

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-9230

Edición bilingüe • Bilingual edition



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Rev. Mex. Cienc. Agríc. Vol. 14 Núm. 1 p. 1 - 140 01 de enero - 14 de febrero, 2023

INDEXACIÓN

• Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)



• SciELO- México (Scientific Electronic Library on Line)



• Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe (REDALyC)



• The Essential Electronic Agricultural Library (TEEAL) de la Universidad de Cornell



• Agrindex



Plántulas de pepino y tomate fortificadas con silicio y cloro

Luz Llarely Cázarez-Flores¹
Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz¹
Leopoldo Partida-Ruvalcaba¹
Felipe Ayala-Tafoya¹
Norma Delia Zazueta-Torres^{2§}
Moisés Gilberto Yáñez-Juárez¹

¹Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Sinaloa. Carretera Culiacán-Eldorado km 17.5, Culiacán, Sinaloa, México. AP. 25. CP. 80000. ²Instituto Tecnológico Superior de Eldorado. Avenida Tecnológico s/n, Colonia Rubén Jaramillo, Eldorado, Sinaloa, México. CP. 80450.

§Autora para correspondencia: norma.zt@eldorado.tecnm.mx.

Resumen

El uso de silicio (Si) y cloro (Cl) permite que las plantas incrementen favorablemente el crecimiento y desarrollo, ya que contribuyen al aumento del peso seco de las plantas y biosíntesis de clorofila, así como la resistencia a factores bióticos y abióticos. La investigación se realizó para esclarecer el resultado que ocasiona la aplicación de Si y Cl en el crecimiento de plántulas de pepino y tomate. Para ello, se sembró pepino 'Paraiso F1' y tomate F3 en charolas de poliestireno con 242 cavidades rellenas de peat moss. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron: 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Cl, 20:20, 30:30 y 50:50 mg L⁻¹ de Si:Cl un testigo absoluto y cuatro repeticiones por tratamiento. Las variables de respuesta fueron verdor foliar, altura de planta, área foliar, peso seco de la parte aérea y de raíz en plántulas de pepino y tomate. En plántulas de pepino, el verdor foliar se incrementó 18.7% y 4.6% con 20 y 50 mg L⁻¹ de Si y Cl, respectivamente. La combinación de 20:20 mg L⁻¹ de Si:Cl aumentó un 30.2% la biomasa de la parte aérea. Mientras que, en plántulas de tomate, tratadas con 30 mg L⁻¹ Si y en mezcla con Cl a concentración 30:30 mg L⁻¹ su altura fue de 31.9% y 25.1% con respecto a las plántulas testigo. La biomasa seca de raíz se aumentó significativamente con la aplicación de Si (20 y 30 mg L⁻¹), Cl (20 y 50 mg L⁻¹) y en combinación 30:30 (mg L⁻¹).

Palabras clave: *Cucumis sativus*, *Solanum lycopersicum*, altura de plántula, verdor foliar.

Recibido: enero de 2023

Aceptado: febrero de 2023

La acumulación de silicio (Si) difiere entre las especies de plantas debido a las diferencias en la absorción de Si por las raíces. Sus efectos benéficos se relacionan principalmente con el incremento de crecimiento y calidad de plántulas, factores de suma importancia para el trasplante rápido y la resistencia a enfermedades causadas por hongos (Villalón *et al.*, 2018). De igual manera, se ha reportado que, al aplicar silicato de potasio en cultivo de fresa, se provoca un incremento en altura, peso fresco de la planta, área foliar y tasa fotosintética (Nada, 2020).

Se ha reportado que el cloro (Cl) es un micronutriente esencial, que se acumula a niveles de macronutrientes, ya que normalmente está disponible en la naturaleza y es activamente tomado por plantas superiores (Franco *et al.*, 2016). El cloruro (Cl⁻) desempeña funciones específicas en el crecimiento, mejora de la actividad fotosintéticas de las plantas y el uso eficiente del agua, debido a la mayor superficie de cloroplastos expuestos en la parte aérea, dichos hallazgos se deben a la nutrición de las plantas con Cl (Franco *et al.*, 2019).

En condiciones no salinas (hasta 5 mM Cl) y sin limitación de agua, Cl estimula un mayor tamaño de las células de la hoja, un aumento moderado de la biomasa fresca y seca de la planta, lo anterior debido a la regulación estomática y turgencia de las hojas, lo que permite a las plantas mejorar los parámetros de equilibrio hídrico foliar (Brumós *et al.*, 2010). Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue establecer el efecto de la aplicación de Si y Cl, así como la selección de la dosis más eficiente en verdor, altura, área foliar, peso seco de parte aérea y radical en la producción de plántulas de pepino y tomate.

La investigación se realizó dentro de un invernadero (Baticenital[®], ACEA SA de CV) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), localizado en las coordenadas 24° 37' 29" latitud norte y 107° 26' 36" longitud oeste, con altitud de 38.5 m. Con clima semiseco, muy cálido y extremoso, donde predominan las lluvias en verano, con una temperatura media anual de 25.9 °C y 672 mm de precipitación (García, 2004).

Se sembró pepino *cv* Paraiso F1 y tomate F3 en charolas de poliestireno con 242 cavidades rellenas de peat moss (Berger), en las cuales se suministró agua y nutrientes mediante decantación manual con 1 g L⁻¹ de N (urea). Se manejó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con diez tratamientos: 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si, 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Cl, 20:20, 30:30 y 50:50 mg L⁻¹ de Si:Cl, y un testigo absoluto, con cuatro repeticiones por tratamiento.

Como fuente de Si se utilizó dióxido de silicio (94% de Si, Diatomix) y como fuente de cloro se utilizó hipoclorito de sodio (NaClO, Cloralex comercial). Cuando las plántulas contaban con la primera hoja verdadera, se aplicaron los tratamientos sólo una vez a través de uno de los riegos. A los 15 días después de la aplicación (dda) de los tratamientos, fueron tomadas al azar 20 plántulas por tratamiento, para evaluar: verdor foliar, mediante un medidor de clorofila (Spad-502, Minolta); altura de las plantas, medida desde la base del tallo hasta la yema apical del mismo, con una cinta métrica; área foliar de hoja, determinada mediante las ecuaciones propuestas por Blanco y Folegatti (2003): $AF = 0.851(LW)$, para pepino y $AF = (0.35L^2) - (5.31L) + 57.6$, para tomate, peso de biomasa seca de raíz y parte aérea de las plántulas, obtenidos después del secado durante 72 h en estufa (292, Felisa) a 70 °C, mediante la utilización de una balanza granataria (CZ 30, Aczet).

Los datos recabados se analizaron estadísticamente con el paquete estadístico Minitab 18, mediante Anova y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). El silicio y cloro afectaron el verdor foliar, siendo estadísticamente mayor las plantas tratadas con Si a 20 mg L⁻¹, con un

incremento de 19% con relación al testigo. En cuanto a altura y área foliar, las plantas tratadas con 20 mg L⁻¹ de Cl incrementaron la altura en 16%, así como en área foliar en 4% con relación al testigo (Cuadro 1) aunque sin diferencias estadísticas.

Cuadro 1. Efecto de Si y Cl en verdor, altura y área foliar de plántulas de pepino.

Tratamiento	Verdor foliar (spad)	Altura (cm)	Área foliar (cm ²)
20 mg L ⁻¹ de Si	52.25 ±3.97 a*	13.03 ±1.84 abc	10.17 ±0.75 bc
30 mg L ⁻¹ de Si	47.64 ±4.21 abc	14 ±2.43 ab	10.48 ±1.08 abc
50 mg L ⁻¹ de Si	44.38 ±4.62 c	10.58 ±1.77 d	9.93 ±1.07 bc
20 mg L ⁻¹ de Cl	48.09 ±5.22 abc	14.96 ±2.18 a	11.44 ±1.21 a
30 mg L ⁻¹ de Cl	46.92 ±4.81 bc	11.58 ±1.78 cd	9.65 ±0.91 cd
50 mg L ⁻¹ de Cl	46.07 ±3.77 ab	12.24 ±2.57 bcd	8.62 ±1.13 d
20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl	45.58 ±4.63 bc	12.90 ±1.4 abc	10.88 ±1.25 abc
30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl	48.33 ±4.34 abc	10.58 ±1.8 d	9.69 ±1.23 cd
50:50 mg L ⁻¹ de Si:Cl	44.66 ±5.53 c	12.02 ±1.96 bcd	10.29 ±1.61 abc
0 mg L ⁻¹ (testigo)	44.01 ±4.26 c	12.92 ±3.29 abc	10.99 ±1.68 ab

*= medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Existe evidencia científica sobre el efecto de Si en las plantas bajo condiciones de estrés, ya que Jianpeng *et al.* (2010) encontraron que, el Si pudiera mejorar la forma-organización de los cloroplastos y tilacoides. Por lo tanto, puede mantener las hojas de pepino en situación normal de fotosíntesis, incluida la utilización de nitrógeno y corregir los efectos de inhibición de crecimiento causado por Cd. Los resultados de esta investigación concordaron con los de Chapagain *et al.* (2011), quienes indican que Cl es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas y su rol es ayudar a la fotosíntesis.

Las plantas tratadas con Si y Cl no presentaron diferencias estadísticas en biomasa seca de raíz y parte aérea (Cuadro 2). Sin embargo, el silicio en dosis de 20 mg L⁻¹ fue eficaz para inducir mayor acumulación en raíz, 25% más comparada con el testigo; mientras que la dosis de 20:20 mg L⁻¹ de Si:Cl la incrementaron en la parte aérea, en 30% con relación al testigo. Al respecto Cabezas *et al.* (2022) mencionan que, silicio se ha señalado como una enmienda de gran importancia para el crecimiento de las plantas, absorción y redistribución de nutrientes, así como en la resistencia mecánica de las células.

Cuadro 2. Efecto de Si y Cl en biomasa seca de raíz y parte aérea de plántulas de pepino.

Tratamiento	Biomasa seca de raíz (g)	Biomasa seca de parte aérea (g)
20 mg L ⁻¹ de Si	0.055 ± 0.001 a*	0.53 ± 0.06 ab
30 mg L ⁻¹ de Si	0.022 ± 0.002 cd	0.51 ± 0.07 ab
50 mg L ⁻¹ de Si	0.04 ± 0.006 abc	0.41 ± 0.05 b
20 mg L ⁻¹ de Cl	0.032 ± 0.015 bcd	0.49 ± 0.05 ab
30 mg L ⁻¹ de Cl	0.032 ± 0.013 bcd	0.44 ± 0.03 b
50 mg L ⁻¹ de Cl	0.034 ± 0.013 bcd	0.47 ± 0.06 ab

Tratamiento	Biomasa seca de raíz (g)	Biomasa seca de parte aérea (g)
20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl	0.044 ±0.007 ab	0.56 ±0.08 a
30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl	0.042 ±0.016 ab	0.44 ±0.05 ab
50:50 mg L ⁻¹ de Si:Cl	0.02 ±0 d	0.51 ±0.03 ab
0 mg L ⁻¹ (testigo)	0.044 ±0.001 ab	0.43 ±0.015 b

*= medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Las plantas tratadas con 20 mg L⁻¹ de Si en plántulas de tomate, mejoraron el verdor foliar en 6% con relación al testigo (Cuadro 3). En altura, el mayor incremento fue en las plantas tratadas con Si con 30 mg L⁻¹ y en aquellas cultivadas con 20:20 mg de Si:Cl la altura disminuyó. En área foliar, las plantas tratadas con 20:20 mg de Si:Cl superaron al testigo en 1%, el resto de los tratamientos originaron decrementos que fluctuaron entre 3 y 8%, con relación al testigo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de Si y Cl en verdor, altura y área foliar de plántulas de tomate.

Tratamiento	Verdor foliar (spad)	Altura de plántula (cm)	Área foliar (cm ²)
20 mg L ⁻¹ de Si	37.11 ±4.74 a*	8.54 ±1.34 bc	37.28 ±2.54 abc
30 mg L ⁻¹ de Si	36.88 ±5.33 a	10.32 ±1.01 a	35.38 ±2.02 c
50 mg L ⁻¹ de Si	35.66 ±5.96 a	8.61 ±1.55 bc	35.77 ±2.88 bc
20 mg L ⁻¹ de Cl	34.66 ±6.43 a	8.6 ±1.67 bc	37.27 ±2.28 abc
30 mg L ⁻¹ de Cl	36.05 ±5.33 a	8.69 ±1.43 bc	36.38 ±2.65 abc
50 mg L ⁻¹ de Cl	35.92 ±2.86 a	8.97 ±1.33 abc	35.67 ±2.75 c
20:20 mg L ⁻¹ de Si-Cl	35.71 ±5.51 a	7.51 ±1.18 c	37.51 ±2.88 abc
30:30 mg L ⁻¹ de Si-Cl	34.91 ±4.81 a	9.79 ±1.91 ab	36.04 ±2.83 bc
50:50 mg L ⁻¹ de Si-Cl	35.45 ±5.5 a	8.03 ±1.31 c	38.9 ±3.2 a
0 mg L ⁻¹ (testigo)	34.96 ±4.69 a	7.82 ±1.419 c	38.50 ±3.34 ab

*= medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

El verdor de las plántulas, altura, así como el incremento del peso de materia seca de raíz y parte aérea, son aspectos que indican la eficiencia fotosintética de aquellas tratadas con silicio y en consecuencia, también indican mejora en la calidad de plántulas. Con relación a estos resultados, Epstein (1999) explica que las plantas son más débiles estructuralmente cuando se omite Si en soluciones nutritivas convencionales y las plantas pueden llegar a ser anormales en crecimiento, desarrollo, viabilidad y reproducción, a medida que las plantas son tratadas con Si disminuyen los efectos de deficiencias o excesos de nutrimentos como el manganeso y el aluminio y aumenta la intercepción de la luz (mayor tasa fotosintética).

Con relación a Cl, Franco *et al.* (2016) verificaron que, en plantas de tabaco sometidas a una concentración baja de 5 mM, las tasas de fotosíntesis y división de células foliares no se vieron afectadas. Estos resultados muestran que Cl en el rango milimolar estimula el crecimiento de las plantas, el crecimiento de los órganos de los brotes (tallos y hojas). Estos resultados coinciden con lo antes mencionado, así como con Chapagain *et al.* (2011), quienes mencionan que el Cl es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, que es requerido en pequeñas cantidades para todos los cultivos.

La biomasa seca de raíz mostró diferencias ($p \leq 0.05$), con incrementos que fluctuaron desde 89% (50 mg L^{-1} de Si) hasta 300% ($30:30 \text{ mg L}^{-1}$ de Si: Cl), con relación al testigo (Cuadro 4). En peso seco de parte aérea, las plántulas tratadas con 20 y 30 mg L^{-1} de Si, 50 mg L^{-1} de Cl y la combinación en $30:30 \text{ mg L}^{-1}$ de Si: Cl fueron estadísticamente iguales al testigo (Cuadro 4), el resto de los tratamientos originaron un decremento que fluctuaron entre 41 y 3%, con relación al testigo.

Cuadro 4. Efecto de Si y Cl en biomasa seca de raíz y parte aérea de plántulas de tomate.

Tratamiento	Biomasa seca de raíz (g)	Biomasa seca de parte aérea (g)
20 mg L^{-1} de Si	$0.23 \pm 0.04 \text{ ab}^*$	$0.33 \pm 0.048 \text{ ab}$
30 mg L^{-1} de Si	$0.23 \pm 0.07 \text{ ab}$	$0.37 \pm 0.019 \text{ a}$
50 mg L^{-1} de Si	$0.17 \pm 0.04 \text{ abc}$	$0.26 \pm 0.013 \text{ bc}$
20 mg L^{-1} de Cl	$0.24 \pm 0.02 \text{ ab}$	$0.26 \pm 0.035 \text{ c}$
30 mg L^{-1} de Cl	$0.14 \pm 0.05 \text{ bc}$	$0.22 \pm 0.028 \text{ c}$
50 mg L^{-1} de Cl	$0.24 \pm 0.08 \text{ ab}$	$0.34 \pm 0.043 \text{ a}$
$20:20 \text{ mg L}^{-1}$ de Si-Cl	$0.15 \pm 0.02 \text{ bc}$	$0.22 \pm 0.028 \text{ c}$
$30:30 \text{ mg L}^{-1}$ de Si-Cl	$0.27 \pm 0.02 \text{ a}$	$0.36 \pm 0.017 \text{ a}$
$50:50 \text{ mg L}^{-1}$ de Si-Cl	$0.15 \pm 0.01 \text{ bc}$	$0.24 \pm 0.017 \text{ c}$
0 mg L^{-1} (testigo)	$0.09 \pm 0.02 \text{ c}$	$0.37 \pm 0.044 \text{ a}$

*= medias \pm desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Se puede inferir que Si y Cl aplicado en plántulas de tomate o pepino ocasionó efectos que mejoran la calidad de las plántulas. Laane (2018) refieren que Si (ácido salicílico) aumenta el crecimiento y disminuye el estrés bióticos y abióticos. Abdel *et al.* (2019) encontraron que, el Si mediante silicato de potasio en dosis de $4\ 000 \text{ ppm}$ incrementa altura, número de hojas, peso fresco y seco de la planta, diámetro de tallo y clorofila.

El incremento de la materia seca de raíz de las plantas de tomate confirma lo reportado por Ayala *et al.* (2019) acerca de que, Cl con un mínimo rango en el agua de riego o nutrición no afecta el peso fresco y la producción del cultivo de lechuga hidropónica. Asimismo, Causil *et al.* (2017) mencionan que, al someter cebolla durante 72 h en concentraciones de 0.2 y 1 mg L^{-1} (hipoclorito de sodio) diluidas con agua destilada, observaron un mayor crecimiento en longitud de las raíces de bulbos.

Conclusiones

En plántulas de pepino, el verdor foliar se incrementó con 20 y 50 mg L^{-1} de Si y Cl, respectivamente. Únicamente con $20:20 \text{ mg L}^{-1}$ de Si: Cl se aumentó significativamente la biomasa de la parte aérea. En plántulas de tomate, sólo Si fue eficaz para incrementar la altura de planta cuando se empleó a 30 mg L^{-1} y en mezcla con Cl a concentración $30:30 \text{ mg L}^{-1}$. La biomasa seca de raíz se aumentó con Si (20 y 30 mg L^{-1}), Cl (20 y 50 mg L^{-1}) y en combinación $30:30 \text{ (mg L}^{-1})$.

Literatura citada

- Abdel, L. A. A.; Ibrahim, N. M. and Ismail, S. A. 2019. Effect of foliar application of potassium silicate and some postharvest treatments on growth, productivity, and storability of garlic. *Arab Universities J. Agric. Sci.* 27(1):761-773. <https://doi.org/10.21608/ajs.2019.43695>.
- Ayala, A. B. V.; Huanca, C. C. and Fernández, C. C. M. 2019. Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*) en sistema hidropónico bajo dos niveles de cloruro de potasio. *Rev. Investig. Innov. Agrop. Rec. Natur.* 6(2):66-71.
- Blanco, F. F. and Folegatti, M. V. 2003. New method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Hortic. Bras.* 4(21):666-669. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000400019>.
- Brumós, J.; Talón, M.; Bouhlal, R. and Colmenero, F. J. M. 2010. Cl⁻ homeostasis in includer and excluder citrus rootstocks: transport mechanisms and identification of candidate genes. *Plant, Cell Environ.* 12(33):2012-2027. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02202.x>.
- Cabezas, G. A.; Camus, A. F.; Condori, W. E.; González, V. F. A. and Mazuela, A. P. 2022. El silicio (Si) y su efecto mitigador del estrés salino en cultivos hortícolas. *Idesia (Arica)*. 40(1):129-133. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000100129>.
- Causil, V. L. A.; Coronado, G. J. L.; Verbel, M. L. F.; Vega, J. M. F.; Donado, E. K. A. and Pacheco, G. C. 2017. Efecto citotóxico del hipoclorito de sodio (NaClO) en células apicales de raíces de cebolla (*Allium cepa* L.). *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 11(1):97-104. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5662>.
- Chapagain, B. P.; Wiesman, Z.; Zaccari, M.; Imas, P. and Magen, H. 2011. Potassium chloride enhances fruit appearance and improves quality of fertigated greenhouse tomato as compared to potassium nitrate. *J. Plant Nutr.* 3(26):643-658. <https://doi.org/10.1081/PLN-120017671>.
- Epstein, E. 1999. Silicon. annual review of plant physiology and plant molecular biology. 50(1):641-664. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>.
- Franco, N. J. D.; Brumós, J.; Rosales, M. A.; Cubero, F. P.; Talón, M. and Colmenero, F. J. M. 2016. Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants. *J. Exp. Bot.* 3(67):873-891. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv502>.
- Franco, N. J. D.; Rosales, M. A.; Cubero, F. P.; Calvo, P.; Álvarez, R.; Diaz, E. A. and Colmenero, F. 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 J.* 99(5):815-831. <https://doi.org/10.1111/tpj.14423>.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) 5^{ta} Ed. México, DF. 90 p.
- Jianpeng, F.; Qinghua, S.; Xiufeng, W.; Min, W.; Fengjuan, J. and Huinu, X. 2010. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. *Sci. Hortic.* 4(123):521-530. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.10.013>.
- Laane, H. M. 2018. The effects of foliar sprays with different silicon compounds. *Plants.* 7(2):45. <https://doi.org/10.3390/plants7020045>.
- Nada, M. M. 2020. Effect of foliar spray with potassium silicate and glycine betaine on growth and early yield quality of strawberry plants. *J. Plant Produc.* 11(12):1295-1302. <https://doi.org/10.21608/jpp.2020.149800>.
- Villalón, M. H.; Castillo, V. M. A.; Garza, O. F.; Guevara, G. J. A. y Sánchez, C. L. 2018. Dióxido de silicio como estimulante del índice de calidad de plantas de chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) producidas en vivero. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 9(50):294-303. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.247>.