

## Biofortificación con Silicio en el Crecimiento y Rendimiento de Pimiento (*Capsicum annuum* L.) en Ambiente Controlado Biofortification with Silicon in the Development and Yield of Pepper (*Capsicum annuum* L.) in a Controlled Environment

Juan José Reyes-Pérez<sup>1</sup> , Sergio Rodríguez-Rodríguez<sup>2</sup> ,  
Juan Antonio Torres-Rodríguez<sup>1</sup> , Luis Tarquino Llerena-Ramos<sup>1</sup> ,  
Luis Guillermo Hernández-Montiel<sup>3</sup>  y Francisco Higinio Ruiz-Espinoza<sup>4†</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (J.J.R.P.), (J.A.T.R.), (L.T.LI.R.).

<sup>2</sup> Universidad de Granma. Carretera Manzanillo km 17.5. 85149 Bayamo, Granma, Cuba; (S.R.R.).

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo de Santa Rita Sur. 23096 La Paz, Baja California Sur, México; (L.G.H.M.).

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera Sur km 5.5, Apartado postal 19-B. 23080 La Paz, Baja California Sur, México; (F.H.R.E.).

† Autor para correspondencia: fr Ruiz@uabcs.mx

### RESUMEN

En la actualidad existe una alta demanda de los mercados mundiales de pimientos (*Capsicum annuum*). Sin embargo, los problemas nutricionales y patogénicos reducen la producción. El uso de silicio es una alternativa para mejorar las características fitosanitarias y productivas del cultivo de pimiento. En este contexto, el objetivo fue evaluar el efecto del silicio en el crecimiento y rendimiento del cultivo en condiciones controladas. El estudio se realizó en el invernadero de la Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas ó Agrarias y Forestales "La María", el diseño experimental fue un completamente al azar (DCA) donde se aplicaron diferentes concentraciones de silicio: T1: 10 g, T2: 12 g, T3: 14 g planta<sup>-1</sup> respectivamente, T4: Control agricultor y T5: Control absoluto. Durante cuatro semanas consecutivas se evaluó la altura de la planta, finalmente a los 90 días se evaluaron número de frutos y peso del fruto productivas. La aplicación de 10 g de silicio planta<sup>-1</sup> incrementó el crecimiento de las plantas en 12 cm respecto al control absoluto y el rendimiento agrícola con valores promedios de 24 662 kg ha<sup>-1</sup> en comparación al resto de los tratamientos.

**Palabras clave:** adaptación, fertilización, hormesis, labores culturales.

### SUMMARY

There is currently a high demand in world markets for peppers (*Capsicum annuum*), however, nutritional and pathogenic problems reduce its production. The use of silicon is an alternative to improve the phytosanitary and productive characteristics of the pepper crop. In this context, our objective was to evaluate the effect of silicon on crop growth and yield under controlled conditions. The study was carried out in the greenhouse of the Faculty of Livestock and Biological Sciences or Agricultural and Forestry "La María". The experimental approach was a completely randomized design (CRD) with different concentrations of silicon: T1: 10 g, T2: 12 g and T3: 14 g plant<sup>-1</sup> respectively, T4: Farmer control, and T5: Absolute control. Plant height was evaluated during four consecutive weeks. After 90 days of crop, the number and weight of productive fruits were evaluated. Our results show that the application of 10 g of silicon plant<sup>-1</sup> increased plant growth by 12 cm compared to the absolute control and agricultural yield with average values of 24 662 kg ha<sup>-1</sup>, compared with the rest of the treatments.

**Index words:** adaptation, fertilization, hormesis, cultural tasks.



check for  
updates

#### Cita recomendada:

Reyes-Pérez, J. J., Rodríguez-Rodríguez, S., Torres-Rodríguez, J. A., Llerena-Ramos, L. T., Hernández-Montiel, L. G., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2023). Biofortificación con Silicio en el Crecimiento y Rendimiento de Pimiento (*Capsicum annuum* L.) en Ambiente Controlado. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-10. e1749. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1749>

Recibido: 8 de mayo de 2023.

Aceptado: 17 de junio de 2023.

Artículo. Volumen 41.

Octubre de 2023.

Editor de Sección:

Dr. Tomás Rivas García

Editor Técnico:

Dr. Gerardo Cruz Flores



**Copyright:** © 2023 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una de las hortalizas más demandadas y consumidas a nivel mundial, debido a sus diferentes usos culinarios y en la medicina alternativa, para tratar enfermedades como: artritis reumatoide, dolores de cabeza y neuropáticos por su contenido de carotenoides, vitamina A, antioxidantes y capsaicina (Barchenger y Bosland, 2019; Ruiz, Prado, Bowen y Soto, 2021). Presenta tres destinos de consumo como son: pimiento en fresco, para pimentón y para conserva. En los últimos años ha existido una alta demanda de los mercados europeos de pimientos frescos durante todo el año, por tal razón su producción se ha incrementado y como consecuencia en el Litoral Mediterráneo español, se ha desarrollado el cultivo bajo cubierta (Guato-Caiza, 2017<sup>1</sup>).

El pimiento requiere altas demandas de nutrientes, por lo que su cultivo se recomienda en suelos fértiles y con aplicaciones abundantes y balanceadas de fertilizantes minerales (De Grazia *et al.*, 2007). La nutrición mineral de las plantas ha sido uno de los factores más estudiados con relación a la susceptibilidad y resistencia de las plantas a plagas (Castellanos-González, de Mello-Prado y Silva, 2014).

El silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura, dentro del sistema suelo, planta y ambiente, favorece la disponibilidad de nutrientes almacenados en el suelo y los vuelve viables para la nutrición de las plantas (Abdelaal, Mazrou y Hafez, 2020). En cuanto a la presencia y concentración de los metales pesados, el silicio es un desintoxicante de suelos con problemas de acumulación de éstos, ya sea para elementos como el hierro (Fe), aluminio (Al) y cadmio (Cd), entre otros (Onofre-Salazar, 2019<sup>2</sup>). Respecto a su funcionamiento en las plantas, el silicio actúa como un catalizador de procesos naturales tales como la nutrición (Abdelaal *et al.*, 2020).

Además, las plantas fertilizadas con silicio cuando son infectadas por fitopatógenos, presentan una infección menos severa, que retrasa la aparición de la enfermedad y reduce su incidencia, modulando y sincronizando mejores respuestas de la planta al patógeno (Zimba, Read, Haseeb, Meagher y Legaspi 2022). Se ha demostrado que las plantas que crecen en ausencia de silicio frecuentemente son más débiles estructuralmente, tienen menor tamaño, desarrollo, viabilidad y su reproducción es anormal (Reyes-Pérez, Tipán, Llerena, Hernández y Rivas, 2023). También, son más susceptibles al estrés abiótico, así como a la toxicidad por metales (Pérez y Mancilla, 2012).

El silicio es un fertilizante fundamental en las hortalizas, incrementa el rendimiento productivo de las plantas, mejora la resistencia a factores bióticos y abióticos (Li *et al.*, 2022). Por lo que, debido a falta de estudios de los impactos del silicio en el cultivo del pimiento, tanto en aplicación foliar o al suelo de este nutrimento, es necesario generar dicha información. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue, evaluar el efecto del silicio en el crecimiento y rendimiento del cultivo de pimiento en condiciones controladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización de la Investigación

La presente investigación se llevó a cabo en el campus experimental "La María", en el invernadero de la Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas ó Agrarias y Forestales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo - El Empalme. La ubicación geográfica es de 01° 06' 24" de S y 79° 29' 70" O, a una altitud de 75 m de altitud.

### Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron cinco, tres dosis de silicio (Si0-DEM+ (SiO<sub>2</sub>, MgO, CaO y Fe) testigo absoluto y testigo químico, como se expresa en el Cuadro 1.

### Manejo del Experimento

El trabajo se realizó en fundas de polietileno de 10 × 12" de 2 mm de grosor perforadas, con 10 kg de sustrato, cuya composición de 3:1:1, tres carretillas de tierra negra (50% suelo y 50% abono orgánico, la cual es previamente cernida con un tamiz) por una de aserrín de madera y una de arena (de río). El material vegetal de pimiento utilizado fue variedad QUETZAL. Una vez que la plántula presentó la tercera hoja verdadera, se

<sup>1</sup> Guato-Caiza, M. J. (2017). *Evaluación del rendimiento de tres híbridos de pimiento (Capsicum annuum L.) a las condiciones agroclimáticas de la comunidad La Clementina, parroquia Pelileo, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua*. Tesis para obtener el grado de Ingeniería Agronómica. Cevallos, Ecuador: Universidad Técnica De Ambato. Disponible en <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24996>

<sup>2</sup> Onofre-Salazar, J. F. (2019). *El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Babahoyo: Universidad Técnica De Babahoyo. Disponible en <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6805>

**Cuadro 1. Tratamientos de Si evaluados.**  
**Table 1. Si treatments evaluated.**

Tratamientos	Dosis de fuentes de Si
T1: Fuentes de silicio	10 g planta <sup>-1</sup>
T2: Fuentes de silicio	12 g planta <sup>-1</sup>
T3: Fuentes de silicio	14 g planta <sup>-1</sup>
T4: Testigo agricultor (Yaramila Complex)	6 g planta <sup>-1</sup>
T5: Testigo sin silicio y sin fertilizante	Solo agua destilada

trasplantó en las fundas dentro del invernadero. Por su parte el sistema de tutorado se manejó con alambres y piola, colocándose en cada extremo de cada hilera, para darle un mayor soporte a la planta. En cuanto a la fertilización, en todos los tratamientos se fraccionaron al 40% en la primera aplicación, 30% en la segunda y para la tercera aplicación el 30%. La que se llevó a cabo a los 8, 25 y 40 ddt (días después del trasplante), se fraccionó las dosis para mejorar el efecto del fertilizante en la planta. Los riegos se aplicaron 3 veces a la semana. Para el control de insectos se aplicó insecticida ácido piroleñoso 1.75 L ha<sup>-1</sup> para el control de Negrita (*Prodidiplosis longifila*). La cosecha se realizó a los 90, 100 y 120 ddt de forma manual, cuando los frutos presentaron un estado óptimo de desarrollo y consumo. El experimento se realizó en un diseño completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos y tres repeticiones.

### Variables Evaluadas

Las variables evaluadas fueron: altura de planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de frutos, peso de los frutos (g) y rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) el cuál se determinó por el peso de todos los frutos que se obtuvo del área útil de cada unidad experimental. La altura de la planta se midió desde la base hasta el ápice. Por su parte la variable diámetro del tallo se midió con un calibrador pie de rey a los 60 días después de la siembra. En cuanto al número de frutos por planta se contó los frutos por planta dentro del área útil de cada unidad experimental, para luego calcular el promedio por planta. Para el peso del fruto se tomó el peso de 10 frutos y se expresó su promedio. La variable rendimiento se determinó por el peso de todos los frutos del área útil de cada unidad experimental.

### Análisis Estadístico

Para cada variable se aplicó un análisis de varianza, la distribución normal de los datos por Shapiro-Wilk y la homogeneidad de las varianzas por la prueba de Levene. Las variables número de frutos por planta, peso promedio del fruto y el rendimiento agrícola cumplieron ambas premisas, mientras que el diámetro de los tallos aún después de evaluar varias ecuaciones de transformación de datos las varianzas de los tratamientos continuaron siendo heterogéneas por lo que se recurrió a un análisis de varianza no paramétrico por Kruskal-Wallis, y como prueba de comparación múltiple de los tratamientos se utilizó Conover (1999).

Para las variables número de frutos por planta, peso promedio de 10 frutos y el rendimiento agrícola al cumplir ambas premisas, el análisis de varianza se realizó por vías paramétricas y en este caso para la comparación múltiple de los tratamientos se utilizó la prueba de Scott y Knott (1974) para una mejor diferenciación a la hora de comparar los tratamientos debido a que diferencia los tratamientos por conglomerados. Los análisis de varianza tanto por vías paramétricas como no paramétricas fueron de clasificación simple.

En el caso de la variable altura de las plantas, cuya evaluación se realizó en cuatro momentos diferentes (7, 14, 21 y 28 ddt) se procesó estadísticamente por un modelo lineal de medidas repetidas, dentro del cual se realizó la prueba de Mauchly (1940) con la finalidad de verificar la existencia de similitud o no de las varianzas de las cuatro evaluaciones realizadas en diferentes intervalos de tiempo, y verificar la esfericidad de la matriz de varianza - covarianza (Winer, Brown y Michels, 1991).

La comparación múltiple entre los tratamientos se realizó a través de la prueba T2 de Tamhane (1979) para varianzas heterogéneas por medio de un análisis de varianza multivariado y la dinámica de la altura de las plantas a través del tiempo entre los tratamientos utilizados en la investigación, con un intervalo de confianza inferior y superior del 95% de confiabilidad y una probabilidad  $P \leq 0.05$ . Los valores promedios de cada tratamiento para esta misma variable en cada uno de los cuatro intervalos de tiempo en que se evaluó, se representaron a través de un gráfico de perfil de las medias marginales en el que las barras de error corresponden a los intervalos de confianza al 95% de confiabilidad, en el que intervalos de confianza que no se solapan indican diferencias

significativas entre tratamientos y en cada intervalo de tiempo para una probabilidad  $P \leq 0.05$ . Se aplicó además la prueba estadística Traza de Pillai como estadístico del análisis de varianza multivariante que comprueba si las mediciones en las cuatro semanas de muestreo producen variaciones significativas en los valores promedios de la altura de la planta en los tratamientos y los resultados del modelo lineal, todo para  $P \leq 0.05$ .

Los análisis de varianzas univariados y sus respectivas premisas se procesaron estadísticamente por el paquete estadístico Infostat versión 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2018), mientras que el análisis del modelo lineal de medidas repetidas donde se incluye el análisis de varianza multivariante para la altura de las plantas se realizó a través del paquete estadístico SPSS 25 (IBM SPSS Statistics, 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

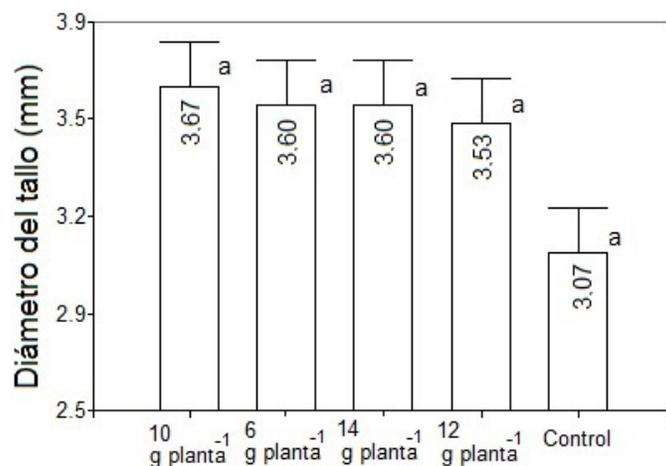
En la variable diámetro del tallo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. Sin embargo, aunque no hay significativas, existe la presencia de un grupo numéricamente más homogéneo del diámetro de los tallos conformado por todos los tratamientos con fertilizantes que oscilaron entre diámetros de los tallos de 3.67 hasta 3.53 cm, con relación al tratamiento control con 3.07 cm (Figura 1).

Las plantas con dosis bajas de silicio numéricamente incrementaron el crecimiento y el grosor en comparación al tratamiento control. Según Trejo-Téllez *et al.* (2020) la aplicación de  $125 \text{ mg L}^{-1}$  de silicio mejoró el área foliar, peso de biomasa fresca y seca en hojas y tallos, azúcares solubles totales y concentraciones de clorofilas a y b tanto en hojas como en tallos.

Agathokleous y Calabrese (2019) evidenciaron que la aplicación de 200 mg de silicio por semana en el cultivo de plátano (*Musa spp. L.*) presentó un efecto estimulante respecto a la altura y diámetro del tallo, mientras que los tratamientos con 500 y 1000 mg de silicio por semana desencadenaron respuestas inhibitoras, ocasionando efectos perjudiciales evidenciados por el retraso en el crecimiento y la decoloración de la hoja.

Mburu, Oduor, Mgtutu y Tripathi (2016) manifestaron que estos efectos son ocasionados por la hormesis, se le denomina una relación dosis-respuesta bifásica donde las dosis bajas inducen efectos estimulantes mediante la activación de mecanismos adaptativos que mejoran la resiliencia, mientras que las dosis más altas pueden inducir respuestas inhibitoras en dosis más altas volviéndose tóxicas.

Respecto a la variable número de frutos por planta, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. La mayor cantidad de frutos por planta se encontró en los tratamientos de  $10 \text{ mg planta}^{-1}$  y  $6 \text{ mg planta}^{-1}$ , no mostraron diferencias significativas entre ellos. Esto está relacionado con el peso de frutos por planta, donde el mejor tratamiento también fue el de  $10 \text{ mg planta}^{-1}$ . Estos dos tratamientos superaron significativamente al resto de los tratamientos con 33 y 10.4% más que el tratamiento de 3.20 cm. Los tratamientos en el que se aplicó silicio a  $12 \text{ g planta}^{-1}$  y  $14 \text{ g planta}^{-1}$  no presentaron diferencias significativas con el tratamiento sin fertilización o control. Por lo tanto, para esas condiciones de localidad y experimentales, no es factible aplicar Si como fertilizante en dosis que sobrepasen los  $10 \text{ g planta}^{-1}$  (Figura 2).



**Figura 1. Valores promedios del diámetro de los tallos para cada uno de los tratamientos.** Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas para  $P < 0.05$  a través de la prueba de Kruskal-Wallis.

**Figure 1. Average values of stem diameter for each of the treatments.** Equal letters indicate the absence of significant differences for  $P < 0.05$  through the Kruskal-Wallis test.

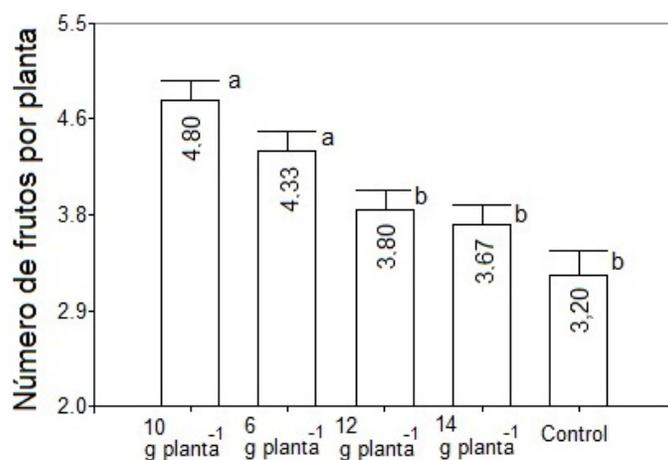
Cárdenas-Cágal, García, Delgado y Gutiérrez (2013) demostraron que la aplicación de silicio en el cultivo de pimiento incrementó el número de frutos por plantas respecto al tratamiento control. La aplicación de silicio en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca*) incrementó variables de crecimiento, fisiológicas y de rendimiento. Los resultados obtenidos sugieren que es totalmente factible reemplazar la fertilización química por la orgánica, obteniendo resultados idénticos (Hernández-Valencia *et al.*, 2022).

La variable peso de los frutos mostró diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento consistente en la fertilización con 10 g de silicio por planta superó significativamente al resto de los tratamientos con un valor promedio de 635.9 g por fruto. El tratamiento de 12 g planta<sup>-1</sup> con un valor de 576.5 g, superó significativamente a los tratamientos con la aplicación de Si a 14 g planta<sup>-1</sup> con un valor promedio de peso de los frutos de 565.4 g planta<sup>-1</sup>. El tratamiento sin aplicar ningún tipo de fertilización fue el de menor peso promedio del fruto con 451.0 g (Figura 3).

En un estudio realizado por Abdelaal *et al.*, (2020), la aplicación foliar de silicio provocó aumentos significativos en número de frutos planta, rendimiento total de frutos y peso fresco de frutos en las plantas de pimiento estresadas con dos niveles de salinidad. Estos efectos se deben a que la aplicación de silicio alivia los efectos nocivos de la salinidad al mejorar el estado del agua, aumentar la tasa fotosintética, reducir el daño oxidativo, regular algunos osmolitos y fitohormonas (Jeong, Park y Byun, 2001; Abdelaal *et al.*, 2020). También, se ha demostrado que la aplicación de Si aumentó el número y el peso de frutos de melón (*Cucumis melo*). Esta mejora en el rendimiento se relacionó con una mayor absorción de nutrientes Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) por plantas de melón con la adición de Si (Do Nascimento *et al.*, 2020).

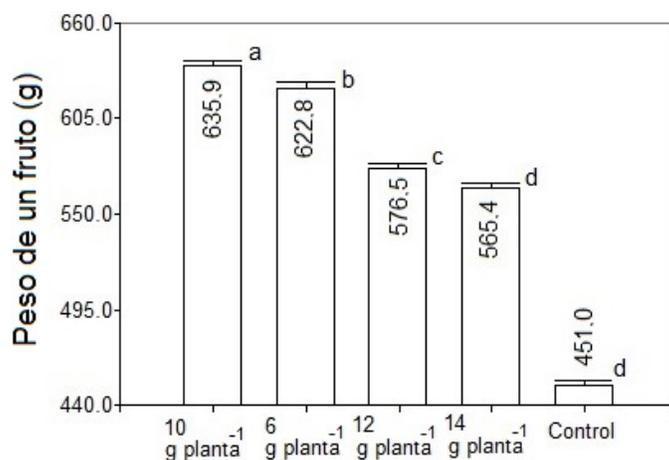
El tratamiento con 10 g:planta<sup>-1</sup> presentó los mayores resultados respecto al rendimiento agrícola, el cual no mostró diferencias significativas con el tratamiento de Yaramira Complex a 6 g planta<sup>-1</sup> y sí con el resto de los tratamientos. Todos los tratamientos en que se aplicó silicio fueron superiores al tratamiento control. Los tratamientos en que el silicio se aplicó a 12 y a 14 g planta<sup>-1</sup> no mostraron diferencias significativas entre ellos, con rendimientos promedios de 19 648.9 y de 18 606.5 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, pero estadísticamente inferiores a los tratamientos cuando el Si se aplicó a 10 g planta<sup>-1</sup> y con el empleo de Yaramila Complex. Los rendimientos menores se alcanzaron en el tratamiento control, donde no se aplicó fertilización alguna con un rendimiento de 12 912.0 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 4).

Las aplicaciones a 10 g planta<sup>-1</sup> mejoraron el rendimiento del cultivo a nivel de invernadero. Según los reportes de Artyszak (2018) la aplicación de silicio incrementa el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) debido a su mayor peso fresco de los cogollos. En el caso del cultivo de tomate Marodin *et al.* (2022) y Reyes-Pérez *et al.* (2023) demostraron que el silicio aumentó el rendimiento de frutos de la planta y la dureza de los frutos. Velkov y Petkova (2014) demostraron un incremento en el rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) por el uso de silicio fue causado por el aumento en el número de frutos por planta.



**Figura 2. Valores promedios del número de frutos por planta para cada uno de los tratamientos.** Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0.05$  a través de la prueba de Scott y Knott.

**Figure 2. Average values of the number of fruits per plant for each of the treatments.** Different letters indicate significant differences for  $P < 0.05$  through the Scott and Knott test.

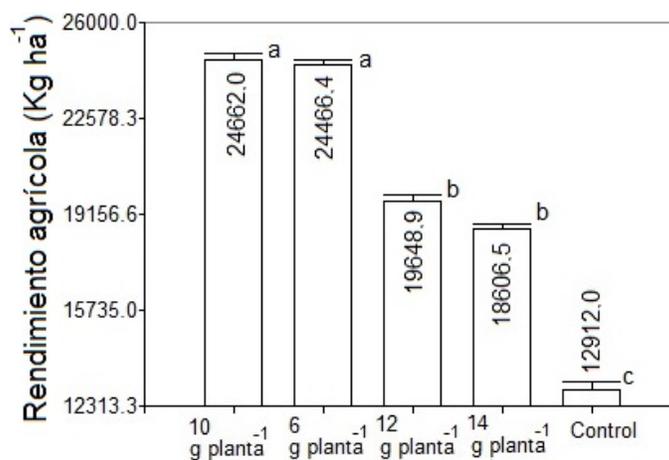


**Figura 3. Valores promedios del peso de un fruto para cada uno de los tratamientos.** Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0.05$  a través de la prueba de Scott y Knott.

**Figure 3. Average values of the weight of a fruit for each of the treatments.** Different letters indicate significant differences for  $P < 0.05$  through the Scott and Knott test.

La prueba del análisis de varianza multivariante Traza de Pillai (Cuadro 2) fue también significativa por lo que no se acepta la hipótesis de igualdad de los valores promedios de los tratamientos en las cuatro semanas en que se evaluó la altura de la planta. Se presume entonces que la medición de la altura de la planta en las cuatro semanas varió de forma significativa o que las diferencias que se producen en la altura de la planta entre los tratamientos evaluados se modifican en el intervalo de las evaluaciones realizadas en las cuatro semanas.

La comparación múltiple de medias de los tratamientos que se utilizaron en la investigación desde un enfoque multivariante (Cuadro 3) en el que se integran las evaluaciones realizadas en las cuatro semanas mostró diferencias significativas entre los tratamientos con una marcada diferenciación entre el grupo de tratamientos en el que se aplicó silicio a 10, 12 y 14 g planta<sup>-1</sup>, y el tratamiento que contenía Yaramila Complex a 6 g planta<sup>-1</sup>. En estos cuatro tratamientos no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, estos cuatro tratamientos superaron significativamente al tratamiento en el que no se aplicó fertilización. Las diferencias entre este grupo y



**Figura 4. Valores promedios del rendimiento agrícola para cada uno de los tratamientos.** Letras distintas indican diferencias significativas para  $P < 0.05$  a través de la prueba de Scott y Knott.

**Figure 4. Average values of agricultural yield for each of the treatments.** Different letters indicate significant differences for  $P < 0.05$  through the Scott and Knott test.

**Cuadro 2. Prueba de esfericidad de Mauchly para comprobar el supuesto de similitud de varianzas de los diferentes intervalos de tiempo, prueba estadística Traza de Pillai como estadístico del análisis de varianza multivariante que comprueba si las mediciones en las cuatro semanas de muestreo producen variaciones significativas en los valores promedios de la altura de la planta en los tratamientos y el modelo lineal, todo para  $P \leq 0.05$ .**

**Table 2. Mauchly's sphericity test to verify the assumption of similarity of variances of the different time intervals, Pillai's Trace statistical test as a statistic of the multivariate analysis of variance that tests whether the measurements in the four sampling weeks produced significant variations in the average values of plant height in the treatments and the linear model, all for  $P \leq 0.05$ .**

Pruebas estadísticas	Valor de P
W Mauchly	0.000
Traza de Pillai	0.000
Modelo lineal	0.000

**Cuadro 3. Comparaciones múltiples de las medias entre los cinco tratamientos utilizados en la investigación en las cuatro semanas de las evaluaciones realizadas a la altura de las plantas a través de la prueba T2 de Tamhane (1979) para varianzas desiguales con un intervalo de confianza del 95% y  $P \leq 0.05$ .**

**Table 3. Multiple comparisons among the means of the five treatments used in the four week assessment of plant height through the T2 test of Tamhane (1979) for unequal variances with a confidence interval of 95% and  $P \leq 0.05$ .**

Tratamientos (A)	Tratamientos (B)	Diferencia de medias (A - B)	p	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite Inferior	Límite Superior
10 g-planta-1	12 g	0.0167	1.000	-2.4450	2.4783
	14 g	0.4750	1.000	-2.4798	3.4298
	Yaramila C.	0.7083	0.999	-2.3367	3.7533
	Sin fertilizar	4.6750*	0.009	0.8847	8.4653
12 g-planta-1	10 g	-0.0167	1.000	-2.4783	2.4450
	14 g	0.4583	1.000	-2.4805	3.3972
	Yaramila C.	0.6917	0.999	-2.3381	3.7215
	Sin fertilizar	4.6583*	0.009	0.8785	8.4382
14 g-planta-1	10 g	-0.4750	1.000	-3.4298	2.4798
	12 g	-0.4583	1.000	-3.3972	2.4805
	Yaramila C.	0.2333	1.000	-3.1666	3.6333
	Sin fertilizar	4.2000*	0.038	0.1547	8.2453
Yaramila Complex	10 g	-0.7083	0.999	-3.7533	2.3367
	12 g	-0.6917	0.999	-3.7215	2.3381
	14 g	-0.2333	1.000	-3.6333	3.1666
	Sin fertilizar	3.9667	0.063	-0.1326	8.0659
Sin fertilizar	10 g	-4.6750*	0.009	-8.4653	-0.8847
	12 g	-4.6583*	0.009	-8.4382	-0.8785
	14 g	-4.2000*	0.038	-8.2453	-0.1547
	Yaramila C.	-3.9667	0.063	-8.0659	0.1326

\* Indica diferencias significativas entre tratamientos para  $P \leq 0.05$  a través de la prueba de T2 de Tamhane (1979) por ser las varianzas multivariadas heterogéneas en el tiempo.

\* Indicates significant differences among treatments for  $P \leq 0.05$  through Tamhane's (1979) T2 test as the multivariate variances are heterogeneous over time.

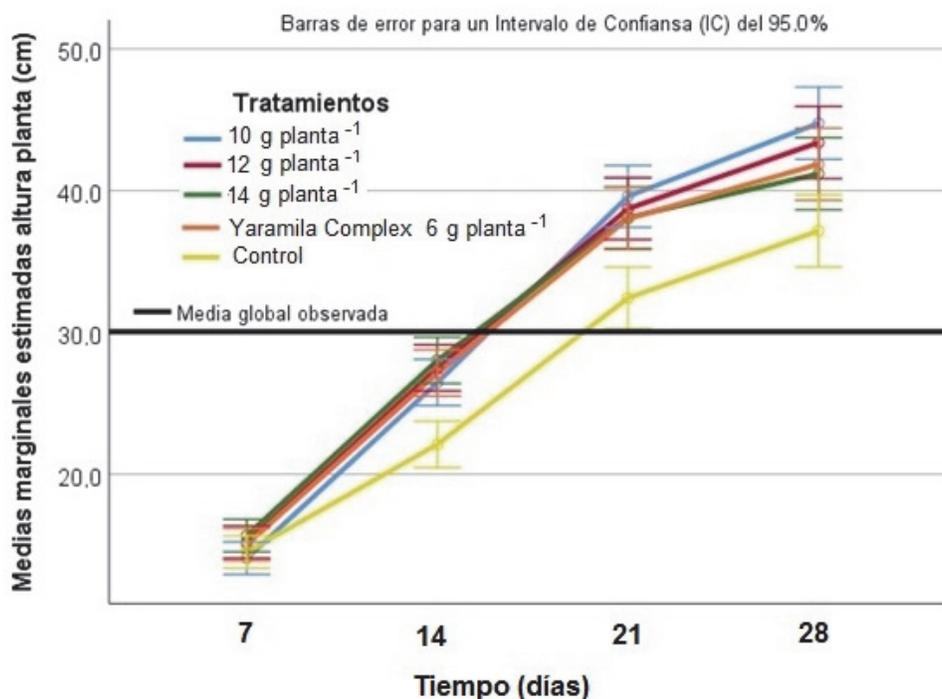
el tratamiento control fue de 4.68 cm en el tratamiento con silicio a  $10 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$  respecto al control, de 4.66 cm del tratamiento a  $12 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$  de 4.20 cm del tratamiento a  $14 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$  y de 3.97 cm del tratamiento con Yaramila Complex a  $6 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$  superior al tratamiento sin fertilización (control). Los límites superior e inferior de los intervalos de confianza del tratamiento en el que no se aplicó fertilización no se solapan con el resto de los intervalos de confianzas de los otros tratamientos, lo que reafirma la existencia de diferencias significativas con ese grupo de tratamientos.

En la primera semana de la medición de la altura de la planta no existieron diferencias significativas entre los tratamientos debido a un solapamiento de los intervalos de confianza de todos los tratamientos lo que induce a pensar que a los siete días después del trasplante las plantas no mostraron una diferenciación por efecto de las aplicaciones de silicio (Figura 5).

A los 14 días después del trasplante correspondiente a la segunda semana todos los tratamientos en que se aplicó fertilización con silicio con promedios cercanos a los 30 cm de altura de la planta superaron significativamente al tratamiento control con alturas medias de las plantas de unos 22.0 cm.

En la tercera semana o a los 21 ddt se mostró el mismo patrón de respuesta de lo presentado a los 14 ddt, siguiendo una tendencia lineal, en donde, los tratamientos que superaron al tratamiento control presentaron alturas promedio de la planta entre los 40.0 cm y de 32.0 cm del tratamiento sin fertilización. La tendencia lineal que se observó en la Figura 5 se corrobora con el valor de la significación del modelo lineal del Cuadro 1.

En la cuarta semana no es tan marcada la linealidad de la dinámica del crecimiento de la altura de las plantas a través del tiempo y sólo los tratamientos a 10 y  $12 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$  superan significativamente al tratamiento control. En esa última evaluación de la variable aparece una tendencia a la disminución del ritmo lineal de la dinámica de crecimiento de la altura de la planta en el que el grupo de los tratamientos donde se aplicó fertilización las plantas como promedio superaron los 40.0 cm de altura, mientras que en el tratamiento control no alcanzaron los 40.0 centímetros.



**Figura 5. Gráfico de perfil de las medias marginales estimadas para la variable altura de las plantas en los cinco tratamientos para cada una de las cuatro semanas evaluadas.** Las barras de error corresponden al intervalo de confianza al 95%.

**Figure 5. Profile graph of the estimated marginal means of plant height in the five treatments for each of the four weeks evaluated.** Error bars correspond to the 95% confidence interval.

## CONCLUSIONES

El efecto del silicio en el cultivo de pimiento incrementó el crecimiento de las variables (altura, grosor de la planta y número de frutos). La dosis de 10 g planta<sup>-1</sup> presentó los mayores resultados en las variables estudiadas, en el rendimiento se superó los 12 000 kg ha<sup>-1</sup> en comparación con el tratamiento control.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

No aplicable.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, conceptualización, validación, administración del proyecto, adquisición de fondo: J.J.R.P. Escritura: revisión y edición: J.A.T.R. Investigación, metodología: L.T.LI.R. Escritura: preparación del borrador original, escritura: revisión y edición: L.G.H.M. Curación de datos, análisis de datos: S.R.R. Escritura, revisión, análisis formal: F.H.R.E.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por el apoyo otorgado a través del Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 8va Convocatoria, a través del proyecto PFOC8-10-2021 "Estimulación de la productividad biológica y agrícola por la aplicación de silicio en cultivos hortícolas".

## LITERATURA CITADA

- Abdelaal, K. A., Mazrou, Y. S., & Hafez, Y. M. (2020). Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield, *Plants*, 9(6), 1-15. <https://doi.org/10.3390/plants9060733>
- Agathokleous, E., & Calabrese, E. J. (2019). Hormesis: The dose response for the 21st century: The future has arrived, *Toxicology*, 425, 152249. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2019.152249>
- Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe, *Plants*, 7(3), 1-17. <https://doi.org/10.3390/plants7030054>
- Barchenger, D. W., & Bosland, P. W. (2019). Wild chile pepper (*Capsicum* L.) of North America. *North American Crop Wild Relatives, Important Species*, 2, 225-242.
- Cárdenas-Cágal, Á., García-Pestaña, J. D., Delgado-Blancas, M. I., & Gutiérrez-Rivera, B. (2013). Efecto de diferentes concentraciones de Silicio, adicionado al suelo en el cultivo de Chile Habanero a cielo abierto. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 1(2), 53-57. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v1i2.228>
- Castellanos-González, L., de Mello-Prado, R., & Silva-Campos, C. N. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*, 36, 16-24.
- Conover, W. J. (1999). *Practical Nonparametric Statistics*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.
- De Grazia, J., Tiftonell, P. A., & Chiesa, A. (2007). Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Ciencia e investigación Agraria*, 34(3), 195-204.

- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L. A., Tablada, E. M., & Robledo, C. W. (2018). *InfoStat Manual de usuario versión 2018*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat.
- Do Nascimento, C. W. A., de Souza Nunes, G. H., Preston, H. A. F., da Silva, F. B. V., Preston, W., & Loureiro, F. L. C. (2020). Influence of silicon fertilization on nutrient accumulation, yield and fruit quality of melon grown in Northeastern Brazil. *Silicon*, 12, 937-943. <https://doi.org/10.1007/s12633-019-00187-5>
- Hernández-Valencia, R. D., Juárez-Maldonado, A., Pérez-Hernández, A., Lozano-Cavazos, C. J., Zermeño González, A., & González Fuentes, J. A. (2022). Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova scientia*, 14(28), 1-16. <https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.3032>
- IBM SPSS Statistics. (2017). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 25*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- Jeong, M. J., Park, S. C., & Byun, M. O. (2001). Improvement of salt tolerance in transgenic potato plants by glyceraldehyde-3 phosphate dehydrogenase gene transfer. *Molecules & Cells*, 12(2), 185-189.
- Li, Z., Liu, Z., Yue, Z., Wang, J., Jin, L., Xu, Z., ... & Yu, J. (2022). Application of exogenous silicon for alleviating photosynthetic inhibition in tomato seedlings under low-calcium stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 13526. <https://doi.org/10.3390/ijms232113526>
- Marodin, J. C., Resende, J. T., Morales, R. G., Silva, M. L., Galvão, A. G., & Zanin, D. S. (2014). Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Horticultura Brasileira*, 32, 220-224.
- Mauchly, J. W. (1940). Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. *The Annals of Mathematical Statistics*, 11, 204-209. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177731915>
- Mburu, K., Oduor, R., Mgtu, A., & Tripathi, L. (2016). Silicon application enhances resistance to xanthomonas wilt disease in banana. *Plant Pathology*, 65(5), 807-818. <https://doi.org/10.1111/ppa.12468>
- Pérez, J. C. R., & Mancilla, C. L. A. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia tecnológica*, 43, 42-46.
- Reyes-Pérez, J. J., Tipán-Torres, H. C., Llerena-Ramos, L. T., Hernández-Montiel, L. G., & Rivas-García, T. (2023). Silicon increased the growth, productivity, and nutraceutical quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 5(12), 13155. <https://doi.org/10.15835/nbha51213155>
- Ruiz, A. F., Prado, K. V., Bowen, L. S., & Soto, A. C. (2021). Identificación de la entomofauna presente en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L) en el sector Lodana del cantón Santa Ana, Ecuador. *Manglar*, 18(4), 397-402.
- Scott A. J. & Knott M. (1974). A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometría*, 30(3), 507-512. <https://doi.org/10.2307/2529204>
- Tamhane, A. C. (1979). A comparison of procedures for multiple comparisons of means with unequal variances, *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 471-480. <https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10482541>
- Trejo-Téllez, L. I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H. F., Ramírez-Olvera, S. M., Bello-Bello, J. J., & Gómez-Merino, F. C. (2020). Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage, *PeerJ*, 8, e9224. <https://doi.org/10.7717/peerj.9224>
- Velkov, N., & Petkova, V. (2014). Influence of Herbagreen mineral fertilizer on seed production of cucumber, melon and zucchini. *Agricultural Science & Technology*, 6(1), 63-67.
- Winer, B. J., Brown, D. R., & Michels, K. M. (1971). *Statistical principles in experimental design*. New York, NY, USA: Mcgraw-hill.
- Zimba, K. J., Read, Q. D., Haseeb, M., Meagher, R. L., & Legaspi, J. C. (2022). Potential of silicon to improve biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* on maize. *Agriculture*, 12(9), 1-10. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091432>.