

Producción de tomate en respuesta a dosis de silicio

Tomato production in response to doses of silicon

Luz Flores^{1*} ,
Azareel Angulo-Castro¹ ,
Tomás Aarón Vega-Gutiérrez¹ ,
Felipe Ayala-Tafoya¹ ,
José Antonio Aguilar-Quiñonez¹ ,
Leonardo Román-Román¹ 

¹Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, CP. 80000, Apartado Postal 25. Culiacán Rosales, Sinaloa, México.

*Autor de correspondencia:
luzcazares@uas.edu.mx

Nota científica

Recibida: 12 de julio 2023

Aceptada: 15 de noviembre 2023

Como citar: Cázares-Flores LL, Angulo-Castro A, Vega-Gutiérrez TA, Ayala-Tafoya F, Aguilar-Quiñonez JA (2023) Producción de tomate en respuesta a dosis de silicio. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(3): e3851. DOI: 10.19136/era.a10n3.3851

RESUMEN. Existe evidencia acerca del mejoramiento de la resistencia de las plantas ante factores bióticos y abióticos, el metabolismo fotosintético y la productividad de cultivos por la fertilización con silicio. El objetivo de la investigación fue conocer la atribución del silicio sobre el crecimiento, desarrollo y calidad postcosecha de tomate saladette indeterminado establecido en suelo. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cuatro tratamientos (0/testigo, 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de silicio) y tres repeticiones. Las tres dosis de silicio en estudio fueron eficaces para aumentar variables de crecimiento (número de hojas, área foliar, diámetro de tallo), así mismo, índice de verdor y acidez titulable. La firmeza y contenido de sólidos solubles del fruto no fueron afectados. Mientras que, con la dosis de 50 mg L⁻¹ se indujo el mayor rendimiento de tomate. En general, se observó significativamente una mayor producción de tomate con la adición de silicio al esquema de fertilización.

Palabras clave: °Brix, crecimiento, firmeza, rendimiento, verdor.

ABSTRACT. There is evidence about the improvement of plant resistance to biotic and abiotic factors, photosynthetic metabolism and crop productivity by silicon fertilization. The objective of the research was to know the attribution of silicon on the growth, development and postharvest quality of indeterminate saladette tomato established in soil. The experimental design used was complete randomized blocks with four treatments (0/control, 20, 30 and 50 mg L⁻¹ of silicon) and three repetitions. The three doses of silicon under study were effective in increasing growth variables (number of leaves, leaf area, stem diameter), as well as greenness index and titratable acidity. The firmness and soluble solids content of the fruit were not affected. While, with the dose of 50 mg L⁻¹, the highest tomato yield was induced. In general, significantly higher tomato production was observed with the addition of silicon to the fertilization scheme.

Key words: °Brix, firmness, greenness, growth, yield.

INTRODUCCIÓN

México históricamente cuenta con un sector de productores de tomate, cuyo objetivo es comercializar sus cosechas en el mercado internacional, colocándose como líder mundial exportador de la hortaliza. Durante el ciclo otoño-invierno de 2022, se sembraron 22 755 ha de tomate, donde Sinaloa obtuvo una producción de 526 829 t que representó 62.2% de la producción nacional, seguido de Baja California Sur, Sonora y Michoacán con 51 988 t (6.0%), 43 370 t (5.0%) y 36 855 t (4.3%), respectivamente (SIAP 2022).

Desde hace más de cuatro décadas, se ha informado de los efectos benéficos del silicio (Si) en algunos cultivos, si bien dichos efectos se centraron en gramíneas como caña de azúcar, arroz y maíz. También se han realizado trabajos en familias de plantas como cucurbitáceas, solanáceas, crucíferas y forestales (Castellanos *et al.* 2015). Entre los beneficios del elemento se menciona el mejoramiento al suelo y la disponibilidad de nutrientes (Zargar *et al.* 2019). Aunque, la absorción de Si depende de la presencia de transportadores específicos entre las diferentes especies de plantas (Kaur y Greger 2019).

El silicio promueve la resistencia a factores medioambientales, biológicos y edáficos en las plantas (Hernández *et al.* 2022). Este elemento es catalogado como benéfico para las plantas, por encontrarse involucrado en la regulación del metabolismo, procesos fisiológicos de la planta, bioquímicamente, antioxidante y/o estructural, lo cual aumenta la persistencia de las plantas ante factores bióticos y abióticos (Liang *et al.* 2015). Se ha demostrado que el Si es importante para las plantas en la resistencia a insectos plagas y patógenos, según Epstein (1999), observaron tolerancia a metales pesados, incremento en crecimiento, contenido de clorofila, fotosíntesis y por su puesto el aumento de enzimas antioxidantes (Abd-Allah *et al.* 2019); así como, el incremento en rendimiento y calidad de los frutos (Dehghanipoodeh *et al.* 2016). Sin embargo, se desconoce el efecto de dosis de Si en algunas hortalizas. Por otro lado, el silicio es considerado como un bioestimulante en la fertilización orgánica,

sin embargo, los reporte de Dehghanipoodeh *et al.* (2016), observaron un efecto significativo al incrementar rendimiento y calidad de los cultivos (Azad *et al.* 2021). De manera que, también se ha reportado que el uso de la tierra diatomea (como fuente de Si) aumenta la biomasa seca y el rendimiento de las plantas (Das *et al.* 2017). Los suelos con baja presencia de un hidrocarburo pesado pueden reducir los riesgos de salud (Ortega-Ramírez *et al.* 2023).

El papel que desempeña el Si, ante respuestas significativas en el crecimiento y desarrollo de las plantas, está relacionado con mejorar la absorción de nutrientes minerales en los tejidos vegetales (Cuacua-Temiz *et al.* 2017). Al respecto, Ashfaque *et al.* (2017) mencionan que los beneficios del Si, ante estrés de metales pesados, son: reducción del transporte de los metales hacia la raíz y parte aérea, protección de la actividad fotosintética, aumento de la clorofila y el contenido de carotenoides. Lo cual concuerda con Ahmed *et al.* (2023), quienes indicaron que las nano partículas de Si (Si NPs), en maíz bajo estrés por Cd, aumentaron contenido de clorofila a, b y total, así como el número de carotenoides, por otra parte, los estudios de Guerrero-Martin *et al.* (2023), no observaron presencia de metales pesados en su investigación aplicando elementos traza en cultivos de frijol bola roja establecidas en campo abierto.

El silicio tiene numerosas funciones en la fisiología vegetal, efectos que se centran en la pared celular, aumentando su fuerza, resistencia a salinidad, tolerancia a la sequía y actividad fotosintética. El Si no se considera un nutriente esencial, pero sí benéfico para muchas plantas, al mejorar el crecimiento y rendimiento (Bhatt y Sharma 2018). Por tal razón el objetivo de la investigación fue conocer la atribución del silicio (Si) sobre el crecimiento, desarrollo y calidad postcosecha de tomate saladette indeterminado establecido en suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el campo de investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizado en las

coordenadas 24° 48' 30" N y 107° 24' 30" O, a 38.54 m de altitud.

El suelo del campo experimental es tipo vertisol crómico, con 64% de capacidad de campo, 39% de punto de marchitamiento permanente, y 25% de humedad aprovechable, con base en el peso de suelo seco. El porcentaje de materia orgánica en el suelo es menor a 1.0%; con menos de 0.002% de nitrógeno total, respecto al contenido de fósforo y potasio rondan en 17.5 y 300 mg kg⁻¹, respectivamente, pH de 7.5 a 8.0 y conductividad eléctrica menor de 1.0 dS m⁻¹. El clima de Culiacán es BS1(h')w(w)(e): semiseco, muy cálido, extremoso con lluvias de verano, con temperatura media anual de 25.9 °C y precipitación media anual de 672 mm (García 2004).

En septiembre de 2021 se sembró tomate saladette indeterminado cv. La Gema (Nirit Seeds LTD) en charolas de poliestireno con sustrato PRO-MOSS® FINE. El trasplante se realizó en el suelo cuando las plántulas mostraron la cuarta hoja verdadera, a una sola hilera con separación de 30 cm de distancia entre una planta y otra, la separación entre camas hortícolas fue de 1.6 m, lo que originó una densidad de 20 833 plantas por hectárea. La fertilización se ejecutó mediante 250 kg ha⁻¹ de N (Urea® 46-0-0), 150 kg ha⁻¹ de P (MAP® 12-61-0), 150 kg ha⁻¹ de K (NKS® 12-0-46), Cautiver® en dosis de 200-250 g/100 L de agua vía foliar a los 15 y 30 días después del trasplante (ddt) y ROOT Base® vía foliar en dosis de 1 L ha⁻¹ a los 20, 40 y 60 ddt, y después del primer corte aumentó la dosis a 3 L ha⁻¹.

Se utilizaron cuatro tratamientos: 0 (testigo), 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si (Diatomix® con 94% de Si) y tres repeticiones, el diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar (DBCA). Las parcelas experimentales constaron de 6.56 m².

Los niveles de Si se aplicaron solo una vez a los 26 ddt (solución de 3 L de agua) en el fondo de un surco de ≈5.0 cm de profundidad.

En una muestra aleatoria de 15 plantas por tratamiento, 20 días después de la aplicación (dda) de los tratamientos, se determinaron las variables de crecimiento vegetal. La altura de planta se determinó de la parte basal a la yema apical del tallo princi-

pal, mediante una cinta métrica ExeQianming®. También se determinó el diámetro de tallo, a un 1 cm sobre su base, mediante un vernier digital CALDI-6 MP, TRUPER®. Se obtuvo el índice de verdor en la parte central de la cuarta hoja recientemente madura, mediante el promedio de tres lecturas obtenidas con un SPAD 502 Plus, Minolta® (medidor de clorofila). Mientras que, el área foliar de la hoja se calculó con la fórmula: AF = 0.347 x (Largo x Ancho) - 10.7 (Blanco y Folegatti 2003). La cosecha de tomate se inició a los 90 ddt, la cual comprendió de 13 cortes en el grado de madurez verde maduro (USDA 1997). El peso de los frutos se determinó mediante una báscula mecánica colgante BAS-10C, TRUPER®.

Para evaluar la calidad postcosecha se tomaron cinco frutos por repetición o tratamiento en estado de madurez rojo pálido, de acuerdo con la tabla de madurez fisiológica de tomate (USDA 1997). En los cuales se determinó firmeza en newtons (N) con un penetrómetro GY4 BASE GY-4S® y una punta de acero de 8 mm, por triplicado en la zona ecuatorial del fruto. Los sólidos solubles totales (SST) se evaluaron mediante tres gotas del extracto del fruto con un refractómetro 300010, Sper Scientific®, calibrado con agua destilada. Para la determinación del pH y acidez titulable (ácido cítrico), se muestrearon 10 g de cada fruto, se homogenizó con 50 mL de agua destilada (pH 7.0) en una licuadora 85554 Osterizer®, la muestra se filtró a través de una tela organza, los datos se tomaron con un medidor combo pH/CE HI98130, Hanna® Instruments. Seguidamente se tomó una alícuota de 10 mL para medir acidez titulable, se adicionaron tres gotas de fenolftaleína al 1.0% y se tituló con una solución de NaOH al 0.1 N, hasta que el vire fue de color rosa. El porcentaje de ácido cítrico se determinó mediante la siguiente fórmula (AOAC 2005).

$$\% \text{ acidez} = \frac{(G)(N)(M)(V)(100)}{(P)(A)}$$

Donde: G = gasto de NaOH (mL), N = NaOH 0.1 N, M = miliequivalentes del ácido orgánico predominante, V = volumen total de 50 mL, P = peso de la muestra 50 g y A = alícuota de 10 mL.

Los datos obtenidos fueron analizados con

el paquete estadístico MINITAB® 18, mediante la ANOVA y prueba de comparación de medias por el método Tukey y un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aunque altura de planta no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) causadas por los tratamientos, el diámetro de tallo de las plantas tratadas con Si fue 7% más grueso superando a las plantas testigo. Las plantas tratadas con dosis de 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si incrementaron en 9.8, 11.2 y 11.3% el número de hojas por planta, respectivamente. Asimismo, en área foliar las dosis crecientes de Si indujeron incrementos en 10.9, 30.8 y 32.7%, con respecto al testigo (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con Epstein (1994), quien menciona que, si no se tiene influencia del Si en la altura de las plantas, este puede manifestarse de otra manera cuando es adicionado en una solución nutritiva, como en el caso del cultivo de *Bromus secalinus* con tres niveles de Si, donde no se encontró significancia en el peso de hoja y altura de planta, sin embargo, hubo respuesta significativa en la producción, llenado y viabilidad de semillas. También coincide con Hernández et al. (2022), quienes no encontraron efectos significativos en fresa, en el número de hojas, altura de planta, número de coronas e índice de área foliar, con tres dosis de Si.

El índice de verdor de las plantas de tomate dosificadas con 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si, superó en 2.7, 2.8 y 4.9% al verdor foliar de las plantas testigo. El valor obtenido de este estudio coincide con Cao et al. (2013), quienes encontraron que, al aplicar soluciones de silicio 0.6 mM y 1.2 mM en tomate cultivado hidropónicamente, el contenido de clorofila (a y b), la tasa fotosintética y la eficiencia del agua aumentó a causa de ambas concentraciones. Al respecto, Basu y Kumar (2021) indican que el Si causa efectos indirectos, como; aumento de actividad fotosintética, el peso de biomasa, la eficacia de la carboxilación y la acumulación de nutrientes en las plantas, al inducir una mayor absorción de nitrógeno y fósforo.

En el aspecto reproductivo, la dosis de 50 mg L⁻¹ de Si indujo al mayor rendimiento de frutos ($p \leq 0.05$), el cual fue 4.8% mayor al obtenido con el

tratamiento testigo. El resultado concuerda con Yan et al. (2018), quienes mencionan que el Si induce la resistencia mecánica de las plantas, mayor interceptación de luz, así como, resistencia a factores bióticos y abióticos, mejorando el rendimiento y calidad de fruto. Además, coincide con Chagas et al. (2016), quienes mencionan que, una fertilización con Si favorece el crecimiento de la planta e induce incremento en el rendimiento. Así mismo, concuerda con El-Shoura (2020) quien indica que, mediante el uso de silicato de potasio vía riego en dosis de 100 ppm incrementó la longitud, número, peso de fruto y el rendimiento total de calabaza.

Si bien la firmeza y el contenido de SST de los frutos no mostraron diferencias estadísticas causadas por los tratamientos, las dosis de Si ocasionaron una variación positiva en ambas variables, con incrementos de 2.0 a 2.2% en la firmeza y de 8.1 a 10.8% en contenido de SST. Al respecto, Villalba-Campos et al. (2014), indican que las frutas con menor firmeza son más expuestas al deterioro durante el manejo postcosecha, de manera que, la firmeza es un indicador de maduración que determina la calidad de los frutos durante el manejo postcosecha y el empaque del producto. Al respecto, Moraes et al. (2004) señalan que, las plantas tratadas con Si muestran menor pérdida de agua conforme pasa el tiempo de almacenamiento, afirmando que la deposición de Si en las paredes celulares determinan la conservación del agua en los tejidos.

Para la variable de pH, las dosis de Si ocasionaron un decremento de 4%, en comparación con el pH de los frutos del tratamiento testigo. Mientras que, los frutos producidos por las plantas tratadas a dosis de 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si presentaron una acidez titulable (AT) que superó en 3.5, 7.0 y 17.5% a la de los frutos del tratamiento testigo (Tabla 2).

El aumento del rendimiento, SST y AT en los frutos tiene correlación con el aumento del verdor foliar, clorofila y actividad fotosintética, producto de la concentración de azúcares y compuestos orgánicos en las hojas, en algunas ocasiones en granos y frutos (Bybordi 2016, Guerrero-Martin et al. 2023, Sariñana et al. 2023). Efectos que coinciden con Yaghubi et al.

Tabla 1. Crecimiento de plantas de tomate saladette indeterminado cv. La Gema enriquecidas con silicio.

Tratamientos (Dosis de Si)	Altura/planta (cm)	Diámetro/tallo (mm)	Hojas/planta ()	Área foliar (cm ²)	Verdor foliar (valores Spad)
0 mg L ⁻¹ (testigo)	68.7 ± 6.4 ^a	5.6 ± 0.31 ^b	13.2 ± 1.6 ^b	161.1 ± 26.9 ^b	46.4 ± 2.9 ^b
20 mg L ⁻¹	66.8 ± 8.9 ^a	6.0 ± 0.39 ^a	14.5 ± 1.5 ^{ab}	178.6 ± 46.6 ^{ab}	47.7 ± 2.8 ^{ab}
30 mg L ⁻¹	66.5 ± 5.8 ^a	6.0 ± 0.33 ^a	14.7 ± 1.1 ^a	210.7 ± 33.9 ^a	47.7 ± 3.1 ^{ab}
50 mg L ⁻¹	66.1 ± 6.0 ^a	6.0 ± 0.31 ^a	14.7 ± 1.6 ^a	213.8 ± 36.6 ^a	48.7 ± 3.5 ^a
CV (%)	10.09	6.37	10.89	22.38	6.53

Medias ± desviación estándar con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación.

Tabla 2. Rendimiento y calidad postcosecha de tomate saladette indeterminado cv. La Gema enriquecido con silicio.

Tratamientos (Dosis de Si)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Firmeza (Newtons)	SST (°Brix)	pH	Acidez titulable (%)
0 mg L ⁻¹ (testigo)	63.0 ± 0.1 ^b	59.6 ± 5.9 ^a	3.7 ± 0.4 ^a	5.0 ± 0.1 ^a	0.057 ± 0.006 ^b
20 mg L ⁻¹	63.0 ± 1.6 ^b	60.8 ± 3.9 ^a	4.0 ± 0.5 ^a	4.8 ± 0.1 ^b	0.059 ± 0.006 ^{ab}
30 mg L ⁻¹	63.0 ± 1.6 ^b	60.9 ± 5.9 ^a	4.1 ± 0.6 ^a	4.8 ± 0.1 ^b	0.061 ± 0.007 ^{ab}
50 mg L ⁻¹	66.0 ± 1.6 ^a	60.9 ± 4.6 ^a	4.1 ± 0.5 ^a	4.8 ± 0.1 ^b	0.067 ± 0.007 ^a
CV (%)	6.71	8.12	13.04	2.5	11.83

Medias ± desviación estándar con la misma letra, dentro de cada columna, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. SST: sólidos solubles totales.

(2019), quienes al cultivar fresa con 1 500 ppm de Si en condiciones no salinas, mejoró SST y AT debido al incremento de clorofila, la eficiencia fotosintética, azúcares y ácidos orgánicos derivados de las hojas y translocados a los frutos. Mientras que De Jesús *et al.* (2018) mencionan que, el silicio posee una función protectora de los cloroplastos, mejorando la cantidad de pigmentos conectados con la asimilación de la luz y el incremento de la actividad fotosintética de las plantas, sin embargo, los estudios reportados por Silva-Marrufo *et al.* (2020) evidenciaron que los usos de sales minerales en forma de aplicación de ácido salicílico mostraron una mejoría en SST obteniendo 8.8 °Brix en plantas de fresas hidropónicas a

los 25 días de la primera aplicación. Bajo las condiciones del estudio realizado, con la dosis de 50 mg L⁻¹ de silicio se obtuvieron las mejores respuestas de crecimiento de plantas, así como, de rendimiento y calidad de frutos.

AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes del octavo semestre ciclo 2021-2022, de la Licenciatura en Ingeniería Agronómica con acentuación en Horticultura (Grupo 4) y Protección Vegetal (Grupo 1 y 2). Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

LITERATURA CITADA

- Abd-Allah EF, Hashem A, Alam P, Ahmad P (2019) Silicon alleviates nickel-induced oxidative stress by regulating antioxidant defense and glyoxalase systems in mustard plants. *Journal of Plant Growth Regulation* 38: 1260-1273.
- Ahmed S, Iqbal M, Ahmad Z, Iqbal MA, Artyszak A, Sabagh AE, Alharby HF, Hossain A (2023) Foliar application of silicon-based nanoparticles improve the adaptability of maize (*Zea mays* L.) in cadmium contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research* 30: 41002-41013.
- AOAC (2005) Official methods of analysis of AOAC international, 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington.
- Ashfaque F, Inam A, Inam A, Iqbal S, Sahay S (2017) Response of silicon on metal accumulation, photosynthetic inhibition and oxidative stress in chromium-induced mustard (*Brassica juncea* L.). *South African Journal of Botany* 111: 153-160.

- Azad MOK, Park BS, Adnan M, Germ M, Kreft I, Woo SH, Park CH (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: 51-59.
- Basu S, Kumar G (2021) Exploring the significant contribution of silicon in regulation of cellular redox homeostasis for conferring stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 166: 393-404.
- Bhatt D, Sharma G (2018) Role of silicon in counteracting abiotic and biotic plant stresses. *International Journal of Chemical Studies* 6: 1434-1442.
- Blanco FF, Folegatti MV (2003) A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira* 21: 666-669.
- Bybordi A (2016) Influence of zeolite, selenium and silicon upon some agronomic and physiologic characteristics of canola grown under salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47: 832-850.
- Cao BL, Xu K, Shi J, Xin GF, Liu CY, Li X (2013) Effects of silicon on growth, photosynthesis, and transpiration of tomato. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 19: 354-360.
- Castellanos GL, De Mello PR, Silva CCN (2015) El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales* 36: 16-24.
- Chagas RCS, Muraoka T, Korndörfer GH, Camargo MSD (2016) Silicon fertilization improve yield and quality of rice and pearl millet in cerrado soils. *Bioscience Journal* 32: 899-907.
- Cuacua-Temiz C, Trejo-Téllez LI, Velasco-Velasco J, Gómez-Merino FC (2017) Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la nutrición de heliconias (*Heliconia* sp.). *Agroproductividad* 10: 62-68.
- Das KK, Swamy GSK, Debalina B (2017) Influence of diatomaceous earth as a source of silicon on growth status of guava cv. Sardar. *Trends in Biosciences* 10: 1372-1375.
- Dehghanipoodeh S, Ghobadi C, Baninasab B, Gheysari M, Bidabadi SS (2016) Effects of potassium silicate and nanosilica on quantitative and qualitative characteristics of a commercial strawberry (fragaria × ananassa cv. 'camarosa'). *Journal of Plant Nutrition* 39: 502-507.
- De Jesús EG, De Fátima RT, Guerrero AC, De Araújo JL, Brito MEB (2018) Growth and gas exchanges of arugula plants under silicon fertilization and water restriction. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22: 119-124.
- El-Shoura AM (2020) Effect of foliar application with some treatments on summer squash (*Cucurbita pepo*, L.) tolerance to high temperature stress. *Middle East Journal of Agriculture Research* 9: 468-478.
- Epstein E (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91: 11-17.
- Epstein E (1999) Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 641-664.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a ed. UNAM. Instituto de Geografía. México. 90p.
- Guerrero-Martin CA, Ortega-Ramírez AT, Silva-Marrufo Ó, Casallas-Martín BD, Cortés-Salazar N, Salinas-236 Silva R, DV Duarte E (2023) Biofortification of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops applying 237 zinc sulfate and ferric sulfate: Pilot crop in Colombia. *Molecules* 28: 2004. 238
- Hernández VRD, Juárez MA, Pérez HA, Lozano CCJ, Zermeño GA, González FJA (2022) Influencia de fertilizantes orgánicos y del silicio sobre la fisiología, el rendimiento y la calidad nutracéutica del cultivo de fresa. *Nova Scientia* 14: 1-16. DOI: 10.21640/ns.v14i28.3032.

- Kaur H, Greger M (2019) A review on Si uptake and transport system. *Plants* 8: 81. DOI: 10.3390/plants8040081.
- Liang Y, Nikolic M, Bélanger R, Gong H, Song A (2015) Silicon in agriculture: from theory to practice. Springer Dordrecht. 235p.
- Moraes JC, Goussain MM, Basagli MAB, Carvalho GA, Ecole CC, Sampaio MV (2004) Silicon influence on the tritrophic interaction: wheat plants, the greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae), and its natural enemies, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). *Neotropical Entomology* 33: 619-624.
- Ortega-Ramirez AT, Torres-López CA, Silva-Marrufo O, Moreno-Barriga LA (2023) Validación sintética de suelos contaminados por hidrocarburos pesados. caso de estudio. *Fuentes, el Reventón Energético* 21: 83-93.
- Sariñana AO, Garcia TMI, Preciado RP, Silva MO, Lara REA (2023) Agronomic 197 and metabolomic response of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under the application of high indole-198 3-acetic acid concentrations: Agronomic and metabolomic response of melon. *Biotecnia* 25(3): 16-24.
- SIAP (2022) Escenario mensual de productores agroalimentarios. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/reporte-mensual-de-escenarios-de-18-productos-agroalimentarios-2022>. Fecha de consulta: 11 de abril de 2023.
- Silva-Marrufo O, Marín-Tinoco RI, Castañeda-Venegas JA (2020) Effect of potassium iodide and salicylic acid in the cultivation of hydroponic strawberries (*Fragaria* L.). *Journal-Agrarian and Natural Resource Economics* 84: 17-23.
- USDA (1997) United States standards for grades of fresh tomatoes. United States Department of Agriculture, Washington DC. USA. 13p.
- Villalba-Campos L, Herrera-Arévalo AO, Orduz-Rodríguez JO (2014) Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco). *Orinoquia* 18: 21-34.
- Yaghubi K, Vafae Y, Ghaderi N, Javadi T (2019) Potassium silicate improves salinity resistant and affects fruit quality in two strawberry cultivars grown under salt stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50: 1439-1451.
- Yan G-C, Nikolic M, Ye M-J, Xiao Z-X, Liang Y-C (2018) Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture* 17: 2138-2150.
- Zargar SM, Mahajan R, Bhat JA, Nazir M, Deshmukh R (2019) Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech* 9: 73. DOI: 10.1007/s13205-019-1613-z.