de fósforo total en las raíces, los aminoácidos libres totales, azúcares solubles y la concentración de clorofilas, mientras que en las hojas de acelga el efecto fue diferente ya que al añadir más de 0.25 mM a la solución nutritiva afectó negativamente los parámetros de crecimiento y la acumulación de fósforo tanto en las raíces como en los brotes (Estrada-Ortiz *et al.* 2016). En este sentido, existen algunas exploraciones que manifiestan que el abastecimiento de fosfito vía foliar tiene efectos contrastantes sobre el crecimiento, producción de biomasa y nutrición de fósforo. En este orden de ideas, Mohan *et al.* (2017) confirmaron que los fosfitos son compuestos fitotóxicos que causan la inhibición del crecimiento cuando se suministra en dosis elevadas.

Interacción cultivar x dosis. El ion Phi desencadena diferentes respuestas en las plantas dependiendo de los genotipos y las concentraciones utilizadas. Por lo tanto, para inducir efectos positivos en los vegetales las aplicaciones deben ser reguladas y utilizadas a niveles bajos en presencia de suficiente fósforo inorgánico (Pi). La respuesta dependerá del genotipo, del estado del Pi y de las concentraciones suministradas (Estrada-Ortiz *et al.* 2016). Esta afirmación propone la evaluación de KPhi en diferentes hortalizas y sus cultivares, para conocer la respuesta a las diferentes dosificaciones. Han *et al.* (2021) remarcan que se deben entender los efectos del Phi en cada especie vegetal por lo que se debe experimentar en diversas concentraciones con diferente número de aplicaciones para precisar la cantidad y momento de aplicación.

Arana *et al.* (2018) probaron tres fuentes de potasio (sulfato de potasio, muriato de potasio y nitrato de potasio) en dosis de 1 L ha^{-1} y tres activadores fisiológicos (0.5 L ha^{-1}) (fosfito de potasio, fosfito de calcio y fosfito de magnesio) en el cultivar de maíz DK-7088, ratificando que al emplear fertilizantes a base potasio y activadores fisiológicos se agrandó el rendimiento de grano en maíz de temporal. Con el muriato de potasio más los fosfitos, los científicos encontraron una alta influencia significativa sobre los factores agronómicos de crecimiento, especialmente en aquellos relacionados con el rendimiento manifestando diferencias notables con respecto al testigo absoluto. La producción de maíz fue superior a los registrada

en otros ensayos similares en la zona de estudio. La cantidad de grano alcanzado por el híbrido DK-7088 con el suministro de muriato de potasio más fosfito de calcio fue de 9451.65 kg ha⁻¹, cantidad que superó significativamente a los demás tratamientos (Arana *et al.* 2018).

En nuestra pesquisa, los cultivares 'Paipai' y 'Cid' produjeron 2.74 y 3.18 kg de fruto cuando se distribuyó equitativamente el KPhi en las tres fases fenológicas a razón 1.2 y 1.5 L ha⁻¹. Con estas dosificaciones se optimizó el rendimiento y sus principales componentes. Resultados semejantes percibieron Roque-Enríquez *et al.* (2021) en un ensayo donde aplicaron diversos fosfitos en tomate cv 'Río Grande' en una proporción de 2 L ha⁻¹ distribuidos en cuatro aplicaciones, concluyendo que los fosfitos favorecieron la altura de planta, el peso de fruto, el peso fresco y peso seco de la planta así como la producción de materia seca del sistema radical. Los resultados obtenidos por Reyes-Pérez *et al.* (2018) revelaron coincidencias con el anterior estudio, ya que la reacción de *Solanum lycopersicum* al ser tratado con el bioestimulante QuitoMax en dosificaciones de 300 y 400 mg ha⁻¹ dieron lugar a la producción de plantas más vigorosas, es decir, los tratamientos en estas concentraciones ampliaron la duración de todas las fases fenológicas excepto, la fase de fructificación masiva en la madurez. El QuitoMax en estas concentraciones dio lugar a valores más elevados en los indicadores de producción, incluyendo la biomasa fresca de los frutos y rendimiento, además de proporcionar bayas de mejor calidad nutricional con contenidos significativos de sólidos solubles totales y una tendencia hacia un menor grado de acidez, lo que le proporciona un mejor sabor y mayor aceptación por parte del consumidor (Reyes-Pérez *et al.* 2018).

Por último, Tothné *et al.* (2020) aprovisionaron fosfito de potasio en pimiento dulce y tomate en la base del tallo a razón de 0.1 L, durante una, dos y tres aplicaciones por semana, concluyeron que los diferentes tratamientos no impactaron significativamente en el contenido de nutrientes en los frutos de pimiento dulce y tomate, pero el contenido de vitamina C en el pimiento dulce si fue diferente.

CONCLUSIÓN

Por su carácter como nutrimento, el fosfito de potasio en la agricultura moderna es importante, ya que el productor agrícola lo puede utilizar para corregir las deficiencias de fósforo y potasio, proporcionando una mayor producción en tomate cuando se suministra a razón de 1.2 L ha⁻¹ en el cultivar 'Cid' y en dosis de 1.5 L ha⁻¹ en el cultivar 'Paipai' ambas cantidades prorrateadas en las etapas fenológicas de plántula, estado vegetativo e inicio de floración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Química Foliar S. A. de C. V. y a la Universidad Autónoma del Estado de México por las facilidades otorgadas para la realización del Proyecto de Investigación “Manejo sostenible de jitomate bajo cultivo en invernadero”.

LITERATURA CITADA

- Arana A, Navarrete E, Arteaga C, Aragone D, Vásquez G, Castro O, *et al.* (2018) Fertilización con potasio y fosfitos, sobre el rendimiento de maíz duro (*Zea mays*) en la zona subcentral litoral. *European Scientific Journal* 14(15): 46-57.
- Afonso S, Oliveira I, Meyer AS, Gonçalves B (2022) Biostimulants to improved tree physiology and fruit quality: A review with special focus on sweet cherry. *Agronomy* 12: 1-17.
- Caballero V, Zamora M (2017) Impacto de la utilización de fosfito de potasio sobre la implantación, productividad y calidad de trigo pan. *Agrobarrow* 59: 13-15.
- Camochena RC, Steilmann P, Santos I, Dallemole-Giaretta R, Cacia OM (2020) Ação de fosfitos de potássio no manejo de mofo branco em soja. *Summa Phytopathologica* 46: 260-266.
- Cruz E, Can A, Bugarín R, Pineda J, Flores R, Juárez P (2014) Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37(3): 289-295.
- Estrada-Ortiz E, Trejo-Téllez L, Gómez-Merino F, Núñez-Escobar R, Sandoval-Villa M (2011) Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(3): 129-138.
- Estrada-Ortiz E, Trejo-Téllez L, Gómez-Merino F, Silva-Rojas H, Castillo-González A (2016) Physiological responses of chard and lettuce to phosphite supply in nutrient solution. *Journal Agriculture Science Technology* 18: 1079-1090.
- Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX) (2022) Cultivo de jitomate. <https://icamex.edomex.gob.mx/jitomate>. Fecha de consulta 26 de julio de 2022.
- Han X, Xia Y, Zhang Z, Aqa M, Tudor B (2021) Effects of phosphite as a plant biostimulant on metabolism and stress response for better plant performance in *Solanum tuberosum* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 210: 1-13.
- Havlin JL, Schlegel JA (2021) Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide. *Soil Systems* 5: 1-19.

- Kovalyshyn IB, Shevchenko VV (2020) Phosphate and phosphite: influence on the state of wheat photosynthetic apparatus. *Plant Physiology and Genetics* 52(6).
- Latifah E, Krismawati A, Saeri M, Arifin Z, Warsiati B, Setyorini D, *et al.* (2021) Analysis of plant growth and yield in varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grafted onto different eggplant rootstocks. *International Journal of Agronomy* 1: 1-11.
- Martínez-Sías VA, Martínez-Hernández JJ, Zúñiga-Estrada L, Martínez-Montoya JF (2020). Efecto de azufre y gallinaza sobre índices fisiológicos y de rendimiento en *Solanum lycopersicum* L. *Agroproductividad* 13(7): 107-117.
- Martins AG, Alves DA, Ferreira BP, De Freitas ML, Gomes VL, Costa AC (2020) Hydrogen sulfide, potassium phosphite and zinc sulfate as alleviators of drought stress in sunflower plants. *Science and Agrotechnology* 44: 1:14.
- Mendoza-Pérez C, Ramírez-Ayala C, Ojeda Bustamante W, Flores-Magdaleno H (2017) Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 9(1): 37-50.
- Mixquitilla-Casbis G, Villegas-Torres OG (2016) Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. *Acta Agrícola y Pecuaria* 2(3): 55-61.
- Mohamad-Hezam S, Chaski Ch, Polyzos N, Petropoulos A (2021) Bioestimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. *Biomolecules* 11: 1-23.
- Mohan MA, Ram B, Maná M, Datta D, Bhatt A, Malireddy KR, *et al.* (2017). Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnology Journal* 15: 1493-1508.
- Monge-Pérez JE, Loría-Coto M (2021) Determinación de criterios de selección para el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado bajo invernadero. *Avances en Investigación Agropecuaria* 25(1): 7-29.
- Morales-Morales EJ, Martínez-Campos AR, López-Sandoval JA, Castillo-González AM, Rubí-Arriaga M (2022) Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(2): 345-354.
- Nuno RJ, Coelho V, Rodrigues MA, Raimundo S, Afonso S, Arrobas M, *et al.* (2021) Metalaxyl-M, phosphorous acid and potassium silicate applied as soil drenches show different chestnut seedling performance and protection against *Phytophthora* root. *European Journal Plant of Pathology* 161: 147–159.

- Núñez A, Rodríguez A, Medina J, Paricaguán B (2017) Caracterización de fertilizante basado en el fosfito diácido de potasio obtenido con diferentes agentes reductores metálicos. *Revista Ingeniería IC* 24(3): 365-371.
- Omar M, Taha A, Soad S (2020) Effect of applying potassium phosphite with potassium fulvate on plant growth. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering* 11(7): 255-263.
- Patriota VP, Da Nóbrega SE, Araujo RJ, Oliveira Da Silva MR, Canuto SL (2020) Crescimento e acúmulo de fósforo em milho sob doses de fosfato radicular e fosfito vía foliar. *Research Society and Development* 9(5): 1-18.
- Reyes-Pérez J, Enríquez-Acosta E, Murillo-Amador B, Ramírez-Arrebato M, Rodríguez-Pedroso A, Lara-Capistrán L, *et al.* (2018) Physiological, phenological and productive responses of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants treated with QuitoMax. *Ciencia e Investigación Agraria* 45(2): 120-127.
- Rojalin M, Tripathy P, Sahu GS, Dash SK, Lenka D, Tripathy B *et al.* (2018). Character association and path analysis study in determinate tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7(11): 863-870.
- Roque-Enríquez A, Delgado-Ortiz J, Beltrán-Beache M. Ochoa-Fuentes Y (2021) Parámetros agronómicos del tomate (*Solanum lycopersicum*) inoculado con *Candidatus liberibacter solanacearum* y tratados con fosfitos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(1): 1-11.
- SAS Institute Inc (2004) SAS/STAT ® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Swarup R, Mohammed U, Davis J, Rossall S (2020) Role of phosphite in plant growth and development. School of Biosciences, University of Nottingham. Nottingham, UK. <https://www.nottingham.ac.uk/biosciences/documents/research/2020-research-documents/swarup-uon-phosphite-white-paper-april-2020.pdf>. Fecha de consulta 4 de octubre de 2022.
- Swelam W, El Basir E (2021) Relationship between potassium fertilization sources and improvement of snap bean green pods quality for exportation. *Journal of Plant Production* 12(4): 399-406.
- Tambascio F, Covacevich MC, Lobato C, Caldiz D, Dosio G, Andreu A (2014) The application of K phosphites to seed tubers enhanced emergence, early growth, and mycorrhizal colonization in potato (*Solanum tuberosum*). *American Journal and Plant Science* 5(1): 132-137.
- Tomar S, Kumari M, Pratap B, Gangwar V (2019) Direct and indirect relationships among fruit yield and yield components in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Archive of Applied Sciences and Technology* 10(4): 158-163.

- Tothné TZ, Kovács A, Petó J, Palkovics A (2020) Changes in the quality and nutrient content of sweet pepper and tomato after phosphite foliar fertilizer treatment in hydroculture in different growing seasons. *Gradus* 7(2): 186-190.
- Vinas M, Méndez J, Jiménez V (2020) Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. *Scientia Horticulturae* 265(1): 109-200.
- Won JJ, Jong HS (2020) Effect of leaf-area management on tomato plant growth in greenhouses. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 61: 981–988.
- Xuefei L, Schmid B, Wang F, Paine CET (2016). Net assimilation rate determines in growth rates of 14 species of subtropical forest trees. *Plos One* 11(3): 1-13

Tabla 1. Cantidad de fosfito de potasio ($L\ ha^{-1}$) suministrados a *Solanum lycopersicum* en tres fases fenológicas

Cultivar	Fenología			
	Plántula ($L\ ha^{-1}$)	Vegetativa ($L\ ha^{-1}$)	Floración ($L\ ha^{-1}$)	Total ($L\ ha^{-1}$)
'Paipai'	0	0	0	0
	0.4	0.4	0.4	1.2
	0.5	0.5	0.5	1.5
	0.6	0.6	0.6	1.8
	0.7	0.7	0.7	2.1
'Cid'	0	0	0	0
	0.4	0.4	0.4	1.2
	0.5	0.5	0.5	1.5
	0.6	0.6	0.6	1.8
	0.7	0.7	0.7	2.1

Tabla 2. Efecto de cultivares y dosis de fosfito de potasio en algunos componentes de rendimiento de *Solanum lycopersicum*.

Factor	NH	IAF	TAN (g dm ⁻² d ⁻¹)	NR	NFR (g)	PFR (g)	RFR (kg planta ⁻¹)
Cultivar	***	***	***	***	NS	***	***
'Paipai'	21.5 ^b	2.6 ^b	0.065 ^b	8.3 ^b	40.7 ^a	61.2 ^b	2.7 ^b
'Cid'	24.0 ^a	3.1 ^a	0.094 ^a	8.5 ^a	40.1 ^a	69.5 ^a	3.2 ^a
Tukey	1.29	0.11	0.014	0.50	0.7	1.53	0.15
Dosis	**	**	**	**	**	**	**
L ha ⁻¹							
0	21.4 ^b	1.9 ^e	0.062 ^e	7.1 ^b	39.0 ^b	59.1 ^c	2.3 ^d
1.2	23.8 ^{ab}	3.1 ^c	0.083 ^c	8.4 ^a	38.6 ^b	77.4 ^a	3.1 ^a
1.5	24.5 ^a	3.8 ^a	0.094 ^a	8.4 ^a	43.5 ^a	66.5.9 ^b	2.9 ^b
1.8	21.8 ^{ab}	2.4 ^d	0.074 ^d	8.2 ^b	37.6 ^b	66.3 ^b	2.5.3 ^c
2.1	22.1 ^{ab}	3.1 ^b	0.08 ^b	8.1 ^b	43.0 ^a	57.5 ^c	2.5.0 ^c
Tukey	2.65	0.12	0.008	1.03	1.44	3.5	0.19
C x D	Ns	**	**	**	**	**	**
CV (%)	6.48	1.34	1.53	5.05	1.97	2.67	2.83

** Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para los efectos simple y de interacción. Dentro de cada columna, las medias seguidas de diferentes letras son significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

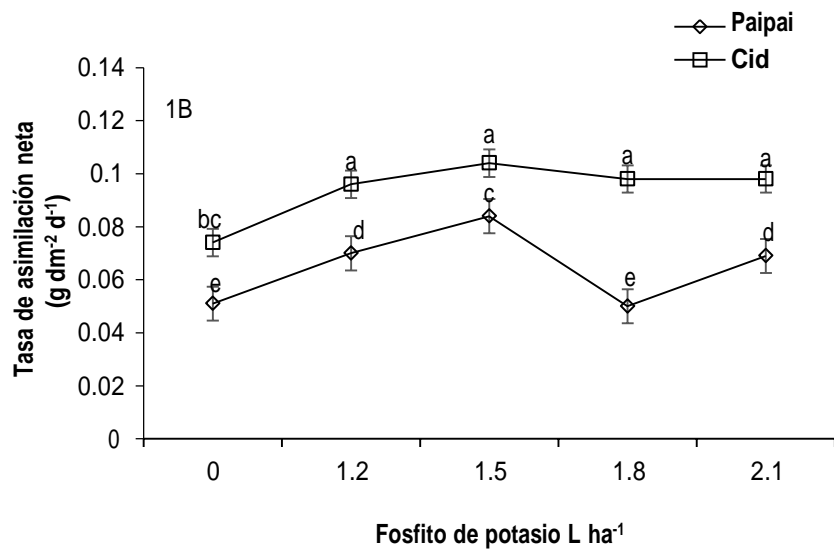
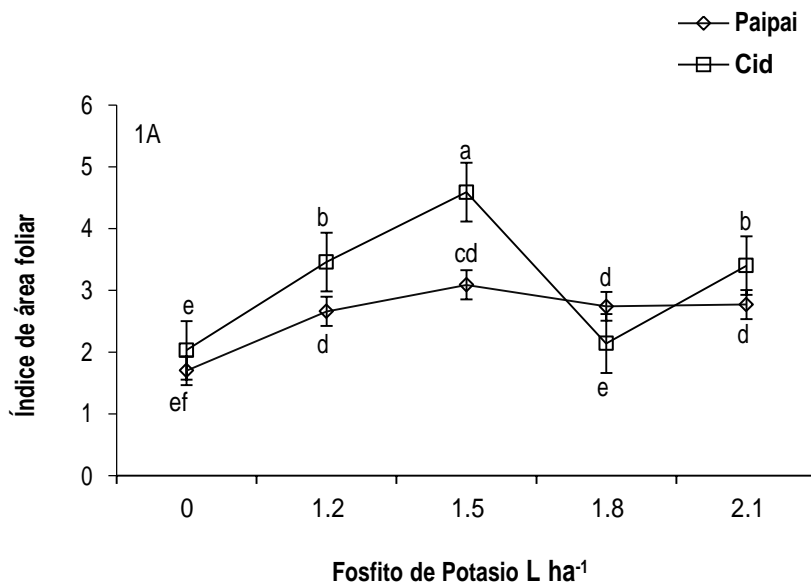


Figura 1. Prueba de comparación de medias para las interacciones índice de área foliar x dosis de fosfito de potasio (1A) y tasa de asimilación neta x dosis de fosfito de potasio (1B). Puntos con la misma literal no difieren estadísticamente entre sí. Las barras representan el error estándar.

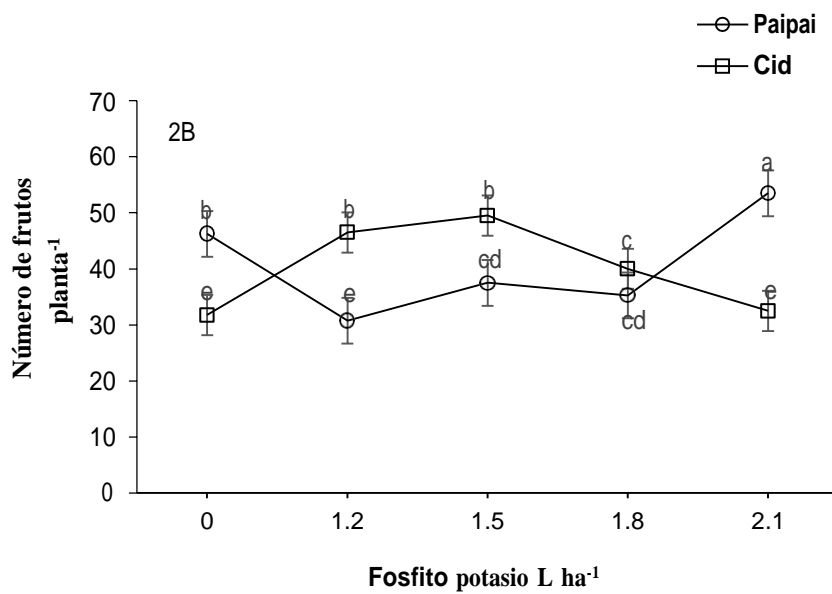
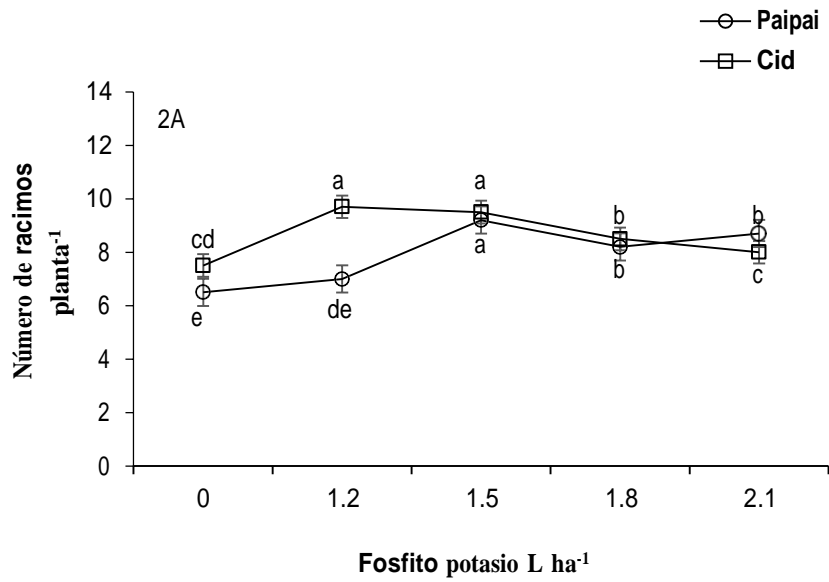


Figura 2. Prueba de comparación de medias para las interacciones número de racimos x dosis de fosfito de potasio (2A) y número de frutos x dosis de fosfito de potasio (2B). Letras con misma literal no difieren estadísticamente entre sí. Las barras representan el error estándar.

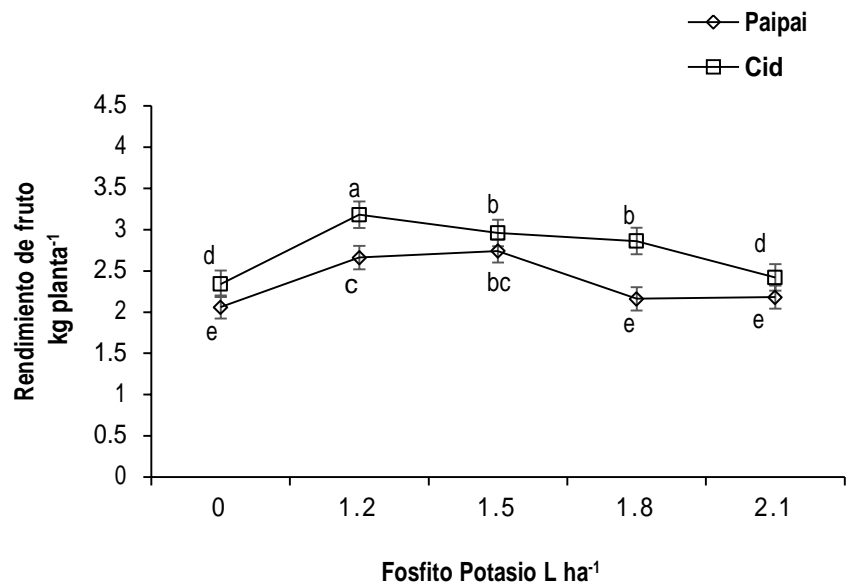


Figura 3. Prueba de comparación de medias para la interacción rendimiento de fruto x dosis de fosforo de potasio. Letras con misma literal no difieren estadísticamente entre sí. Las barras representan el error estándar.