

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 Inés 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:
ejmorales@uaemex.mx

Artículo científico

Recibido: 22 de noviembre 2022

Aceptado: 23 de junio 2023

Como citar: Mayén-Villa RI, Morales-Rosales EJ, Morales-Morales EJ, López-Sandoval JA (2023) Rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum*) en función de fosfito de potasio como fertilizante foliar. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): e3543. DOI: 10.19136/era.a10n2.3543

RESUMEN. El tomate (*Solanum lycopersicum*) se consume en el mundo, porque es rico en vitaminas y sales minerales. El Qfosfik[®] es un bioestimulante que incrementa el rendimiento y mejora la calidad de fruto en diferentes cultivos. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de fosfito de potasio sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivares de tomate Paipai y Cid. El experimento se realizó en condiciones de invernadero en la Facultad de Ciencias Agrícolas, durante 2019 sobre un suelo vertisol, en un diseño de bloques al azar con 10 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos aplicados surgieron del arreglo factorial de los dos cultivares de tomate y cinco concentraciones de fosfito de potasio (0, 1,2, 1,5, 1,8 y 2,1 L ha⁻¹) prorratedos en el trasplante, estado vegetativo e inicio de la etapa reproductiva. Se evaluó el número de hojas, el índice de área foliar, la tasa de asimilación neta, el rendimiento de baya y los componentes morfológicos: número de racimos y frutos. El cultivar Cid tuvo el mejor rendimiento debido al mayor número de hojas, índice de área foliar, tasa de asimilación neta y número de racimos planta⁻¹. Respecto a las dosis, cuando se adicionó 1.2 L ha⁻¹ se optimizó la producción. La interacción cultivar × 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.

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

ABSTRACT. Tomato (*Solanum lycopersicum*) is consumed worldwide as it is rich in vitamins and mineral salts. Qfosfik[®] is a biostimulant that increases yield and improves fruit quality in different crops. The objective of the research was to evaluate the effect of foliar application of potassium phosphite on the growth and yield of tomato cultivars Paipai and Cid. The experiment was conducted under greenhouse conditions at the Faculty of Agricultural Sciences, during 2019 on a vertisol soil, in a randomized block design with 10 treatments and 4 replications. The treatments applied arose from the factorial arrangement of the two tomato cultivars and five concentrations of potassium phosphite (0, 1.2, 1.5, 1.5, 1.8 and 2.1 L ha⁻¹) prorated at transplanting, vegetative stage and beginning of the reproductive stage. Leaf number, leaf area index, net assimilation rate, berry yield and morphological components: number of clusters and fruit were evaluated. The cultivar Cid had the best yield due to the highest number of leaves, leaf area index, net assimilation rate and number of bunches plant⁻¹. Regarding the doses, when 1.2 L ha⁻¹ was added, yield was optimized. The cultivar × 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.

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

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de una planta está en función de los componentes morfológicos y fisiológicos que involucran procesos relacionados con el crecimiento vegetativo, tales como el índice de área foliar y tasa de asimilación neta, los cuales estiman la capacidad fotosintética y facilitan la comprensión de la relación entre la acumulación de biomasa y producción de *Solanum lycopersicum* (Martínez-Sías et al. 2020). Por otro lado, los bioestimulantes son compuestos que incluyen sustancias o microorganismos que tienen efectos positivos en el crecimiento, diferenciación, rendimiento y tolerancia al estrés biótico y abiótico (Shahrajabian et al. 2021). Al respecto, Díaz-Martín et al. (2013) al añadir el estimulante (FitoMas-E) en dosis de 0.6 L ha⁻¹ a *S. lycopersicum* reportaron que la altura de planta, área foliar, número de frutos, racimos por planta, peso de fruto y rendimiento de baya se incrementaron significativamente con respecto al tratamiento testigo.

Por lo que se refiere al fósforo, este 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 cumple funciones específicas en los vegetales y su aplicación al follaje como complemento aporta beneficios (Mixquititla-Casbis y Villegas-Torres 2016). En concreto, la aplicación foliar de fósforo en pimiento morrón mejoró sus caracteres morfológicos, por lo que constituye un método eficaz para acrecentar la producción y calidad del fruto (El-Mogy et al. 2019).

El fosfito (Phi) es una forma reducida de fosfato y hoy día, está surgiendo como un nuevo estimulante en la horticultura (Morales-Morales et al. 2022). Debido a su equilibrada composición y momento de aplicación, los fosfitos favorecen la diferenciación floral y fructificación de los cultivos (Caballero y Zamora 2017). 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). Asimismo, Camochena et al. (2020) indican que las formu-

laciones a base de 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 (Morales-Morales et al. 2022). Dentro de los estudios con fosfito como nutrimento se encuentran los realizados en aguacate (*Persea americana*) donde se observó que la aspersión al follaje mejoró el cuajado de fruto y la producción de baya, concluyendo que una aplicación foliar del ion ayuda en la proliferación de la intensidad floral, aumenta el tamaño de fruto, se incrementan los sólidos solubles totales, el rendimiento y la concentración de antocianinas (Mohan et al. 2017). Igualmente, Omar et al. (2020) encontraron que el fosfito de potasio (KPhi) se utiliza para optimizar el tamaño de fruto, biomasa fresca, rendimiento y la calidad de cultivos hortícolas. Cuando se proporciona en aspersión foliar estimula el crecimiento y el desarrollo de raíces en una serie de especies vegetales, agrandando la biomasa en 30% aproximadamente (Caballero y Zamora 2017). De acuerdo, a Shahrajabian et al. (2021) la pulverización directa de fosfito a tubérculos de *Solanum tuberosum* optimiza el crecimiento y rendimiento de la planta. En otras especies vegetales como trigo (*Triticum aestivum*), canola (*Brassica napus*), remolacha azucarera (*Beta vulgaris*) y pasto ballico (*Lolium multiflorum*), la aplicación del bioestimulante provoca el crecimiento y desarrollo de raíces (Rossall et al. 2016). Por lo anterior, la investigación tuvo como objetivo evaluar los componentes fisiológicos y morfológicos en el rendimiento de dos genotipos de tomate, en función del suministro foliar de cinco dosis de fosfito de potasio 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 (P₂O₅) 40%, Potasio (K₂O) 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. Mientras que 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° 14' Norte y 92° 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 en 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 compost que se incorporó al suelo con azadón. Las semillas de los dos culti-

vares se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando compost como sustrato. El trasplante al suelo se efectuó cuando las plántulas presentaron la segunda hoja verdadera expandida (20 de marzo de 2019). La fertilización de fondo fue con la fórmula 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, el riego fue por goteo utilizando cinta Flow Control® Drip tape, regándose cada tercer día durante dos horas en la mañana. Cada parcela experimental constó de 6 plantas.

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 cinco dosis de fosfito de potasio (0, 1.2, 1.5, 1.8 y 2.1 L ha⁻¹). Las soluciones de KPhi fueron aplicadas de manera foliar (a punto de goteo), en el testigo se aplicó sólo agua. Las mediciones de los volúmenes se efectuaron con probetas graduadas de plástico con capacidad de 25 mL. Las aspersiones al dosel se realizaron con un aspersor manual de jardinería (Solo; Newport News, Virginia, EUA). Las aplicaciones se hicieron al momento del trasplante, etapa vegetativa y etapa reproductiva (Tabla 1). Los 10 tratamientos fueron acomodados en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para la toma de los datos se consideraron dos plantas por tratamiento en cada repetición.

Variables evaluadas

Las variables fisiológicas valuadas fueron: número de hojas sin considerar el peciolo, área foliar, la cual se determinó midiendo las láminas foliares de toda la planta y se expresó en decímetros cuadrados utilizando un integrador de área foliar modelo LI-3100 (LI-COR, Nebraska, USA), el índice de área foliar que se define como el área de hojas verdes

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

Cultivar	Fenología			Total
	Plántula	Vegetativa ($L\ ha^{-1}$)	Floración	
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

por unidad de superficie del suelo. Se estimó a los 45 días después de trasplantar mediante la ecuación siguiente (Morales-Rosales et al. 2008):

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

Donde: IAF = índice de área foliar; AF = área foliar (dm^2); NH = número de hojas y A es el área sembrada (dm^2).

Mientras que la eficiencia del follaje se estimó a través de la tasa de asimilación neta (TAN) 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: PS_2 y PS_1 , son el peso seco final e inicial de los muestreos; AF_2 y AF_1 , son el área foliar final e inicial, $\log AF_2$ y AF_1 de los muestreos; son el logaritmo natural del área foliar final e inicial, t_2 y t_1 , son el tiempo final e inicial de cada muestreo. Los muestreos se realizaron a los 15 y 60 días después del trasplante (ddt). Se contó el número de racimos (NRA) a los 75 ddt 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 ($p \leq 0.05$) utilizando SAS (SAS 2004).

RESULTADOS

Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los cultivares, dosis y la interacción en todas las variables excepto en el número de frutos para el factor cultivares y en el número de hojas en la interacción cultivar \times dosis. Los coeficientes de variación fueron bajos y fluctuaron entre 1.34 y 6.48% para el índice de área foliar y número de hojas, respectivamente (Tabla 2).

La comparación de medias en los cultivares mostró que el rendimiento de fruto en 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 la producción de baya de Cid ($3.2\ kg\ planta^{-1}$) 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 benéfico en las variables peso y rendimiento de fruto y, mientras que el número de hojas, índice de área foliar, tasa de asimilación neta y número de frutos se ampliaron cuando se añadieron $1.5\ L\ ha^{-1}$ de KPhi. La interacción Cultivar \times Dosis reveló este efecto en todas las variables con excepción del número de hojas (Tabla 2). El cultivar Cid exhibió un IAF de 4.59 cuando se asperjaron $1.5\ L\ ha^{-1}$ de KPhi, a diferencia de Paipai, que con esa misma cantidad obtuvo 3.09 en esa variable (Figura 1A). Ambos genotipos

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	2.53 ^c
2.1	22.1 ^{ab}	3.1 ^b	0.08 ^b	8.1 ^b	43.0 ^a	57.5 ^c	2.50 ^c
Tukey	2.65	0.12	0.008	1.03	1.44	3.5	0.19
C × 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 ($p \leq 0.05$).

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 adquirió su máximo pico con la dosis de 1.5 L ha⁻¹ cuyos valores fueron de 0.104 y 0.084 g dm⁻² día⁻¹, respectivamente (Figura 1B). Los niveles de fosfito añadidos a Cid a partir de esa cantidad (1.5 L ha⁻¹) mantuvieron constante la TAN, ya que sus valores oscilaron entre 0.096 y 0.098 g m⁻² día⁻¹.

Los racimos por planta en Cid consiguieron su mayor cantidad cuando se añadieron 1.2 L ha⁻¹, mientras que en las demás porciones los racimos disminuyeron en 2.1, 12.4 y 17.5%, respectivamente. Respecto a esta variable, el cv. Paipai expresó su máxima cantidad con 1.5 L ha⁻¹ de bioestimulante (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). La interacción dosis × rendimiento de fruto demostró que con 1.2 L ha⁻¹ el rendimiento de Cid fue de 3.18 kg planta⁻¹ superando en 13.8% al cv. Paipai cuando se añadieron 1.5 L ha⁻¹ de KPhi (Figura 3).

DISCUSIÓN

Los mecanismos que establecen el crecimiento y rendimiento de las plantas y como

interactúan con su entorno, contribuyen en el aumento de la producción. Dentro de los componentes morfológicos del rendimiento destacan la altura de planta, número de ramas, número de flores, número de racimos y número de frutos por planta (Tomar *et al.* 2019). Acerca de esto, las diferencias estadísticas observadas en todos los caracteres morfológicos (excepto en el número de frutos) causaron que Cid produjera más que Paipai. Esto lo confirmaron Yeshiwas *et al.* (2016) ya que al evaluar el crecimiento de cuatro genotipos de *S. lycopersicum* concluyeron que la altura de planta, número de racimos y frutos incidieron en la producción de baya. El mayor rendimiento de Cid sobre Paipai, se debió también a los componentes que involucran procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo y reproductivo, como el índice de área foliar y la tasa de asimilación neta, los cuales estiman la capacidad fotosintética y su relación entre la acumulación de biomasa y el rendimiento (Martínez-Sías *et al.* 2020). La superioridad en la producción del cv. Cid ante Paipai fue debida además a la cantidad de hojas. Al respecto, Mendoza-Pérez *et al.* (2020) valoraron el IAF y su impacto en la producción de *S. lycopersicum* cv Cid bajo condiciones de invernadero, obteniendo IAF de 3.69, 5.27 y 6.16 cuando dejaron uno, dos y tres tallos planta⁻¹ con rendimientos de 16,18 y 20 kg m⁻² respectivamente. En contraparte, los IAF que

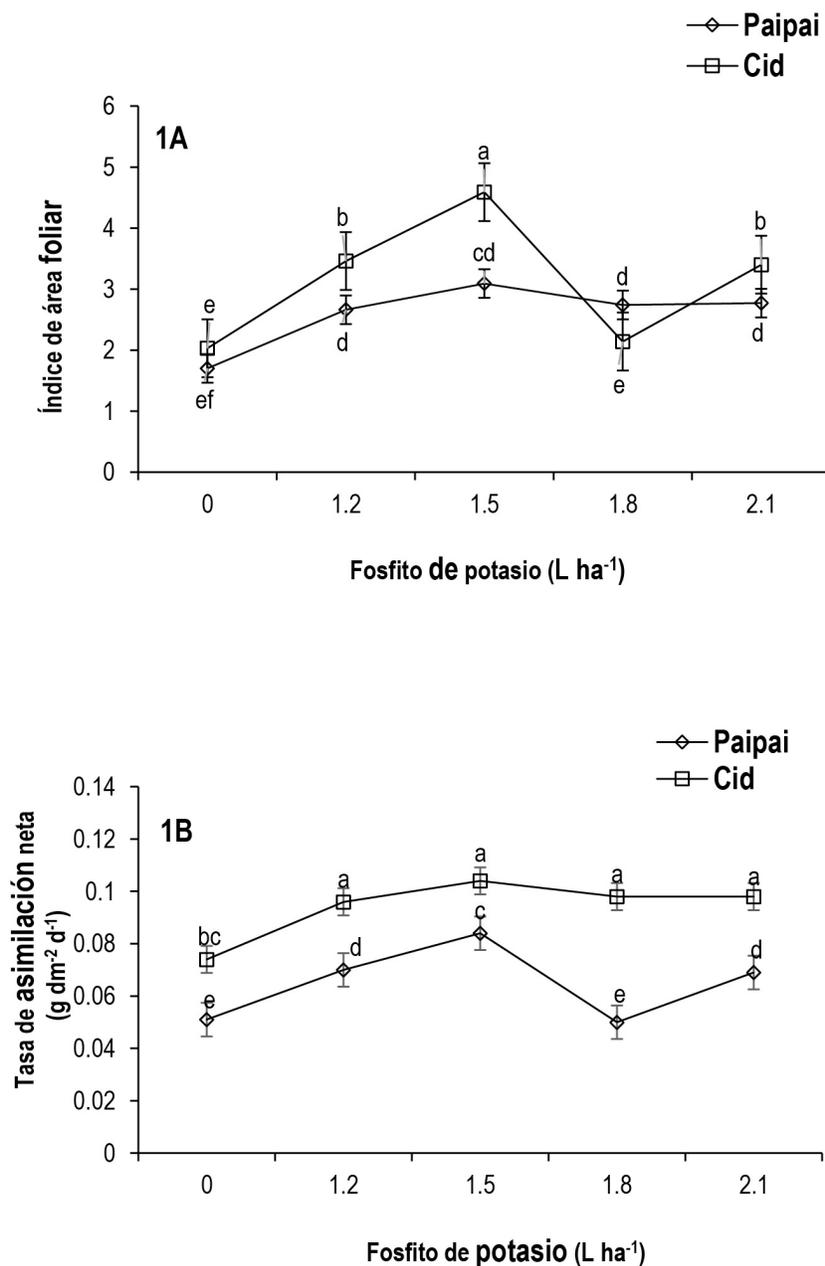


Figura 1. Prueba de comparación de medias para las interacciones índice de área foliar × dosis de fosfito de potasio (1A) y tasa de asimilación neta × dosis de fosfito de potasio (1B). Puntos con la misma literal no difieren estadísticamente entre sí. Las barras representan el error estándar.

alcanzaron Paipai (2.6) y Cid (3.1) en este ensayo fueron inferiores, pero la producción de fruto fue similar (15.6 y 18.6 kg m⁻², correspondientemente). Esta inferencia fue corroborada por Won y Jong (2020) cuando estudiaron la eficacia del área foliar sobre el

crecimiento de tomate cv. Poongyoung, encontrando que este genotipo tuvo un mayor número de frutos debido a su índice de área foliar ya que al poseer mayor follaje, captó mayor radiación solar, lo que condujo a un incremento en la producción bajo condiciones de

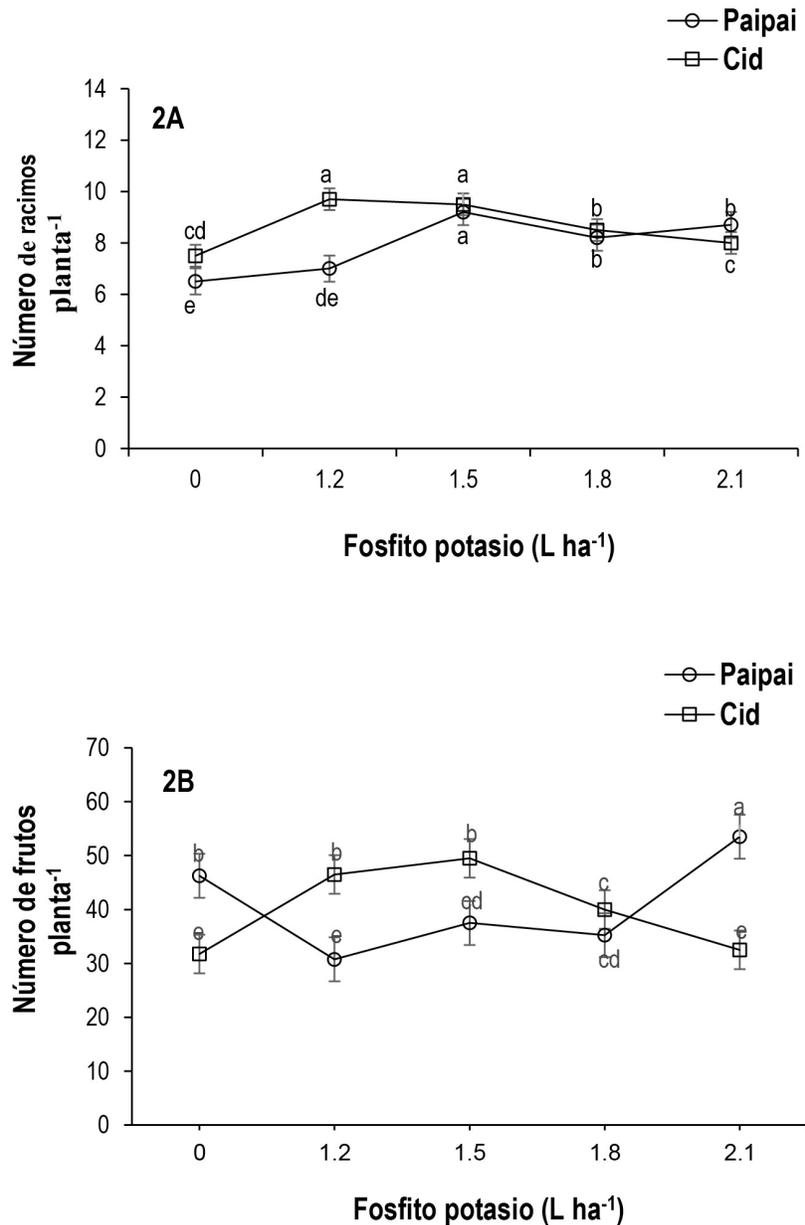


Figura 2. Prueba de comparación de medias para las interacciones número de racimos × dosis de fosfito de potasio (2A) y número de frutos × dosis de fosfito de potasio (2B). Puntos con misma literal no difieren estadísticamente entre sí. Las barras representan el error estándar.

invernadero.

La tasa de asimilación neta superior del tomate Cid sugiere que el follaje de este cultivar fue más eficaz que Paipai en la formación de fotoasimilados y, por tanto, la velocidad de fotosíntesis neta fue significativa (Morales-Rosales *et al.* 2008). Las

tasas de asimilación neta de Cid y Paipai fueron de 0.094 y 0.065 g dm² d⁻¹, respectivamente, lo que explicó la mejor producción de 'Cid' en tal sentido, Latifah *et al.* (2021) realizaron el análisis de crecimiento en tres cultivares de jitomate injertados, reportando tasas de asimilación neta y rendimien-

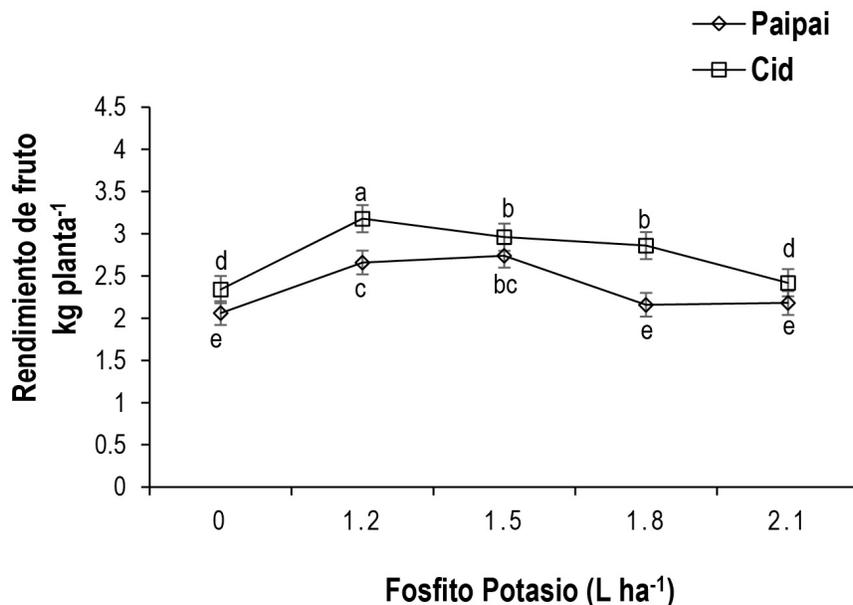


Figura 3. Prueba de comparación de medias para la interacción rendimiento de fruto × dosis de fosfito de potasio. Letras con misma literal no difieren estadísticamente entre sí. Las barras representan el error estándar.

tos superiores con relación a los tres cultivares sin injertar. Esta aseveración está de acuerdo con Kovalyshyn y Shevchenko (2020) en *Triticum aestivum* cv. 'Zymoiarka' quienes encontraron que la aplicación foliar de nutrientes a base de fósforo y potasio ayudan a mantener la actividad del aparato fotosintético (mayor tasa de asimilación neta) y a disminuir el proceso de envejecimiento durante el desarrollo reproductivo de las plantas.

Las dosificaciones de fosfito de potasio tuvieron efectos diferentes en los genotipos, siendo las porciones de 1.2 y 1.5 L ha⁻¹ las que exhibieron promedios mayores en los componentes morfológicos y fisiológicos. Esta afirmación, confirmó lo mencionado por Swarup *et al.* (2020) quienes indicaron que diferentes dosis influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, reportando que en dosis de 0.5 a 2 L ha⁻¹, los fosfitos actúan como bioestimulante. En este sentido, Walaa y El Basir (2021) evaluaron 10 diferentes fuentes fertilizantes de potasio suministrándolos al follaje de frijol ejotero, incluyendo KPhi a razón de 1.5 L ha⁻¹ prorrateándolo a los 30, 40 y 50 días después de la siembra, en-

contrando que al aprovisionar esa dosis, el área foliar por planta fue mayor (228.2 cm²) acentuando los parámetros de crecimiento y el rendimiento de vaina. En calabacita (*Cucurbita pepo*) la superficie de las hojas se amplió cuando se adicionaron de manera foliar 0.2 mL planta⁻¹ de KPhi lo que impactó significativamente el rendimiento de fruto (Omar *et al.* 2020)

Los índices de área foliar llegaron a su máximo cuando se vertieron las dosis de 1.2 y 1.5 L ha⁻¹, respectivamente, lo que indica que con estas unidades *S. lycopersicum* tuvo mayor porcentaje de radiación interceptada y mejor eficiencia en el uso de este recurso, por lo cual, la producción de fruto, fue mayor (Morales-Rosales *et al.* 2008). Referente a eso, Constán-Aguilar *et al.* (2014) al añadir de manera foliar como fertilizante fosfatado (0.5 a 1mM), más fósforo inorgánico, el área foliar, el número de flores y la tasa de crecimiento relativo (ganancia de biomasa en el tiempo) fueron mejores. Lo que coincidió con los resultados de este experimento, ya que con la dosis de 1.5 L ha⁻¹, la tasa de asimilación neta logró su mayor valor (0.094 g dm⁻² d⁻¹). Lo anterior indica que el follaje de *S. lycopersicum* fue más eficaz

en la producción de fotoasimilados y mostró mayor velocidad de fotosíntesis neta (Morales-Rosales *et al.* 2008). Al respecto, Pacheco-Narcizo *et al.* (2022) reportan que al agregar dosis iguales o menores de 15 μM de Phi se mejoraron algunos atributos del crecimiento y del metabolismo de *Sechium edule* mientras que a dosificaciones mayores de 15 μM tuvieron efectos negativos en estas características; concluyendo que los fosfitos juegan un papel crucial como bioestimulante inorgánico, cuando se provee en porciones apropiadas.

La cantidad de fosfito de potasio añadida a cada cultivar influyó en los valores del IAF de la TAN y RFR. En Cid con 1.5 L ha⁻¹ y en Paipai con 2.1 L ha⁻¹ adquirieron valores en el IAF (Figura 1A) de 4.59 y 3.4, respectivamente. Con la aplicación foliar de 1.5 L ha⁻¹, la TAN en ambos cultivares expresaron su mejor valor (Figura 1B). Estas características fisiológicas contribuyeron en la mayor producción de fruto. Con 1.2 L ha⁻¹ de KPhi en Cid y con 1.5 L ha⁻¹ en Paipai los genotipos mostraron el mejor rendimiento. Lo precedente advierte que esas proporciones actúan sobre las variables morfofisiológicas del rendimiento y afectan de forma positiva la producción de *S. lycopersicum*, lo cual concuerda con López-Sandoval *et al.* (2018) quienes reportan que la mayor producción de *Physalis* spp. sé debió a una eficiencia fotosintética superior. Esto confirma que una dosis de 1.5 L ha⁻¹ de bioestimulante, la TAN fue mayor en Cid en 19.23% respecto a Paipai es decir, la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar explicó el agrandamiento en el rendimiento de baya (Morales *et al.* 2015).

Al respecto, Arana *et al.* (2018) en maíz cv. DK-7088, ensayaron tres fuentes distintas de K₂O: muriato de potasio (200 kg ha⁻¹), sulfato de potasio (120 kg ha⁻¹) y nitrato de potasio (130 kg ha⁻¹) y tres activadores fisiológicos: fosfito de potasio, fosfito de calcio y fosfito de magnesio en dosificación alta (1 L ha⁻¹) y baja (0.5 L ha⁻¹). Con 1.5 L ha⁻¹ de fosfito de calcio + muriato de potasio, el híbrido DK-7088 produjo 9.45 t ha⁻¹, 9.3% más que la combinación fosfito de potasio + muriato de potasio. Cuando solo se aprovisionó el fertilizante en el suelo sin adición de fosfitos el rendimiento de grano fue de 6.34 t ha⁻¹. Nuestra investigación confirmó lo publicado

por Arana *et al.* (2018) ya que con 1.5 L ha⁻¹ de fosfito de potasio aplicado al follaje de Cid obtuvo el mejor rendimiento de baya (3.18 kg planta⁻¹) superando en 13.84% a Paipai (Figura 3). Del mismo modo, Estrada-Ortiz *et al.* (2011) descubrieron que la adición de 0.25 mM de Phi en la solución nutritiva estimula el metabolismo de las plantas sin efectos perjudiciales sobre el crecimiento y el rendimiento y concluyeron que, para desencadenar efectos positivos en los cultivos, las aplicaciones de Phi deben utilizarse en bajos niveles y en presencia de suficiente Pi. Por último, Reyes-Pérez *et al.* (2018) valoraron la aplicación de varias concentraciones del bioestimulante Quitomax[®] y un tratamiento control sobre indicadores del rendimiento y el valor nutricional de frutos de *S. lycopersicum* L.), cv. Floradade. Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de Quitomax[®] a 100, 200 y 300 mg ha⁻¹ a los 20 y 25 días después del trasplante, encontrando que con 300 mg ha⁻¹ proveídos al cv. 'Floradade' la producción de fruto fue de 5.35 kg ha⁻¹, resultados parcialmente similares a los de esta investigación.

CONCLUSIONES

Por su carácter como nutrimento, el fosfito de potasio en la agricultura moderna es importante, ya que el productor lo puede utilizar de manera foliar después de la fertilización de fondo para corregir las deficiencias de fósforo y potasio para incrementar el rendimiento y los principales componentes morfológicos y fisiológicos de *S. lycopersicum*. Cuando el fosfito de potasio se abastece a razón de 1.2 L ha⁻¹ en el cultivar Cid y en dosis de 1.5 L ha⁻¹ en Paipai en las fases fenológicas de trasplante, vegetativa y reproductiva la producción de fruto se maximizó.

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 (2018) Fertilización con potasio y fosfitos, sobre el rendimiento de maíz duro (*Zea mays*) en la zona subcentral litoral. *European Scientific Journal* 14: 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. DOI: 10.3390/agronomy12030659.
- 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.
- Camocheda 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.
- Constán-Aguilar C, Sánchez-Rodríguez E, Rubio-Wilhelmi MM, Camacho MA, Romero L, Ruíz JM, Blasco B (2014) Physiological and nutritional evaluation of the application of phosphite as a phosphorus source in cucumbers plants. *Communications in Soils Science and Plant Analysis* 45: 204-222.
- Díaz-Martín BA, Rodríguez-Pequeño M, Torrez-Hernández LJ (2013) Respuesta en el crecimiento y rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) var. Vyta a la aplicación de diferentes dosis de FitoMas-E. *Centro Agrícola* 4: 25-30.
- El-Mogy MM, Salama AM, Hanna F, Mohamed Y, Abdelgawad KF, and Emad A, Abdeldaym EA (2019) Responding of long green pepper plants to different sources of foliar potassium fertilise. *Agriculture* 65: 5976.
- Estrada-Ortiz E, Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, Nuñez-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.
- ICAMEX (2020) Cultivo de jitomate. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal. <http://icamex.edomex.gob.mx>. Fecha de consulta: 10 de febrero 2019.
- Kovalyshyn IB, Shevchenko VV (2020) Phosphate and phosphite: influence on the state of wheat photosynthetic apparatus. *Plant Physiology and Genetics* 52(6): 507-517.
- Latifah E, Krismawati A, Saeri M, Arifin Z, Warsiati B, Setyorini D (2021). Analysis of plant and yield in varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grafted onto different eggplant rootstocks. *International Journal of Agronomy* 2021: 1-11. DOI: 10.1155/2021/6630382.
- López-Sandoval JA, Morales-Rosales EJ, Vibrans H, Morales-Morales EJ (2018) Tasa de asimilación neta y rendimiento de *Physalis* bajo cultivo en dos localidades. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41: 187-197.
- 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: 107-117.
- Mendoza PC, Ramírez AC, Ojeda BW, Flores MH (2017) Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 9: 37-50.
- Mendoza-Pérez C, Ramírez-Ayala, C, Martínez-Ruiz A, Ojeda-Bustamante W, Ruelas-Islas JR, Ascencio-Hernández R, López-Ordaz A, Núñez-Ramírez F (2020) Leaf area and its impact in yield and quality of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo)* 54: 57-69
- Mixquitilla-Casbis G, Villegas-Torres OG (2016) Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. *Acta Agrícola y Pecuaria* 2: 55-61.

- Mohan MAV, Ram B, Mana M, Datta D, Bhatt A, Reddy MK, Agrawal PK (2017) Phosphite: a novel P fertilizer for weed management and pathogen control. *Plant Biotechnology Journal* 15: 1493-1508.
- 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: 345-354.
- Morales REJ, Morales MEJ, López DE, Cruz LAJ, Medina AN, De la Cruz GM (2015) Tasa de asimilación neta y rendimiento de girasol en función de urea y urea de liberación lenta *Agrociencia* 49: 163-176.
- Morales-Rosales EJ, Escalante-Estrada JAS, López-Sandoval JA (2008) Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) in sole crop and intercropped with sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y Ciencia* 24: 1-10.
- 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: 255-263.
- Pacheco-Narcizo A, Trejo-Téllez LI, Hidalgo-Contreras JV, Núñez-Pastrana R, Gómez-Merino FC (2022) Bioestimulación del chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Sw.] en respuesta a la aplicación de fosfito en respuesta a la aplicación de fosfito. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45: 483-492
- Reyes-Pérez J, Enríquez-Acosta E, Murillo-Amador B, Ramírez-Arrebató M, Rodríguez-Pedroso A, Lara-Capistrán L, Hernández-Montiel LG (2018) Physiological, phenological and productive responses of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants treated with QuitoMax. *Ciencia e Investigación Agraria* 45: 120-127.
- Rossall S, Qing C, Paneris M, Bennett M, Swarup R (2016) A growing role for phosphites in promoting plant growth and development. *Acta Horticulture* 1148: 61-68.
- SAS (2004) SAS/STAT® 8.02 User's Guide. SAS Institute. Cary, NC: SAS Institute Inc. 479p.
- Shahrajabian MH, Chaski C, Petropoulos A (2021) Bioestimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. *Biomolecules* 11(5): 1-23. DOI: 10.3390/biom11050698.
- 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.
- 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: 158-163.
- Walaa M, El-Basir E (2021) Relationship between potassium fertilization sources and improvement of snap bean green pods quality for exportation. *Journal of Plant Production* 12: 397-404.
- 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. DOI: 10.1371/journal.pone.0150644.
- Yeshiwas Y, Belew D, Tolessa K (2016) Growth and physiological responses of different tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties in relation to growth conditions. *Middle - East Journal of Scientific Research* 24: 2904-2908.