



PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL PIMIENTO (*Capsicum annuum L.*) EN RESPUESTA A CONCENTRACIONES DE SILICIO

PRODUCTIVITY AND QUALITY OF PEPPERS (*Capsicum annuum L.*) IN RESPONSE TO SILICON CONCENTRATIONS

Juan José Reyes Pérez^{1a}, Luis Tarquino Llerena Ramos^{1b}, Moisés Arturo Menace Almea^{1c}, Erika Vanessa Castro Klinger², Erendira Aragón Sánchez^{3a}, Rafael de Luna de la Peña^{3b}, Alejandro Palacios Espinosa^{3c*} y Luis Guillermo Hernández Montiel⁴

^{1a} Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito Km 1.5 vía a Santo Domingo, Quevedo, 120301, Los Ríos, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-5372-2523>

^{1b} Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-8927-7417>

^{1c} Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-4636-2520>

² Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de esmeraldas. Extensión San Mateo-Mutile. Nuevos Horizontes. Esmeralda, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-9922-5936>

^{3a} Universidad Autónoma de Baja California Sur Km 5.5 Carr. Al Sur Colonia "El Mezquitito", CP 23080. La Paz, Baja California Sur, México

<https://orcid.org/0000-0002-7570-1077>

^{3b} Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México

<https://orcid.org/0009-0008-6629-8010>

^{3c} Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México

<https://orcid.org/0000-0002-4726-4164>

⁴ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Instituto Politécnico Nacional No. 195, Colonia Playa de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, México

<https://orcid.org/0000-0002-8236-1074>

* Autor de correspondencia: palacios@uabcs.mx

RESUMEN

El efecto de la fertilización con silicio en el crecimiento vegetal está bien documentado en plantas monocotiledóneas; sin embargo, este efecto no ha sido ampliamente estudiado en plantas dicotiledóneas. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de diferentes dosis de silicio sobre las características morfológicas, productivas y de calidad de la planta del pimiento (*Capsicum annuum L.*) de la variedad Quetzal. Se utilizaron cuatro dosis de silicio (0, 20, 25 y 30 g planta⁻¹) bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. A los 60 días post trasplante, se evaluaron tres variables morfológicas (altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas), nueve variables productivas (longitud, diámetro, peso y número de frutos; biomasa del fruto, biomasa del fruto sin pedúnculo central; grosor de la pulpa; biomasa del pedúnculo central con semillas; y rendimiento) y tres variables de calidad de los frutos (flavonoides totales, contenido fenólico y capacidad antioxidante). La respuesta en todas las variables fue determinada mediante un análisis de varianza y la tendencia de respuesta a la dosis de silicio mediante un análisis de

regresión. En todas las variables hubo diferencias significativas ($P<0,05$) entre las concentraciones de silicio, presentándose una tendencia lineal positiva. Por tanto, se concluye que la aplicación de 30 g planta⁻¹ de silicato de potasio mejora las características morfofisiológicas, productivas y de calidad del pimiento.

Palabras clave: silicato de potasio, crecimiento, desarrollo, fertilización.

ABSTRACT

The effect of silicon fertilization on plant growth is well documented in monocotyledonous species; however, this effect has not been extensively studied in dicotyledonous plants. The objective of this study was to determine the effect of different doses of silicon on the morphophysiological, productive, and quality traits of pepper (*Capsicum annuum* L.) cv. Quetzal. Four doses of silicon (0, 20, 25 and 30 g plant⁻¹) were applied using a randomized block design with four replicates per treatment. At 60 days post-transplant, three morphophysiological variables (plant height, stem diameter, and number of leaves), nine productive variables (length, diameter, number, and weight of fruits; fruit biomass, fruit biomass without the placenta; mesocarp thickness; fruit biomass including the placenta with seeds; and yield), and three fruit quality variables (total flavonoids, phenolic content, and antioxidant capacity) were evaluated. The response for all variables was determined using analysis of variance, while the response trend to silicon doses was assessed through regression analysis. Significant differences were observed among silicon concentrations for all variables ($P<0.05$), with a positive linear trend. Therefore, it can be concluded that the application of 30 g of potassium silicate plant⁻¹ improves the morphophysiological, productive and quality traits of peppers.

Keywords: potassium silicate, growth, development, fertilization

INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annum* L.) se cultiva a nivel mundial en cerca de cuarenta países aproximadamente (Hulse et al., 2016) y se considera la segunda hortaliza después del tomate en las zonas de clima tropical (Rai et al., 2014). Su rol en la alimentación humana, su fácil manejo agrícola y su contenido de vitaminas y minerales son clave para su creciente demanda (Sánchez, 2021). Su rendimiento en países como Ecuador es bajo, relacionado con otros países como Chile, Perú o Colombia, lo anterior, debido a una fertilización inadecuada (Chuquitarco et al., 2021). El silicio es un elemento benéfico para el crecimiento y desarrollo de los cultivos como el arroz, trigo y cebada (Datnoff et al., 2001). Cuando las plantas utilizan el silicio en forma de ácido silícico, se polimeriza como gel de sílice en la superficie de las hojas y tallos y sus efectos benéficos se perciben en plantas acumuladoras de este elemento en condiciones de estrés (Quiroga, 2016). El silicio mejora la disponibilidad de nutrientes en las plantas, en especial de los fosfatos, cuyo efecto repercute en la sanidad de los vegetales, lo que, a su vez, permite alcanzar mejores rendimientos y contribuye a la mejora de la resistencia de las plantas a estrés biótico y abiótico (Alhousari y Greger, 2018; Gaur et al., 2020).

La fertilización con compuestos inorgánicos a base de nitrógeno, fósforo y potasio, a menudo

exceden las necesidades y exigencias del cultivo de pimiento, resultando en efectos contaminantes de suelo y agua, así como en un incremento en los costos de producción, por lo que una alternativa de solución al efecto de contaminación es la aplicación de silicio como fertilizante de este cultivo. La aplicación de fertilizantes de tipo mineral con presencia de silicio en su formulación se considera de importancia para una agricultura del tipo sustentable y efectiva para cualquier cultivo y tipo de suelo, y la presencia de silicio restaura la estructura del suelo incrementando la resistencia a los procesos erosivos, permitiendo un incremento en la retención de agua y reduciendo los procesos de lixiviación de macroelementos de importancia para las plantas como el nitrógeno, el fósforo y el potasio (Quero, 2008). En la actualidad es creciente el empleo de silicio en forma de nanopartículas por sus efectos benéficos en la protección de plantas y el incremento en su crecimiento y desarrollo (Manna y Bandyopadhyay, 2019), las nanopartículas de silicio promueven dentro de la planta el movimiento y transporte de magnesio y hierro (Lee et al., 2014). Se ha demostrado que la absorción de silicio genera efectos benéficos para las plantas como resistencia a plagas, tolerancia a toxicidad por metales pesados (Fe, Al, Mn, Cu y Ar), al estrés hídrico y salino, menor evapotranspiración, promoción del crecimiento, mejora la arquitectura de las plantas y por consiguiente favorece la tasa fotosintética

(Kaur et al., 2016; López-Cuén et al., 2020). Sin embargo, no todas las plantas responden de la misma manera a la absorción de este mineral (Castellanos et al., 2015).

En virtud de lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de silicio en variables morfológicas, productivas y de calidad en pimiento (*Capsicum annuum* L.) de la variedad Quetzal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el invernadero del Campus Experimental “La María”, ubicado en la zona del cantón Mocache, provincia de Los Ríos, Ecuador, desde marzo a junio de 2021. La ubicación geográfica es $1^{\circ}04'48.6''$ latitud Sur y $79^{\circ}30'04.2''$ longitud Oeste, a una altitud de 75 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 25,3 °C y una precipitación media anual de 1587,5 mm, con una humedad relativa del 86% (INAMHI, 2021).

Se aplicaron cuatro tratamientos consistentes en dosis de silicio (0, 20, 25 y 30 g planta⁻¹) provenientes de una fuente de silicato de potasio al 25% de silicio (Potasil®), utilizándose parcelas de 8 m de largo y 5 m de ancho, con una separación de 2 m entre parcelas y entre repeticiones, además se aplicó una dosis de fertilización base (NPK 15-15-15, 120 kg ha⁻¹) fraccionada en tres aplicaciones y aplicándose riego por goteo, suministrando un volumen uniforme de 1,5 L/planta/día, que se ajustó según las condiciones climáticas.

Los tratamientos se aplicaron bajo un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. De cada parcela se seleccionaron al azar 10 plantas de los surcos centrales y a partir de un metro al inicio y al final de cada surco para evitar el efecto de orilla. La altura de la planta se midió desde la base del suelo hasta la última yema en crecimiento. El diámetro del tallo se midió en el punto medio del mismo, utilizando un Vernier marca Mitutoyo 53. Se contaron las hojas consideradas fotosintéticamente activas (más del 50% de color verde).

Variables morfológicas y productivas

Al momento de la cosecha (115 d después del trasplante) se tomaron aleatoriamente 10 frutos por tratamiento y réplica, para determinar la masa promedio (g), longitud (cm) y diámetro (mm), así como el diámetro del mesocarpio (mm) y la masa (g) de las partes que componen el fruto por separado (mesocarpio, pedúnculo con el eje central y semillas). Para la determinación de la masa absoluta (g) se utilizaron 1.000 semillas seleccionadas al azar, y la determinación de la masa seca se obtuvo a los 7 d de secado al

aire libre de las semillas. Se pesaron tres frutos seleccionados al azar por cada una de las 10 plantas seleccionadas al azar por cada repetición, para determinar la biomasa o peso promedio del fruto (g). Para la determinación de la biomasa (g) de los frutos sin el pedúnculo central (BFSPC), a cada uno de los tres frutos por cada una de las 10 plantas de cada repetición, se le extrajo el pedúnculo del interior del fruto junto con las semillas y se pesó en una balanza analítica (Mettler® Toledo, AG204). Así mismo se pesó el pedúnculo central junto con las semillas (BPCS) para determinar la biomasa (g) del pedúnculo central y las semillas, y se midió con una regla graduada el grosor de la pulpa o del mesocarpio (mm) de los frutos seleccionados.

La relación entre la biomasa del fruto sin pedúnculo central y sin semillas, con la biomasa del pedúnculo central y las semillas, se determinó dividiendo la biomasa del fruto sin pedúnculo central y sin semillas entre la biomasa del pedúnculo central y las semillas.

El rendimiento agrícola (kg ha⁻¹) se realizó pesando todos los frutos colectados en cada parcela experimental.

VARIABLES DE LA CALIDAD DE LOS FRUTOS

Contenido fenólico total (mg 100 g⁻¹ de peso fresco)

Se determinó mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteau (Singleton y Rossi 1965). Se tomaron 50 µL de extracto etanólico, obtenido a partir de etanol al 80% (v/v) como solvente de extracción. Se pesaron 10 g de pulpa fresca de pimiento, los cuales se homogenizaron en 100 mL de extracto etanólico a 12.000 rpm durante 2 min. La mezcla se mantuvo en agitación constante a temperatura ambiente durante 24 h. Se diluyeron en 3 mL de agua mQ, se agregaron 250 µL de Folin-Ciocalteau (1N), se agitó y se dejó reaccionar durante 3 min. Posteriormente, se agregaron 750 µL de Na₂CO₃ (20%) y 950 µL de agua mQ. La solución se dejó reposar durante 2 h y las muestras se midieron en un espectrofotómetro UV-Vis (CGoldenwall, rango de longitud de onda 340-1.000 nm y un ancho de banda espectral: 5 a 760 nm). La solución estándar se preparó con ácido gálico.

Flavonoides totales (mg 100 g⁻¹ de peso fresco)

Se determinaron mediante espectrofotometría (Lamaison y Carnet 1990). Se tomaron 250 µL de extracto etanólico y se mezcló con 1,25 mL de agua mQ y 75 µL de NaNO₂ (5%), se dejó 5 min y se agregaron 150 µL de AlCl₃ (10%). Posteriormente, se añadieron 500 µL de NaOH (1 M) y 275 µL de agua mQ. Se agitó vigorosamente y las muestras se cuantificaron

en un espectrofotómetro UV-Vis (CGoldenwall, rango de longitud de onda 340-1.000 nm y ancho de banda espectral: 5 a 510 nm). El estándar se preparó con querceína disuelta en etanol absoluto ($y = 0,0122x - 0,0067$; $r^2 = 0,965$).

Capacidad antioxidante (mg 100 g⁻¹ de peso fresco)

Se midió por el método DPPH + *in vitro* (Brand-Williams et al. 1995). Se preparó una solución de DPPH + (Aldrich) en etanol, a una concentración de 0,025 mg mL⁻¹. Se mezclaron 50 µL del extracto etanólico con 1,95 µL de solución DPPH +; luego de 30 min las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro UV-Vis (CGoldenwall, rango de longitud de onda a 340-1.000 nm y un ancho de banda espectral: 5 a 517 nm).

Análisis estadístico

Las variables fueron analizadas mediante un análisis de varianza para un diseño en bloques al azar, previamente se verificaron los supuestos del modelo lineal tales como normalidad (prueba de Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) e independencia de los errores, la diferencia entre medias se determinó mediante la prueba de Tukey. Los análisis fueron realizados utilizando el paquete estadístico Minitab 19, Minitab, LLC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estadísticas descriptivas (media ± error estándar) para las variables morfofisiológicas, productivas y de calidad del pimiento se presentan en la Tabla 1.

De las estadísticas reportadas en la Tabla 1, se puede apreciar fácilmente el crecimiento lineal positivo que hay en todas las variables consideradas en el estudio, a medida que se incrementa la dosis de silicio. López et al. (2015) reportan que las aplicaciones de silicio en pepino (*Cucumis sativus*, L.) favorecen el incremento en variables de crecimiento conforme se emplea una mayor dosis de silicio. Una respuesta positiva fue observada por Nuñez et al. (2025) en chile serrano (*Capsicum annuum* L.) con aplicación foliar de silicio comercial, incrementándose el rendimiento del fruto, el número y diámetro del fruto, así como en la altura de la planta, diámetro del tallo y número de bifurcaciones, además, con mayor grados Brix en el fruto. Ferrusquía et al. (2022), reportan efectos positivos sobre las características de crecimiento y productivas del pimiento en respuesta a la aplicación foliar de 100 ppm de dióxido de silicio (SiO₂). Lazo et al. (2024) compararon diferentes fuentes y niveles de silicio consistentes en 250, 500, 750 y 1.000 cm³ ha⁻¹ de ácido monosilícico Si(OH)₄, 1.000 cm³ ha⁻¹ de silicato de potasio K₄(SiO₄) y 1.000

Tabla 1. Contenido promedio y error estándar de las variables morfofisiológicas, productivas y de calidad del pimiento (*Capsicum annuum* L.).

Table 1. Mean values and standard error of morphophysiological, productive, and quality traits of pepper (*Capsicum annuum* L.).

Variables	Dosis de silicato de potasio (g planta⁻¹)			
	0	20	25	30
Altura de la planta (cm)	33,67 ± 0,9	41,33 ± 0,9	46,33 ± 0,9	53,67 ± 0,9
Diámetro del tallo (cm)	2,00 ± 0,0	3,67 ± 0,17	4,17 ± 0,17	5,50 ± 0,29
Número de hojas	28,0 ± 1,73	36,33 ± 0,88	53,67 ± 0,88	66,0 ± 1,00
Longitud del fruto (cm)	2,93 ± 0,09	3,53 ± 0,03	3,87 ± 0,03	4,27 ± 0,03
Diámetro del fruto (mm)	5,17 ± 0,03	5,63 ± 0,03	6,53 ± 0,09	6,87 ± 0,03
Número de frutos	12,67 ± 0,33	17,00 ± 0,58	21,33 ± 0,88	25,00 ± 0,6
Peso del fruto (g)	352,3 ± 1,4	455,0 ± 2,89	575,0 ± 2,89	646,7 ± 4,4
Biomasa del fruto (g)	46,33 ± 0,88	55,00 ± 0,58	65,33 ± 0,88	75,67 ± 0,7
BFSPC (g)	36,33 ± 0,88	48,00 ± 0,58	56,00 ± 0,58	65,67 ± 1,2
Grosor de la pulpa (mm)	3,13 ± 0,03	3,67 ± 0,03	3,93 ± 0,09	4,23 ± 0,03
BPCS (g)	7,40 ± 0,06	8,50 ± 0,06	9,30 ± 0,06	11,20 ± 0,1
Rendimiento kg ha ⁻¹	12.835 ± 250	16.267 ± 93	18.367 ± 66	25.200 ± 551
Flavonoides (mg 100 g ⁻¹)	108,3 ± 1,7	140,0 ± 2,9	161,7 ± 2,4	283,3 ± 4,4
Contenido fenólico	185,0 ± 2,89	216,7 ± 8,82	250,0 ± 5,77	313,3 ± 3,33
Capacidad antioxidante	106,7 ± 1,7	113,7 ± 0,88	118,0 ± 0,58	124,7 ± 0,88

BFSPC = Biomasa del fruto sin pedúnculo central; BPCS = Biomasa del pedúnculo con semillas.

$\text{cm}^3 \text{ha}^{-1}$ de silicato de calcio $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$ contra un tratamiento control (sin aplicación de silicio) en cultivo de pimiento de la variedad Yolo Wonder; los autores no encontraron efecto ni de la fuente ni del nivel del silicio sobre las variables altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, flores y frutos, solamente reportan efecto sobre la química foliar (NO_3^- , K^+ y Na^+) de las plantas del pimiento.

Respecto a las variables de crecimiento, en la Fig. 1 se presentan los resultados obtenidos en el diámetro del tallo y del fruto, así como en el grosor de la pulpa; en todos ellos, el comportamiento fue lineal positivo, con diferencias estadísticas significativas ($P<0,05$) entre los cuatro niveles de silicio. Cárdenas (2019) reporta un mayor diámetro del tallo en plantas de pimiento, utilizando dosis de nanopartículas de silicio a 1.000 mg L^{-1} . Un mayor diámetro del tallo en chile habanero fue obtenido por Cárdenas (2014), aplicando tres dosis de silicio (200, 400 y 600 g planta^{-1}), no observándose diferencia significativa ($P>0,05$) entre las dosis de silicio; de igual manera,

un mayor diámetro del tallo fue observado en plantas de tomate en respuesta a la aplicación de silicio, incrementándose la respuesta cuando se pasó de una dosis de 20 mg L^{-1} a una de 50 mg L^{-1} (Cázares et al., 2023). Sin embargo, Hu et al. (2022) indican que dosis de silicio de 1 nM , en condiciones de campo en cultivos de pepino, no afectó el diámetro del tallo. Un incremento en el diámetro polar y equatorial del fruto de la fresa fue publicado por Hernández et al. (2022), utilizando tres dosis ($0, 1,52$ y $2,28 \text{ g L}^{-1}$ de silicio amorfo Diatomix®) mediante fertilización foliar, donde el mayor diámetro se obtuvo con la dosis de $2,28 \text{ g L}^{-1}$. De igual manera un mayor diámetro del fruto de la fresa fue reportado por Nabir et al. (2020) utilizando dosis de 200 g de silicio 100 L^{-1} de agua.

La altura de la planta y la longitud del fruto se presentan en la Fig. 2; en ella se aprecia también un comportamiento lineal positivo con diferencia estadística ($P<0,05$) entre los niveles de silicio. Una mayor altura de la planta en pepino fue reportada por Quiroga (2016), utilizando tres niveles de

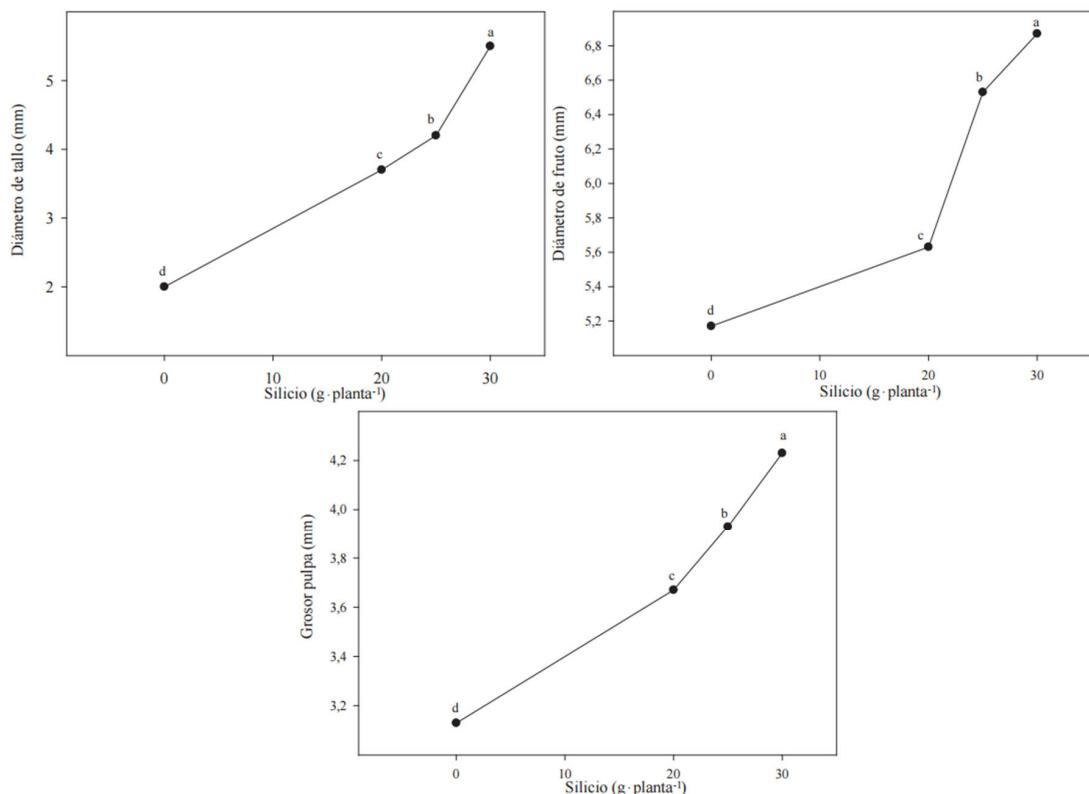


Fig. 1. Diámetro del tallo, diámetro del fruto y grosor de la pulpa del pimiento (*Capsicum annuum* L.) en respuesta a las dosis de silicio.

Fig. 1. Stem diameter, fruit diameter, and pulp thickness of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to silicon doses.

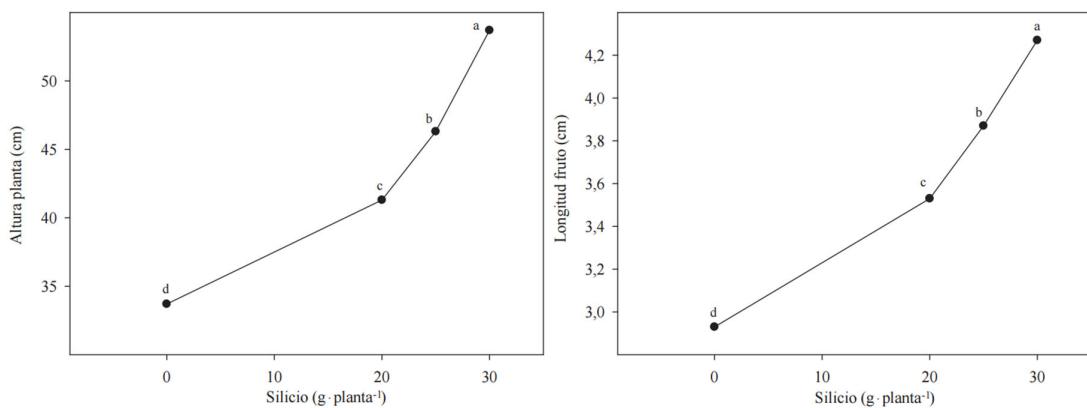


Fig. 2. Altura de la planta y longitud del fruto del pimiento (*Capsicum annuum L.*) en respuesta a las dosis de silicio.

Fig. 2. Plant height and fruit length of pepper (*Capsicum annuum L.*) in response to silicon doses.

fertilización de ácido silicio a concentraciones de 0,5, 1,0 y 1,5 L del producto comercial por 100 L de agua; la mayor altura se presentó con la dosis de 1.5 L. De igual manera una mayor altura de la planta en pepino y tomate fue observada con dosis de 50 mg L^{-1} de silicio (Cázares et al., 2022).

El número de hojas y frutos (Fig. 3), así como el peso y biomasa del fruto, la biomasa del fruto sin pedúnculo central y la biomasa del pedúnculo con semilla (Fig. 4), presentaron un comportamiento lineal positivo, existiendo diferencia estadística entre ellos. López-Cuén et al. (2025) señalan que el número de hojas y la altura de la planta de pepino se incrementó en respuesta a tres dosis (0, 4 y 8 g L^{-1} de silicio), siendo mayor la respuesta con la dosis de 8 g L^{-1} . Resultados similares son reportados por Reyes et al. (2023), quienes encontraron una mayor respuesta en el número y peso del fruto del pimiento con dosis de 10 g planta^{-1} . El número y peso del fruto en pimiento se incrementaron con la aplicación foliar de silicio en plantas estresadas con dos niveles de salinidad (Abdelaal et al., 2020). Se observó un incremento en el número de frutos del chile habanero híbrido Kukulkan (Cárdenas et al., 2013) con la aplicación de silicio a dosis de 200, 400 y 600 g planta^{-1} , no observándose diferencias significativas entre dichas dosis. Sin embargo, los mismos autores reportan que la dosis de 600 g planta^{-1} tiende a disminuir el comportamiento de esta variable. González (2017) evaluó el efecto del silicio y del calcio en la tolerancia a la salinidad del cultivo del pepino en condiciones de hidroponía con aplicaciones foliares a dos nM de silicio, obteniendo un incremento significativo de la biomasa seca de hojas, tallos y de la biomasa total, comparado con el tratamiento control sin silicio. Un incremento en la biomasa en el trigo

fue reportado por Maghsoudi et al. (2016) con la aplicación foliar de silicio en plantas de trigo bajo condiciones de estrés hídrico.

El rendimiento del pimiento se presenta en la Fig. 5, observándose una tendencia lineal positiva en la respuesta a la dosis de silicio, y una diferencia significativa entre las dosis de silicio utilizadas. Lo anterior concuerda con lo reportado por otros autores (Miyake y Takahashi, 1983; Reyes et al., 2023), quienes encontraron que el peso y la cantidad de frutos de pepino se incrementa a medida que la cantidad de silicio también lo hace. Rendimientos mayores (72.250 kg ha^{-1} y 170.000 kg ha^{-1}) a los encontrados en el presente estudio han sido reportados por otros autores (Mahmoud y Eslamboly, 2015; Monge-Pérez et al., 2022, respectivamente); lo anterior puede ser explicado por tratarse de regiones y condiciones geográficas diferentes, sin embargo, esto puede ser intrascendente en virtud de que el pimiento en muchas regiones del mundo se comercializa por unidad y no por peso (Monge-Pérez et al., 2022). El rendimiento de pepino y tomate en respuesta a dosis de silicio de 20 a 50 mg L^{-1} , en comparación con un tratamiento testigo, no presentó diferencias significativas (Cázares et al., 2022). Sin embargo, se ha reportado incrementos en respuesta a la aplicación de silicio en el rendimiento del tomate (Cázares et al., 2023), arroz (Valderrama, 2019), maíz amarillo (Lucero, 2022), frijol común (Dardón, 2019), frijol ejotero (Anchondo et al., 2024).

El comportamiento de las variables de la calidad de los frutos se presenta en la Fig. 6; igual que en el resto de las variables, el contenido fenólico, los antioxidantes y flavonoides siguen una tendencia lineal positiva en respuesta a la concentración de silicio. Similares resultados

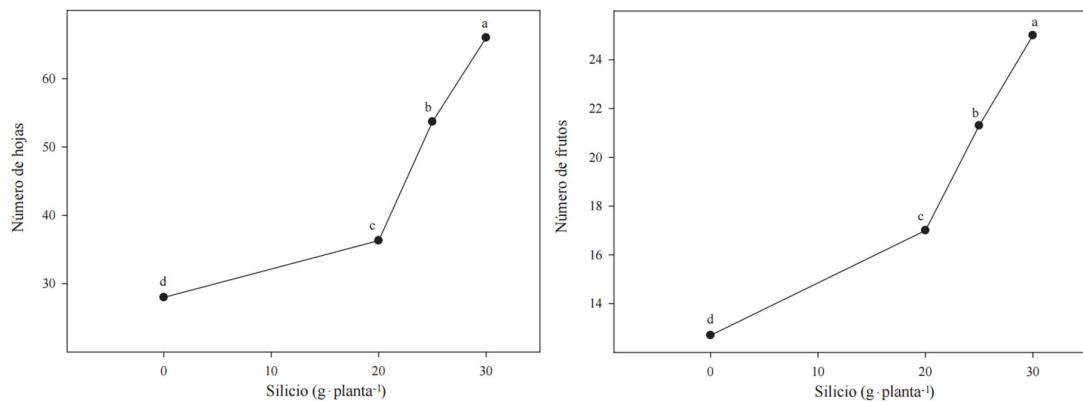


Fig. 3. Número de hojas y frutos del pimiento (*Capsicum annuum* L.) en respuesta a las dosis de silicio.

Fig. 3. Number of leaves and fruits of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to silicon doses.

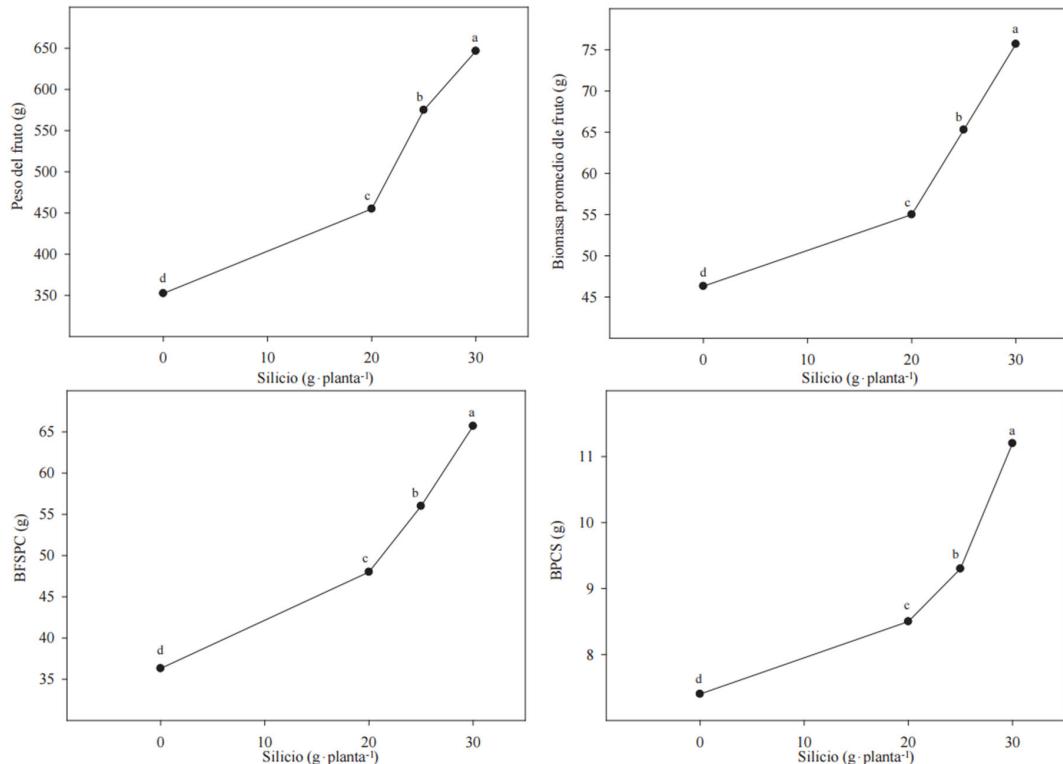


Fig. 4. Peso y biomasa promedio del fruto, biomasa del fruto sin pedúnculo central y biomasa del pedúnculo central con semilla del pimiento (*Capsicum annuum* L.) en respuesta a las dosis de silicio.

Fig. 4. Average fruit weight and biomass, fruit biomass without placenta, and fruit biomass including placenta with seeds of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to silicon doses.

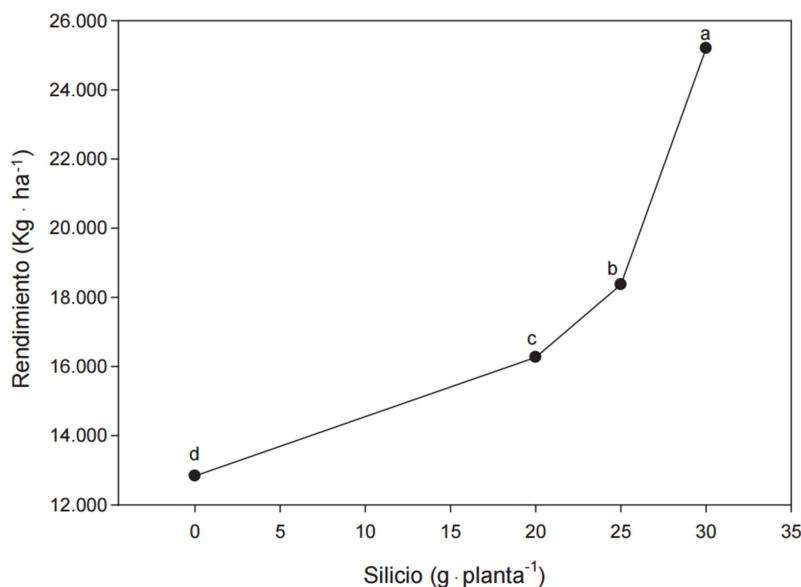


Fig. 5. Rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum L.*) en respuesta a las dosis de silicio.

Fig. 5. Yield of pepper in response (*Capsicum annuum L.*) to silicon doses.

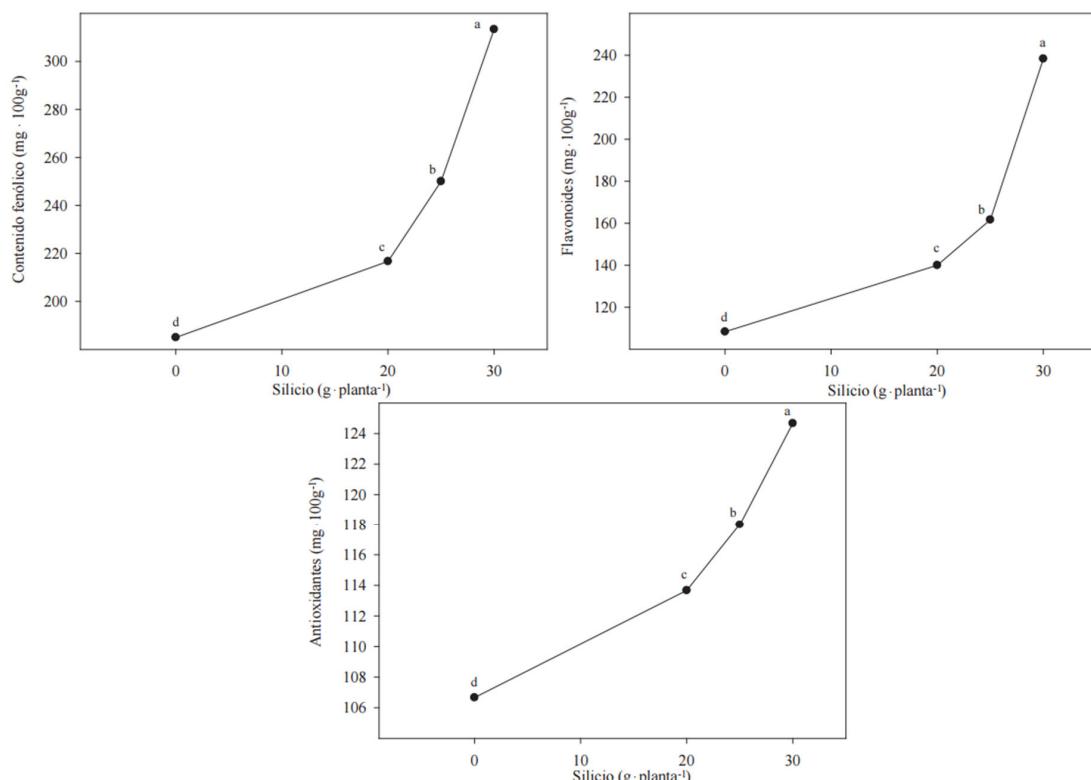


Fig. 6. Características de calidad de los frutos del pimiento (*Capsicum annuum L.*) en respuesta a las dosis de silicio.

Fig. 6. Fruit quality traits of pepper (*Capsicum annuum L.*) in response to silicon doses.

respecto a la actividad antioxidante y contenido de fenoles fueron reportados con la aplicación de silicio en pimiento (Huan et al., 2014), cebada (Vega et al., 2019) y trigo (Azad et al., 2021). En contraste, no se observó efecto de la aplicación del silicio sobre el contenido de fenoles, flavonoides y la capacidad antioxidante en fresa (Hernández et al., 2022).

CONCLUSIONES

El incremento en la dosis de silicio (0, 20, 25 y 30 g planta⁻¹) en el pimiento (*Capsicum annuum* L.) produce una respuesta lineal positiva en las variables morfológicas, productivas y de calidad.

Se recomienda estudiar dosis mayores de silicio, con el fin de poder determinar la máxima respuesta de dichas variables.

Contribución de autores

Juan José Reyes Pérez, Luis Tarquino Llerena Ramos, Moises Arturo Menace Almea y Erika Vanessa Castro Klinger tuvieron una participación activa en la revisión bibliográfica y en la elaboración de la metodología. Luis Guillermo Hernández Montiel tuvo una participación activa en la discusión de los resultados. Erendira Aragón Sánchez y Rafael de Luna de la Peña tuvieron una participación activa en la revisión bibliográfica y en la discusión de los resultados y Alejandro Palacios Espinosa tuvo una participación activa en la discusión de los resultados y en la revisión y aprobación final del artículo.

LITERATURA CITADA

- Abdelaal, K. A., Y. Mazrou, and Y. M. Hafez. 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>.
- Alhousari, F., and M. Greger. 2018. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. *Plants* 7(33):11 <https://doi.org/10.3390/plants7020033>.
- Anchondo, P. J. C., E. Sánchez, C. Ramírez, A. Salcido, E. Ochoa y E. Muñoz. 2024. Eficiencia de las nanopartículas de silicio y Cosidal® como potenciales bioestimulantes en judías verdes. *Terra Latinoamericana* 42: 1-10 <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1885>.

- Azad, M. O. K., B. Park, M. Adnan, M. Germ, I. Kreft, S. H. Woo, and C. H. Park. 2021. Silicon biostimulant enhances the growth characteristics and fortifies the bioactive compounds in common and Tartary buckwheat plant. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 24(1):51-59 <https://doi.org/10.1007/s12892-020-00058-1>
- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier y C.L.W.T. Berset. 1995. Uso de un método de radicales libres para evaluar la actividad antioxidante. *LWT-Ciencia y Tecnología de los Alimentos* 28(1): 25-30.
- Cárdenas, A. 2013. Efecto de diferentes concentraciones de silicio, adicionado al suelo en el cultivo de Chile Habanero a cielo abierto. *Revista Biológico Agropecuario Tuxpan* 2(1):156-159. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v1i2.228>.
- Cárdenas, C. 2019. Aplicación de nanopartículas de selenio, silicio y cobre para inducir tolerancia a estrés salino en el cultivo de pimiento (Trabajo para optar al grado de Maestro en Ciencias en Horticultura). Tesis Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 76 p. Disponible en <https://library.co/document/qvj961dq-aplicacion-nanoparticulas-selenio-silicio-inducir-tolerancia-estres-pimiento.html>.
- Castellanos, G.L., P.R. De Mello y C.N.N. Silva. 2015. El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos tropicales* 36:16-24. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000500002&script=sci_abstract.
- Cázares F. L., L. Partida, T. Velazquez, F. Ayala, T. Díaz, M. G. Yáñez y C. A. López. 2022. Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad post cosecha de pepino y tomate. *Terra Latinoamericana* 40: 1-11 <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.994>.
- Cázares F. L., A. Angulo, T. Vega, F. Ayala, J. A. Aguilar y L. Román. 2023. Producción de tomate en respuesta a la dosis de silicio. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(3): 1-7. <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3851>.
- Chuquitarco, V., J. Raura, T. Gavilanez y R. Laura. 2021. Experiencias productivas con pimiento (*Capsicum annuum*, L.) con abonos orgánicos en el subtrópico del Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria* 5(4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i4.6.

- Dardón, S. M. 2019. Efecto del silicio sobre el rendimiento del cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*, L.) en Siquinalá, Escuintla. Trabajo para obtener el título de Ingeniería en Tecnología Agrícola y Pecuaria. Tesis Universidad del Valle de Guatemala Campus Sur, Guatemala. 38 p. disponible en <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/5217>.
- Datnoff, L. E., G. H. Snyder, and G. H. Korndorfer. 2001. Silicon in Agriculture. B.V., ES (ed.). Amsterdam, The Netherlands. 425 p. (Studies in Plant Science, 8). Disponible en <https://www.elsevier.com/books/silicon-in-agriculture/datnoff/978-0-444-50262-9>.
- Ferrusquía, J. N. I., B. González, A. Rosales, K. Esquivel, E. M. Escamilla, A. E. Ortega and R. G. Guevara. 2022. Elicitation of *Bacillus cereus*-Amazcala (B.c-A) with SiO₂ nanoparticles improves its role as a plant growth-promoting bacteria (PGPB) in chili pepper plants. Plants 11: 3445. <https://doi.org/10.3390/plants11243445>.
- Gaur, S., J. Kumar, D. Kumar, D.K. Chauhan, S.M. Prasad, and P.K. Srivastava. 2020. Fascinating impact f silicon and silicon transporter in plants: A review. Ecotoxicol. Environ. Saf. 2018 Jan (147):881-896. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>. Epub 2017 Sep 28. PMID: 28968941.
- González, G. 2017. Silicio y calcio en la tolerancia a la salinidad en pepino en cultivo hidropónico y en suelo. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de: Maestro en Ciencia. Tesis Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. 182 p. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/3689/1/Gonzalez_Teran_GE_MC_Edadofologia_2017.pdf.
- Hernández, V. R., A. Juárez, A. Pérez, C. J. Lorenzo, A. Zermeño y J. A. González. 2022. Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad neutrcéutica del cultivo de fresa. Nova scientia 14(28): 1-16. <https://doi.org/10.21640/ns.v14i28.3032>.
- Hu, W., Y. Su, J. Zhou, H. Zhu, J. Guo, H. Huo, and H. Gong. 2022. Foliar application of silicon and selenium improves the growth, yield and quality characteristics of cucumber in field conditions. Scientia Horticulturae 294:110776. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423821008839> doi <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110776>.
- Huan, L., L. Jianming, Z. Gang, D. Qingjie, P. Tonghua, and C. Yibo. 2014. Effects of silicon on plant growth and fruit quality of cucumber. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica(8):117-121. Disponible en http://caod.oriprobe.com/articles/42627490/Effects_of_Silicon_on_Plant_Growth_and_Fruit_Quality_of_Cucumber.htm
- Hulse, A., H. Ashrafi, J. Plieske, J. Lemm, K. Stoffel, T. Hill, and A. Deynze. 2016. A HapMap leads to a Capsicum annuum SNP infinium array: a new tool for pepper breeding. Horticulture Research 3(16036). <https://doi.org/10.1038/hortres.2016.36>.
- Kaur, S., N. Kaur, K. H. M. Siddique, and H. Nayyar. 2016. Beneficial elements for agricultural crops and their functional relevance in defense against stresses. Archives of Agronomy and Soil Science 62: 905-920. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1101070>.
- Lamaison, J. L. C., and Carnet, A. 1990. Contents in main flavonoid compounds of Crataegus monogyna Jacq. and Crataegus laevigata (Poiret) DC flowers at different development stages. Pharmaceutica Acta Helvetica 65(1): 315-320.
- Lazo, S.I.B., D.R. Villaseñor, A. E. Luna, I. Rodríguez y J. V. Cun. 2024. Efectos de la aplicación de diferentes fuentes de silicio foliar en el cultivo de pimiento, Var: Yolo Wonder. Ab Intus 13 (7): 10-25 DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13136285>.
- Lee, V. N., Y. Rui, X. Gui, X. Li, S. Liu, and Y. Han. 2014. Uptake, transport, distribution and bioeffects of SiO₂ nanoparticles in Bt-transgenic cotton. Journal of Nanobiotechnology 12(1): doi <https://doi.org/10.1186/s12951-014-0050-8>.
- López-Cuen, P.I., D. González-Mendoza, M.I. Escobosa-García, V. Cárdenas-Salazar, F. Núñez-Ramírez, R. Soto-Ortiz y C. Ruíz-Alvarado. 2020. Respuesta fisiológica diurna del tomate a la aplicación de silicio bajo condiciones de salinidad. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10: 1367-1378. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1917>.
- López-Cuen, P. I., M. A. Payán, B. Y. Samaniego, R. E. Valle, J. Ruelas y F. Muñoz. 2025. Efecto del silicio en pepino cultivado en salinidad por micronutrientes. Terra Latinoamericana 42: 1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.2024>.
- López-Elías, J., S. Garza, M. A. Huez, J. Jiménez y E. O. Rueda. 2015. Producción de pepino (*Cucumis Sativus* L.) en función de la densidad de plantación en condiciones de invernadero. European Scientific Journal 11(24): Disponible en <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6098/5875>.

- Lucero, V. 2022. Fuentes de magnesio y silicio en el rendimiento de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), bajo condiciones de la Molina. Trabajo para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Tesis Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú 79 p. Disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e9f796e3-d8d1-4db4-b8fc-63546346bf21/content>.
- Maghsoudi, K., Y. Emam,, and M. Ashraf. 2016. Foliar application of silicon at different growth stages alters growth and yield of selected wheat cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 39(8):1194-1203. Disponible en <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1115876>. doi 10.1080/01904167.2015.1115876.
- Mahmoud, A. M. A., and A. A. El-Eslamboly. 2015. Production and evaluation of high yielding sweet pepper hybrids under greenhouse conditions American-Eurasian. *Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 15(4): doi 10.5829/idosi.aejaes.2015.15.4.12585
- Manna, I., and M. Bandyopadhyay. 2019. A review on the biotechnological aspects of utilizing engineered nanoparticles as delivery systems in plants. *Plant Gene* 17:100167. doi <https://doi.org/10.1016/j.PLGENE.2018.100167>.
- Miyake, Y. y Takahashi, E. 1983. Efecto del silicio en el crecimiento de plantas de pepino cultivadas en solución. *Soil Science and Plant Nutrition* 29(1): 71-83.
- Monge-Pérez, J. E., E. Elizondo-Cabalceta y M. Loría-Coto. 2021. Correlación y análisis de coeficiente de sendero en chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivado bajo invernadero. *Revista Tecnología en Marcha* 35(1):Pág. 128-139. Consultado 2022/12/12. Disponible en https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5335 doi 10.18845/tm.v35i1.5335.
- Nabir, A. K., D. A. Wurz, A. Fragherazzi, G. Dos Santos, and L. Leite. 2020. Efeito da aplicação foliar de silício nos aspectos productivos e qualitativos de frutos de morango. *Revista eletrônica científica da UERGS* 6(2): 144-149. <https://doi.org/10.21674/2448-0479.62.144-149>.
- Nuñez, A. R., J. Bueno, A. Chamú, M. Solís y O. Antunes. 2025. Soluciones nutritivas y aplicación foliar de silicio en la producción hidropónica de chile serrano. *Biotecnica* (XXVII): 1-9. <https://doi.org/10.18633/biotecnica.v27.2563>.
- Quero, E. 2008. Silicio en la producción de chile. La biosilicificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal (en línea). Disponible en http://loquequero.com/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=1.
- Quiroga, A. M. 2016. Respuesta a las aplicaciones de silicio en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*, L.) variedad modan, en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta en Culiacán, Sinaloa. Trabajo para optar el título de Ingeniera Agrónoma. Tesis Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A 71 p. Disponible en <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/582/Tesis%20Andrea%20M%20Quiroga%20S%20-%20Ingenieria%20Agronomica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rai, N., P. Ashiya, and D. Rathore. 2014. Comparative study of the effect of chemical fertilizers and organic fertilizers on *Eisenia foetida* Internacional. *Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3(5):12991-12998. http://www.ijirset.com/upload/2014/may/112_Comparative.pdf.
- Reyes, J. J., S. Rodríguez, J. A. Torres, L. T. Llerena, L. G. Hernández y F. H. Ruíz. 2023. Biofortificación con silicio en el crecimiento y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en ambiente controlado. *Terra Latinoamericana* 41:1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1749>.
- Sánchez, J. V. 2021. Comportamiento morfo-agroproductivo de diferentes cultivares de pimiento (*Capsicum annuum*) en la parroquia la Victoria (Pregrado). Tesis Machala, Universidad Técnica de Machala. 95 p. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16568/1/TTUACA-2021-IA-DE00034.pdf>.
- Singleton, V. L y J. A. Rossi. 1965. Colorimetría de fenólicos totales con reactivos de ácido fosfomolibdico-fosfotungstico. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158. DOI:10.5344/ajev.1965.16.3.144.
- Valderrama, F. 2019. Fuentes y niveles de silicio en el rendimiento de arroz (*Oryza sativa* L.) variedad La Esperanza, bajo riego. Trabajo para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Tesis Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 133 p. Disponible en <https://repositorio.unas.edu.pe/items/e1461732-c27a-4c38-8ee5-fe6489275cae>.
- Vega, I., M. Nikolic, S. Pontigo, K. Godoy, MdLL. Mora, and P. Cartes. 2019. Silicon improves the production of high antioxidant or structural phenolic compounds in barley cultivars under aluminum stress. *Agronomy* 9(7):388. doi <https://doi.org/10.3390/agronomy9070388>.

