

Respuesta de Dos Variedades de Pepino (*Cucumis sativus* L.) al Silicio y Cloro Aplicados en Casa Sombra Response of Two Varieties of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) to Silicon and Chlorine Applied in Shade Houses

Luz Llarely Cázarez-Flores¹, Leopoldo Partida-Ruvalcaba^{1*},
Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz¹, Norma Delia Zazueta-Torres²,
Moisés Gilberto Yáñez-Juárez¹, Azareel Angulo-Castro¹ y Tomás Díaz-Valdés³

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Apdo. Postal 25. 80000, Culiacán, Sinaloa, México; (L.L.C.F.), (L.P.R.), (T.J.V.A.), (M.G.Y.J.), (A.A.C.).

* Autor para correspondencia: parpolo@yahoo.com.mx

² Tecnológico Nacional de México/ITS Eldorado. Avenida Tecnológico s/n, Col. Rubén Jaramillo. 80450 Eldorado, Culiacán, Sinaloa, México; (N.D.Z.T.).

³ Universidad Central del Este, Dirección de Gestión de Investigaciones Científicas. Avenida Francisco Alberto Caamaño Deñó. 21000 San Pedro de Macorís, República Dominicana; (T.D.V.).

RESUMEN

El crecimiento de plantas, mayor rendimiento y calidad de frutos, son efectos positivos debido a la absorción de silicio (Si) y cloro (Cl), que contribuye a mitigar el estrés por factores bióticos o abióticos y recuperar el crecimiento de las plantas. El objetivo de la presente investigación fue conocer el efecto que producen las dosis de Si o Cl en variables morfológicas, calidad de producción y rendimiento del cultivo de pepino. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar, cuatro repeticiones y diez tratamientos en plántulas: seis dosis de 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si o Cl, tres dosis con la relación volumen:volumen (v:v) de 20:20, 30:30 y 50:50 mg L⁻¹ Si:Cl, más el testigo. En plantas trasplantadas en suelo, ya con cinco hojas verdaderas, los tratamientos fueron nueve: seis dosis de 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si o Cl, dos con la relación v:v de 20:20 y 30:30 mg L⁻¹ Si:Cl, y el testigo.

En plántulas de pepino 'pickle', la dosis alta de Cl fue más eficaz para incrementar el verdor de hojas y longitud del tallo; el tamaño de hojas fue superior en plántulas con la dosis alta de Si; mientras que las bajas dosis de Cl o Si ocasionaron mayor peso seco de raíces. En el cultivar 'Modan' el verdor no varió, la longitud del tallo fue superior con la dosis intermedia de Si, mientras que el tamaño de hojas se expresó mejor en plantas con la menor dosis de Si. Así que quizás la mayor cantidad de raíces, el contenido de clorofila y el área foliar influyeron para que el rendimiento más alto se expresara donde se fertilizó con Si o Cl, así como para que mejoraran la firmeza, SST y °Brix de los frutos.

Palabras clave: área foliar, crecimiento, nutrimentos, verdor.

SUMMARY

Plant growth, higher yield and fruit quality are positive effects due to the absorption of silicon (Si) and chlorine (Cl), which contributes to mitigating stress due to biotic or abiotic factors and recovering plant growth. The objective of this research was to know what the effect of Si or Cl does on morphometric variables, production quality and yield of the cucumber crop. A complete randomized block design was applied, four repetitions and ten treatments in seedlings: six doses of 20, 30 and 50 mg L⁻¹ of Si or Cl, three doses with the volume:volume (v:v) ratio of 20 :20, 30:30 and 50:50 mg L⁻¹ Si:Cl, plus the control. In plants transplanted in soil, already with five true leaves, there were nine treatments: six doses of 20, 30 and 50 mg L⁻¹ of Si or Cl, two with the v:v ratio of 20:20 and 30:30 mg L⁻¹ Si:Cl, and the witness.



Cita recomendada:

Cázarez-Flores, L. L., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T. J., Zazueta-Torres, N. D., Yáñez-Juárez, M. G., Angulo-Castro, A., & Díaz-Valdés, T. (2024). Respuesta de Dos Variedades de Pepino (*Cucumis sativus* L.) al Silicio y Cloro Aplicados en Casa Sombra. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-9. e1620. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1620>

Recibido: 28 de junio de 2022.
Aceptado: 8 de enero de 2024.
Artículo. Volumen 42.
Febrero de 2024.

Editor de Sección:
Dr. Francisco H. Ruiz Espinoza

Editor Técnico:
Dr. Fermín Pascual Ramírez



Copyright: © 2024 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/>).

In pickle cucumber seedlings, the high dose of Cl was more effective in increasing leaf greenness and stem length; leaf size was greater in seedlings with the high dose of Si; while low doses of Cl or Si caused greater dry weight of roots. In the 'Modan' cultivar, the greenness did not change, the stem length was greater with the intermediate dose of Si, while the size of leaves was better expressed in plants with the lowest dose of Si. So perhaps the greater number of roots, the chlorophyll content and the leaf area influenced the higher yield to be expressed where Si or Cl was fertilized, as well as the firmness, TSS and °Brix of the fruits to improve.

Index words: leaf area, growth, nutrients, greenness.

INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza cultivada y consumida a nivel mundial con gran importancia económica (Min, Song, Lim, Yi y Lee, 2023). En México, durante el ciclo otoño-invierno 2020, se sembraron 9 964 ha de pepino, con una producción de 550 231 toneladas y un rendimiento promedio de 55.61 Mg ha⁻¹. De la superficie total sembrada, el estado de Sinaloa contribuyó con 3 397 ha, en donde se obtuvo una producción total de 271 713 toneladas (SIAP, 2021).

Aparte de los nutrientes del suelo, el silicio (Si) es de suma importancia en procesos bioquímicos y geoquímicos subterráneos que involucran la química del suelo, crecimiento y desarrollo de las plantas (Epstein, 1994; Prasad y Power, 1997; Gérard, Mayer, Hodson y Ranger, 2008; Araya, Camacho, Molina y Cabalceta, 2015). En las plantas se transporta como ácido silícico que se mueve al brote y, tras la pérdida de agua, permanece como gel de sílice en la superficie de hojas y tallos, para contribuir en los efectos benéficos que expresan las plantas (Ma, Miyake y Takahashi, 2001).

Se han reconocido dos tipos de transportadores de Si [Low Silicon 1 (Lsi1) y Lsi2] implicados en la captación y distribución de este nutriente. Lsi1, un canal permeable de Si, pertenece al subgrupo III de proteína intrínseca principal (NIP) similar a Nod26 de la familia de proteínas de membrana de acuaporina con una selectividad distinta, mientras que Lsi2, un transportador de eflujo de Si, pertenece a una familia de transportadores de aniones no caracterizados (Ma y Yamaji, 2015).

Manivannan y Ahn (2017), mencionan que las plantas se clasifican en acumuladores de silicio; alto, medio y bajo, en función de la capacidad de las raíces para absorber este nutriente. Asimismo, que los efectos positivos en las plantas se deben directamente a la absorción de Si, y ha dado como resultado mitigar el estrés y recuperar el crecimiento, incluso en plantas de baja acumulación como el tomate.

Por otro lado, el Cloruro (Cl⁻) es considerado un anión tóxico para las plantas por dos razones principales: Toxicidad resultante del exceso de cloro (Cl⁻) por acumulación en órganos sensibles en condiciones de estrés por sal, y la creencia generalizada de que el Cl⁻ es un elemento antagónico (Broyer, Carlton, Johnson y Stout, 1954).

Marschner (2011) menciona que Cl es un micronutriente esencial, no considerado en la nutrición, ya que habitualmente puede ser proveído a través de la lluvia, y las deficiencias de Cl son raramente notadas en la agricultura o en la naturaleza; por lo que, al ser un micronutriente esencial para las plantas superiores, el requerimiento mínimo es de 1.0 g kg⁻¹ de peso seco de los cultivos. Los síntomas de deficiencia de Cl⁻ en tejido, oscila entre aproximadamente 0.1 y 7 mg g⁻¹ de peso seco (Xu, Magen, Tarchitzky y Kafkafi, 1999). Brumós, Talón, Bouhlal y Colmenero (2010), mencionan que en condiciones no salinas (hasta 5 mM Cl) y sin limitación de agua, el Cl⁻ estimula un mayor tamaño de las células de la hoja, un aumento moderado de la biomasa fresca y seca de la planta, debido a la regulación estomática y turgencia de las hojas, lo que permite a las plantas mejorar los parámetros de equilibrio hídrico foliar.

El objetivo de la investigación fue conocer el efecto de la aplicación Si o Cl en las variables morfológicas (verdor en hojas, longitud de tallo, área foliar, diámetro de tallo, biomasa seca de raíz y parte aérea), calidad de producción y rendimiento del cultivo de pepino.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se estableció en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa bajo condiciones de casa sombra, en las coordenadas 24° 37' 29" N y 107° 26' 36" O, con altitud de 38.5 m. Con clima cálido subhúmedo, donde en verano predominan las lluvias, temperatura media anual de 25.9 °C, presentando precipitaciones que van de 212.9 hasta 663.1 mm, en los meses de marzo y agosto, respectivamente (Flores, Arzola, Ramírez y Osorio, 2012).

Bajo casa sombra se sembró pepino pickle vr. 'Supremo' y pepino slicer vr. 'Modan', en octubre de 2017, una semilla por cavidad en charolas de 242 cavidades rellenas de peat moss (Berger), en donde se suministró agua y nutrimentos mediante decantación manual con 1.0 g L⁻¹ de 17-17-17 y 2.0 mL L⁻¹ de enraizaplus.

El trasplante de pepino slicer vr. 'Modan', se realizó cuando las plántulas mostraron la segunda hoja verdadera, a 30 cm de separación entre planta y planta, colocándolas a hilera sencilla, en camas con 32 m de longitud y 1.6 m entre hileras, la fertilización se proporcionó mediante el riego por goteo con 200 kg ha⁻¹ de N (Urea) y micro-min (20-30-10) en dosis de 2 L ha⁻¹ a los 36 y 56 días después de trasplante (ddt). Las plantas se guiaron con rafia, fijando a la base del tallo un anillo de plástico y alambres de invernadero.

Se usó el diseño de bloques completos al azar, cuatro repeticiones y diez tratamientos en plántulas de pepino pickle: Si o Cl en dosis de 20, 30 y 50 mg L⁻¹, Si:Cl en dosis de 20:20, 30:30 y 50:50 mg L⁻¹ y un testigo. En plantas del cultivar 'Modan' ya trasplantadas y con cinco hojas verdaderas se aplicaron los primeros ocho tratamientos más el testigo. Como fuente de Si se utilizó dióxido de silicio (94% de Si, Diatomix) y como fuente de cloro se utilizó hipoclorito de sodio (Cloralex comercial).

En pickle las aplicaciones se realizaron cuando las plántulas tuvieron la segunda hoja verdadera, a través de uno de los riegos; en pepino slicer vr. 'Modan' cuando presentaron cinco hojas verdaderas; los tratamientos se aplicaron mediante soluciones de 3 L de agua, sólo una vez a un lado de la hilera de plantas, en un surco con profundidad de 5.0 cm, construido con un triángulo metálico. Mientras que las plantas testigo sólo recibieron 3 L de agua. El área experimental para pickle constó de 44 plántulas por tratamiento, y para pepino 'Modan' tres camas con longitud de 32 m y 11 plantas por parcela de 5.6 m² por repetición.

En ambas variedades fueron seleccionadas 20 plantas al azar por tratamiento, para evaluar: el verdor en hojas que se determinó con un Spad-502, Minolta (medidor de clorofila), en la parte media de una hoja totalmente formada; la longitud de tallo fue medida desde la base hasta la yema apical del mismo con una cinta métrica; para el área foliar se midió lo largo (L) y ancho (W) de hojas con cinta métrica, para aplicar la ecuación propuesta por Blanco y Folegatti (2003): Área foliar = (L·W)·0.851; el diámetro de tallo se midió con un vernier (Truper CALDI-6MP), entre las hojas cotiledonales y primer hoja verdadera. Las evaluaciones se realizaron 15 días después de la aplicación de los tratamientos.

Posteriormente, sólo las plántulas de pickle se sometieron a secado durante 72 h en estufa (292, Felisa) a 70 °C, hasta peso constante, para determinar biomasa seca de raíz y parte aérea de las plántulas.

En pepino 'Modan' los frutos se cosecharon cuando alcanzaron una talla entre large y súper selecto de escala comercial (5.5 cm de diámetro y 20 cm de longitud). El rendimiento se determinó de acuerdo al peso de los frutos cosechados y con balanza de precisión (Sza110, SAFSTAR).

Para evaluar calidad postcosecha se tomaron cinco frutos por repetición, y las mediciones se realizaron de acuerdo a la metodología AOAC (1998). Sólidos solubles totales (SST) colocando tres gotas de extracto de los frutos en un refractómetro digital (300010, Sper Scientific). La firmeza se determinó con un penetrómetro (GY-4 BASE GY-4S) con punta de acero de 8 mm. Para pH y CE se utilizaron 10 g de cada fruto y 50 mL de agua destilada, ajustada a pH de 7.0, y se homogenizó en una licuadora (85554, Osterizer), de donde se tomó una alícuota de 50 mL y se filtró en una tela de organza, misma que fue analizada con un medidor de pH/CE (HI98130, Hanna Instruments).

Los datos de las variables de estudio se sometieron al paquete estadístico Minitab 18 (Minitab, 2017), mediante la ANOVA y comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Aquellos datos que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad se analizaron con estadística no paramétrica, transformándose a rangos y determinando la diferencia entre tratamientos mediante la prueba de Friedman ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pepino Pickle vr. 'Supremo'

Las plántulas tratadas con Si o Cl presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el verdor de hojas, y la dosis de 50 mg L⁻¹ de Cl fue la que ocasionó el mayor verdor con 8.6% más en relación al testigo, aunque sin diferencia estadística entre ambos promedios (Cuadro 1); sin embargo, al comparar la respuesta promedio lograda con 50 mg L⁻¹ de Cl con los promedios estimados en las plántulas cultivadas con 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si, 20 mg L⁻¹ de Cl y con las relaciones 20:20, 30:30 y 50:50 mg L⁻¹ de Si:Cl, se estimaron diferencias estadísticas e incrementos significativos de 15.1, 18.7, 15.1, 8.6, 8.6, 8.6 y 11.8%, respectivamente.

Cuadro 1. Verdor en hojas (SPAD), longitud de tallo y área foliar de plántulas 'pickle' tratadas con Si o Cloro.
Table 1. Leaf greenness (SPAD), stem length and leaf area of 'pickle' seedlings treated with Si or Chlorine.

Dosis	Verdor en hojas	Longitud de tallo	Área foliar
	SPAD	cm	cm ²
20 mg L ⁻¹ de Si	33±4.62 c	16.4±1.79 cd	17.54±2.73 bc
30 mg L ⁻¹ de Si	32±3.26 c	16.9±1.73 bc	19.97±1.99 ab
50 mg L ⁻¹ de Si	33±3.21 c	17.0±2.89 bc	20.55±1.85 a
20 mg L ⁻¹ de Cl	35±2.91 bc	16.0±2.39 cd	18.70±2.71 ab
30 mg L ⁻¹ de Cl	36±3.15 ab	18.8±1.61 ab	18.83±2.44 ab
50 mg L ⁻¹ de Cl	38±3.59 a	19.7±2.22 a	19.59±3.01 ab
20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl	35±3.25 bc	14.5±1.65 d	18.27±1.61 abc
30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl	35±2.92 bc	18.8±2.24 ab	19.45±3.96 ab
50:50 mg L ⁻¹ de Si:Cl	34±2.45 bc	16.4±1.53 cd	15.74±2.88 c
0 mg L ⁻¹ (testigo)	35±2.36 abc	15.0±1.85 cd	19.11±2.38 ab

Medias ± desviación estándar en la misma columna seguida con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) según la prueba de Tukey.
 Means ± standard deviation in the same column followed by a different literal are statistically different ($P \leq 0.05$) according to Tukey's test.

La longitud del tallo también se expresó con diferencias estadísticas (Cuadro 1), y la mayor expresión se observó en las plántulas que fueron manejadas con 50 mg L⁻¹ de Cl, misma que estadísticamente no superó la longitud de aquéllas cultivadas con 30 mg L⁻¹ de Cl y con 30:30 mg L⁻¹ de Si:Cl ($P \leq 0.05$), pero al resto de los promedios logrados con 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si, 20 mg L⁻¹ de Cl, 20:20 y 50:50 mg de L⁻¹ de Si:Cl y en el testigo, los superó en los respectivos porcentajes de 20.1, 16.6, 15.9, 23.1, 35.9, 20.1 y 31.3. Las diferencias estadísticas también se dieron entre los promedios de área foliar, lo cual indicó que las hojas más grandes se formaron en las plántulas que recibieron 50 mg L⁻¹ de Si, mismas que fueron similares a las hojas del testigo, y su tamaño sólo fue superior en 17.2 y 30.5% con relación a las hojas formadas por aquéllas que fueron manejadas con 20 mg L⁻¹ de Si o con 50:50 mg L⁻¹ de Si:Cl.

En el diámetro del tallo, la máxima expresión fue en las plantas testigo (Cuadro 2), con similitud estadística con respecto al que tuvieron las que fueron tratadas con 20 y 30 mg L⁻¹ de Si o con 20 mg L⁻¹ de Cl ($P \leq 0.05$), de las cuales sólo las que recibieron la dosis de 20 mg L⁻¹ de Cl superaron significativamente a las tratadas con la relación 30:30 mg L⁻¹ de Si:Cl, contra las que se estimó un incremento de 9:7 por ciento.

En biomasa seca de raíz, el mayor peso se obtuvo de las plántulas que recibieron 20 mg L⁻¹ de Cl o Si (Cuadro 2), cuyos promedios superaron en 40.7 y 29.6% al del testigo; no obstante, con 50:50 mg L⁻¹ de Si:Cl, el peso seco de raíz también se incrementó con respecto al peso del testigo, pero sin diferencia estadística entre ambos promedios, como sucedió con las otras medias que ocasionaron el resto de tratamientos. El peso seco de la parte aérea tuvo menos variación estadística, y la máxima expresión se tuvo en las plántulas cultivadas con 30:30 mg L⁻¹ de Si:Cl, cuyo promedio superó en 18.4% al del testigo; a la media máxima en cuestión le siguieron aquéllas expresadas por las plántulas en las que se aplicaron las dosis de 20 ó 30 mg L⁻¹ tanto de Si como de Cl, y aunque sin diferencias estadísticas con el testigo, al promedio de éste lo superaron en 10.3, 5.7, 12.6 y 12.6%, respectivamente.

Estos resultados en plántulas tienen relación con los publicados por Bidwell (1993), quien reporta que los cereales arroz y maíz crecen y se desarrollan mejor después de adicionar Si al suelo, y en ellos también se logra disminuir la transpiración, aunque según Castellanos, Mello y Silva (2015) el Si es un nutrimento no esencial para las plantas superiores. En otras plantas como el arroz, caña de azúcar y calabaza el Si también juega algún papel importante (Aguirre, Chávez, García y Raya, 2007).

Los resultados en peso seco de raíces coinciden con los de Dragišić, Mojović, Maksimović, Römheld y Nikolic (2012), ya que ellos encontraron que en pepino vr. 'Chinese long', el Si estimuló el crecimiento de plantas, estimado como peso seco de raíces y brotes. También tienen relación con lo informado por Devlin (1980) y Millar, Turk y Foth (1980), quienes han referido que el Cl es el último nutrimento que fue adicionado a la lista de nutrimentos esenciales para el crecimiento vegetal. Asimismo, con los resultados de Causil *et al.* (2017), toda vez que ellos observaron que en la cebolla el Cl indujo la formación de raíces más largas. De igual manera con los de Borges, Estrada, Pérez y Meneses (2009) ya que éstos mencionan que el Cl ocasionó que *Dioscorea alata* tuviera respuesta significativa en el crecimiento y desarrollo de hojas y yemas. Por su parte Franco-Navarro *et al.* (2019) también observaron que en el tabaco hubo mayor biomasa seca, mayor área foliar, las plantas fueron más suculentas y las hojas fueron más gruesas, cuando se les cultivó con Cl.

Cuadro 2. Diámetro de tallo, biomasa seca de raíz y parte aérea de plántulas de pepino 'pickle' tratadas con Si o Cloro.
Table 2. Stem diameter, root dry biomass and aerial part of 'pickle' cucumber seedlings treated with Si or Chlorine.

Dosis	Diámetro de tallo	Biomasa seca de raíz	Biomasa seca de parte aérea
	mm	g	g
20 mg L ⁻¹ de Si	3.3±0.23 abc [†]	0.35±0.00 ab [†]	0.80±0.05 c [†]
30 mg L ⁻¹ de Si	3.4±0.22 abc	0.30±0.01 bcd	0.96±0.06 ab
50 mg L ⁻¹ de Si	3.2±0.27 bc	0.28±0.00 cd	0.92±0.08 abc
20 mg L ⁻¹ de Cl	3.4±0.21 ab	0.38±0.06 a	0.86±0.05 b
30 mg L ⁻¹ de Cl	3.2±0.20 bc	0.26±0.01 bc	0.98±0.00 ab
50 mg L ⁻¹ de Cl	3.3±0.22 bc	0.26±0.04 d	0.98±0.07 ab
20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl	3.2±0.26 bc	0.28±0.00 cd	0.80±0.04 b
30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl	3.1±0.25 c	0.24±0.02 d	1.03±0.07 a
50:50 mg L ⁻¹ de Si:Cl	3.3±0.30 bc	0.33±0.04 abc	0.86±0.07 b
0 mg L ⁻¹ (testigo)	3.5±0.27 a	0.27±0.00 cd	0.87±0.08 b

[†] Medias ± desviación estándar en la misma columna seguida con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) según la prueba de Friedman.

[‡] Medias ± desviación estándar en la misma columna seguida con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) según la prueba de Tukey.

[†] Means ± standard deviation in the same column followed by a different literal are statistically different ($P \leq 0.05$) according to the Friedman test.

[‡] Means ± standard deviation in the same column followed by a different literal are statistically different ($P \leq 0.05$) according to Tukey's test.

Pepino vr. 'Modan'

Las plantas de pepino trasplantadas y cultivadas en suelo bajo casa sombra y tratadas con Si o Cl, ya sea solos o combinados, no presentaron diferencias estadísticas significativas en verdor (Cuadro 3); pero en longitud de tallo si ocurrieron dichas diferencias, de tal manera que las plantas con tallo más largo fueron aquéllas que se cultivaron con 30 mg L⁻¹ de Si, mismas que sólo superaron con 13.3 y 13.6% a las que recibieron los respectivos tratamientos de 50 mg L⁻¹ de Cl y 20:20 mg L⁻¹ de Si:Cl, puesto que con respecto al testigo y las demás plantas fueron estadísticamente iguales.

El área foliar de las plantas que recibieron 20 mg L⁻¹ de Si fue significativamente superior en 8.6% a la que tuvo el testigo (Cuadro 3), pero comparado con los promedios logrados con el resto de tratamientos no hubo diferencias estadísticas, y éstos tampoco fueron diferentes al del testigo. La comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) acerca del diámetro del tallo arrojó la formación de cinco grupos de promedios, de los cuales el correspondiente al testigo fue 18.9% mayor que el que tuvieron las plantas cultivadas con 20 mg L⁻¹ de Si. Asimismo, significativamente superior en 11.4, 11.4, 10.0, 11.4 y 17.3% al diámetro del tallo que tuvieron las que recibieron los tratamientos de 30 ó 50 mg L⁻¹ de Si, 20, 30 ó 50 mg L⁻¹ de Cl, respectivamente, mientras que el diámetro del tallo del testigo fue igual al que lograron las plantas cultivadas con 20:20 ó 30:30 mg L⁻¹ de Si:Cl. No obstante que el rendimiento ocurrió sin diferencias significativas entre los promedios, el más alto se obtuvo de las parcelas que recibieron la dosis de 20 mg L⁻¹ de Si, con un incremento de 13.9 Mg ha⁻¹ (37.7%) sobre el del testigo, y con excepción de la media expresada por las plantas manejadas con 20:20 mg L⁻¹ de Si:Cl, el resto de los tratamientos ocasionaron incrementos que fluctuaron entre 2.6-11.5 Mg ha⁻¹ (7.0-31.2%).

Los resultados de esta investigación en longitud del tallo, área foliar y rendimiento del testigo, indican, como lo dice Epstein (1999), que las plantas privadas de Si son estructuralmente más débiles que las plantas ricas en Si. Pero coinciden con los de Parra-Terraza *et al.* (2004), toda vez que estos investigadores encontraron que al incluir Si en dosis de 0.75 mol SiO₃⁻¹ m⁻³ en la solución Steiner para la nutrición de pepino, se incrementaron las variables de altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco de vástago y raíz, número de frutos y peso fresco de frutos, incrementos que muestran que silicio tiene efecto benéfico sobre el crecimiento de las plantas de pepino, como ocurrió en las plántulas y plantas utilizadas en esta investigación.

Cuadro 3. Verdor en hojas, longitud de tallo, área foliar, diámetro de tallo y rendimiento de plantas de pepino vr. 'Modan', tratadas con silicio o cloro.**Table 3. Leaf greenness, stem length, leaf area, stem diameter and yield of cucumber plants vr. 'Modan', treated with silicon or chlorine.**

Dosis	Verdor en hojas	Longitud de tallo	Área foliar	Diámetro tallo	Rendimiento
	SPAD	cm	cm ²	mm	Mg ha ⁻¹
20 mg L ⁻¹ de Si	41.3±3.2 a [†]	173.5±18.2 ab [†]	31.7±2.2 a [†]	7.4±0.6 c [†]	50.8±11.6 a [†]
30 mg L ⁻¹ de Si	40.2±3.7 a	178.1±13.3 a	31.0±20.0 ab	7.9±0.7 bc	44.1±4.6 a
50 mg L ⁻¹ de Si	41.2±2.5 a	165.4±16.0 ab	30.5±1.5 ab	7.9±0.7 bc	45.6±1.8 a
20 mg L ⁻¹ de Cl	39.7±2.3 a	170.7±27.2 ab	30.7±1.8 ab	8.0±0.7 bc	48.4±14.9 a
30 mg L ⁻¹ de Cl	40.6±2.9 a	166.4±15.1 ab	31.2±1.6 ab	7.9±0.8 bc	45.6±11.0 a
50 mg L ⁻¹ de Cl	40.1±3.3 a	157.2±22.8 b	29.9±1.8 ab	7.5±0.9 bc	39.5±8.6 a
20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl	39.5±2.4 a	156.7±16.5 b	30.3±1.4 ab	8.1±0.7 abc	36.9±15.4 a
30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl	41.2±3.0 a	159.9±12.7 ab	30.1±2.2 ab	8.3±0.9 ab	42.7±8.1 a
200 kg ha ⁻¹ N (testigo)	41.5±2.9 a	175.5±12.7 ab	29.2±2.7 b	8.8±0.8 a	36.9±16.6 a

[†] Medias ± desviación estándar en la misma columna seguida con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) según la prueba de Friedman.

[‡] Medias ± desviación estándar en la misma columna seguida con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) según la prueba de Tukey.

[†] Means ± standard deviation in the same column followed by a different literal are statistically different ($P \leq 0.05$) according to the Friedman test.

[‡] Means ± standard deviation in the same column followed by a different literal are statistically different ($P \leq 0.05$) according to Tukey's test.

En el Cuadro 4 se puede observar que los sólidos solubles totales se incrementaron significativamente (16.3%) con respecto al testigo, cuando a las plantas se les cultivó con 20 mg L⁻¹ de Si; mismo tratamiento con el que también se notaron incrementos significativos sobre los promedios observados en los frutos producidos por las plantas en las que se aplicaron 50 mg L⁻¹ de Cl o 20:20 mg L⁻¹ de Si:Cl (11.8 o 23.6%, respectivamente). En relación a los otros promedios, la diferencia osciló entre 0.09-0.29 °Brix, pero sin diferencia estadística. Con la misma dosis de Si (20 mg L⁻¹), también se observó mayor firmeza de los frutos, y ésta se incrementó de manera significativa (10.0%) en comparación a la encontrada en los frutos del testigo; el pH no fue significativamente diferente al de los frutos testigos, si se considera cualquiera de los tratamientos con Si o Cl, aunque con la dosis de 30 mg L⁻¹ de Cl se incrementó 1.9 y 1.8% con respecto al pH de frutos provenientes de plantas cultivadas con 20 mg L⁻¹ de Si o 20 mg L⁻¹ de Cl; asimismo, incrementos de 1.8 y 1.6% observados donde se aplicó la dosis de 50 mg L⁻¹ de Cl, si se considera el pH que resultó en frutos de plantas con las mismas dosis de Si o Cl antes mencionadas. Con ninguna de las dosis de Si o Cl se observaron diferencias estadísticas entre los promedios de CE, incluido el testigo; sin embargo, ésta se incrementó 27.3% en los frutos de plantas donde se aplicaron 20 mg L⁻¹ de Si y 22.7% en frutos cosechados de plantas fertilizadas con 20 mg L⁻¹ de Cl, en comparación a la CE que tuvieron aquellos frutos de plantas cultivadas con 30 mg L⁻¹ Cl.

Los resultados obtenidos en este cultivar, coinciden con los de Cázarez-Flores *et al.* (2022), puesto que ellos también en pepino (*Cucumis sativus* L.) lograron que la producción de frutos en Mg ha⁻¹ se incrementara de manera significativa cuando aplicaron Si en dosis de 30 ó 50 mg L⁻¹. Además, notaron que con la proporción volumen:volumen (v:v) de 20:20 mg L⁻¹ de Si:Cl, los sólidos solubles totales (SST) de frutos de pepino se incrementaron, en tanto que en tomate el mismo resultado (incremento de SST) se logró con 20 mg L⁻¹ de Cl. Además, la mayor producción lograda con Si o Cl, también tienen relación con lo informado por Chen, He, Yang, Mishra y Stoffella (2010), quienes refieren que en algodón los fertilizantes clorados pueden aumentar el rendimiento de las plantas y mejorar la calidad de la fibra. Asimismo, con los de Broyer *et al.* (1954), ya que éstos mencionan que generalmente se ha aceptado que el Cl es requerido en mínimas cantidades para el crecimiento de la mayoría de las especies vegetales.

Cuadro 4. Sólidos solubles totales (SST), firmeza, pH y CE de frutos de pepino vr. 'Modan', tratadas con silicio o cloro.
Table 4. Total soluble solids, firmness, pH and EC of cucumber fruits vr. 'Modan', treated with silicon or chlorine.

Dosis	SST	Firmeza	pH	CE
	° Brix	N		
20 mg L ⁻¹ de Si	2.93±0.06 a [†]	72.35±4.26 a [†]	5.62±0.05 c [‡]	0.28±0.07 a [†]
30 mg L ⁻¹ de Si	2.83±0.12 abc	67.74±5.14 ab	5.70±0.09 abc	0.25±0.05 ab
50 mg L ⁻¹ de Si	2.74±0.24 abc	67.55±4.99 ab	5.69±0.09 abc	0.23± 0.05 ab
20 mg L ⁻¹ de Cl	2.84±0.07 ab	67.86±4.82 ab	5.63±0.14 c	0.27±0.04 a
30 mg L ⁻¹ de Cl	2.72±0.30 abc	69.00±4.49 ab	5.73±0.07 a	0.22±0.03 b
50 mg L ⁻¹ de Cl	2.62±0.48 bcd	68.93±4.67 ab	5.72±0.08 ab	0.27±0.04 ab
20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl	2.37±0.36 d	66.72±4.06 b	5.64±0.07 bc	0.26±0.06 ab
30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl	2.64±0.33 abcd	69.59±4.00 ab	5.67±0.09 abc	0.24±0.05 ab
200 kg ha ⁻¹ N (testigo)	2.52±0.48 cd	65.75±6.13 b	5.67±0.08 abc	0.26±0.04 ab

[†] Medias ± desviación estándar en la misma columna seguida con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) según la prueba de Friedman.

[‡] Medias ± desviación estándar en la misma columna seguida con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) según la prueba de Tukey.

[†] Means ± standard deviation in the same column followed by a different literal are statistically different ($P \leq 0.05$) according to the Friedman test.

[‡] Means ± standard deviation in the same column followed by a different literal are statistically different ($P \leq 0.05$) according to Tukey's test.

CONCLUSIONES

La dosis alta de Cl fue más eficaz para intensificar el verdor de hojas y la longitud del tallo en plántulas de pepino 'Supremo' tipo pickle, pero el área foliar fue superior en aquéllas con la dosis alta de Si, mientras que las plántulas con las bajas dosis de Cl o Si tuvieron mayor peso seco de raíces. En el cultivar 'Modan' el verdor no varió, la longitud del tallo fue superior con la dosis intermedia de Si, mientras que el tamaño de hojas se expresó mejor en plantas con la menor dosis de Si. Por lo que quizás la mayor cantidad de raíces, el contenido de clorofila y el área foliar influyeron para que el mayor rendimiento se obtuviera en las parcelas experimentales fertilizadas con Si o Cl, y que mejoraran la firmeza, SST y °Brix de los frutos. Por tanto, con Si y Cl los cultivares de pepino 'Supremo' o 'Modan' mejoraron la expresión de sus características y, en consecuencia, la producción de productos útiles o frutos con mejores propiedades para consumo.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos manejados o examinados durante el vigente estudio están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores exponen que no poseen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: L.P.R. y T.J.V.A. Metodología: L.L.C.F., L.P.R. y T.J.V.A. Software: T.D.V. y L.P.R. Investigación: L.L.C.F., T.J.V.A. y N.D.Z.T. Análisis formal de datos: L.L.C.F., L.P.R. y T.J.V.A. Curación de datos: L.P.R. y T.D.V. Preparación del borrador original: L.L.C.F., L.P.R. y T.J.V.A. Revisión y edición: L.P.R., A.A.C., T.D.V., N.D.Z.T. y M.G.Y.J. Administración del proyecto: L.L.C.F. y T.J.V.A. Adquisición de fondos: L.L.C.F., L.P.R. y T.J.V.A. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía y Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa. A los Ings. Juan Fernando Sánchez Rodríguez, Jovana Karime Partida Pérez e Itzel Yamilee Ballardo Medina y, a los estudiantes del Área de Horticultura, por su apreciable colaboración.

LITERATURA CITADA

- Aguirre, C., Chávez, T., García, P., & Raya, J. C. (2007). El silicio en los organismos vivos. *Interciencia*, 32(8), 504-509.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). *Official Methods of Analysis 15th edition*. Washington, DC., USA: AOAC.
- Araya, M. A., Camacho, E. M., Molina, E., & Cabalceta, G. (2015). Evaluación de fertilizantes líquidos con silicio, calcio o magnesio sobre el crecimiento del sorgo en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 47-59.
- Bidwell, R. G. C. (1993). *Fisiología Vegetal*. Distrito Federal, México: AGT Editor. ISBN: 9684630158
- Blanco, F. F., & Folegatti, M. V. (2003). New method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, 4(21), 666-669. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000400019>
- Borges-García, M., Estrada-Abeal, E., Pérez-Rodríguez, I., & Meneses-Rodríguez, S. (2009). Uso de distintos tratamientos de desinfección en el cultivo in vitro de *Dioscorea alata* L. clon caraqueño. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(2), 127-135.
- Broyer, T. C., Carlton, A. B., Johnson, C. M., & Stout, P. R. (1954). Chlorine: A micronutrient element for higher plants. *Plant Physiology*, 29(6), 526-532. <https://doi.org/10.1104/pp.29.6.526>
- Brumós, J., Talón, M., Bouhlal, R., & Colmenero, F. J. M. (2010). Cl⁻ homeostasis in include and exclude citrus rootstocks: transport mechanisms and identification of candidate genes. *Plant, Cell and Environment*, 33(12), 2012-2027. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02202.x>
- Castellanos, G. L., Mello, P. R., & Silva, C. C. N. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 36, 16-24.
- Causil, V. L. A., Coronado, G. J. L., Verbel, M. L. F., Vega, J. M. F., Donado, E. K. A., & Pacheco, G. C. (2017). Efecto citotóxico del hipoclorito de sodio (NaClO) en células apicales de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 97-104. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5662>
- Cázar-Flores, L. L., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T. D. J., Ayala-Tafoya, F., Díaz-Valdés, T., Yáñez-Juárez, M. G., & López-Orona, C. A. (2022). Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.994>
- Chen, W., He, Z. L., Yang, X. E., Mishra, S., & Stoffella, P. J. (2010). Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. *Journal of Plant Nutrition*, 33(7), 943-952. <https://doi.org/10.1080/01904160903242417>
- Devlin, R. M. (1980). *Fisiología vegetal*. México: Ediciones Omega. ISBN: 8428202125
- Dragišić-Maksimović, J., Mojović, M., Maksimović, V., Römheld, V., & Nikolic, M. (2012). Silicon ameliorates manganese toxicity in cucumber by decreasing hydroxyl radical accumulation in the leaf apoplast. *Journal of Experimental Botany*, 63(7), 2411-2420. <https://doi.org/10.1093/jxb/err359>
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings National Academy Sciences*, 91(1), 11-17. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.1.11>
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641-664. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>
- Flores-Campaña, L. M., Arzola-González, J. F., Ramírez-Soto, M., & Osorio-Pérez, A. (2012). Repercusiones del cambio climático global en el estado de Sinaloa, México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 21(1), 115-129.
- Franco-Navarro, J. D., Rosales, M. A., Cubero-Font, P., Calvo, P., Alvarez, R., Diaz-Espejo, A., & Colmenero-Flores, J. M. (2019). Chloride as a macronutrient increases water-use efficiency by anatomically driven reduced stomatal conductance and increased mesophyll diffusion to CO₂. *The Plant Journal*, 99(5), 815-831. <https://doi.org/10.1111/tpj.14423>
- Gérard, F., Mayer, K. U., Hodson, M. J., & Ranger, J. (2008). Modelling the biogeochemical cycle of silicon in soils: Application to a temperate forest ecosystem. *Acta Geochimica Cosmochimica*, 72(3), 741-758. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.11.010>
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science*, 20(7), 435-442. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>
- Ma, J. F., Miyake, Y., & Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. *Elsevier Science*, 8, 17-39. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80006-9)
- Manivannan, A., & Ahn, Y. K. (2017). Silicon regulates potential genes involved in major physiological processes in plants to combat stress. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01346>
- Marschner, H. (2011). *Mineral nutrition of higher plants*. (3rd Ed.). San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Millar, G. E., Turk, L. M., & Foth, H. D. (1980). *Fundamentos de la ciencia del suelo*. Distrito Federal, México: Compañía Editorial Continental.
- Min, K., Song, K., Lim, S., Yi, G., & Lee, E. J. (2023). Cucurbitacin and volatile compound profiling reveals independent domestication of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. *Food Chemistry*, 405, 135006. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135006>

- Minitab (2017). *Minitab Statistical Software User's Guide. Version 18.1*. State College, PA, USA: Minitab Inc.
- Parra-Terraza, S., Baca-Castillo, G. A., Carrillo-González, R., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Garza, A., & Trejo-López, C. (2004). Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 467-473.
- Prasad, R., & Power J. F. (1997). *Soil fertility management for sustainable agriculture*. Boca Ratón, FL, USA: CRC Press.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). *Avances de siembras y cosechas, resumen por estados*. Consultado el 8 noviembre, 2021, desde http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Xu, G., Magen, H., Tarchitzky, J., & Kafkafi, V. (1999). Advances in chloride nutrition of plants. *Advances in Agronomy*, 68, 97-150. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60844-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60844-5)