

Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate

Silicon and chlorine on growth, yield and postharvest quality of cucumber and tomato

Luz Llarely Cázarez-Flores¹ , Leopoldo Partida-Ruvalcaba¹ ,
Teresa de Jesús Velázquez-Alcaraz^{1‡} , Felipe Ayala-Tafoya¹ , Tomás Díaz-Valdés² ,
Moisés Gilberto Yáñez-Juárez¹  y Carlos Alfonso López-Orona¹ 

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

[‡] Autora para correspondencia (teresadejesus_v@yahoo.com.mx)

² Universidad Central del Este, Dirección de Gestión de Investigaciones Científicas. Ave. Francisco Alberto Caamaño Deñó. 21000 San Pedro de Macorís, República Dominicana.

Editor Asociado: Dr. Francisco H. Ruiz Espinoza

RESUMEN

El aumento de la capacidad fotosintética, disminución de la tasa transpiración, mayor crecimiento de las plantas, incremento de los rendimientos y la calidad de muchos cultivos, son efectos que ocasionan el silicio (Si) y el cloro (Cl), dichos efectos benéficos que ocasionan ambos elementos depende de las especies y de los genotipos dentro de la misma especie. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar el efecto del silicio y cloro, de manera individual o en combinación, así como las dosis más eficaces en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate. Se sembraron los cultivares ‘Paraíso F1’ y ‘tomate F3’, se regaron cada 24 h y fueron fertilizados con 200 kg ha⁻¹ de N y 2 L ha⁻¹ de Micro-Min foliar (20-30-10) a los 36 y 56 días después de la siembra. En ambos experimentos se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar, manejados en riego por goteo. Los tratamientos consistieron en 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si o Cl y las combinaciones de 20:20 y 30:30 mg L⁻¹ de Si:Cl, más el testigo. La dosis más alta de Si y las tres de Cl o dos de Si:Cl fueron más eficaces para inducir crecimiento en pepino, pero en rendimiento las más adecuadas fueron las dos más altas de Si y las tres de

Cl. Mientras que en tomate la menor dosis de Cl indujo leve incremento del verdor foliar, los dos nutrientes disminuyeron la altura, y la dosis más alta de Si:Cl fue más eficaz para incrementar ligeramente el área foliar, pero el rendimiento no se incrementó. Con respecto a los sólidos solubles totales, la dosis más alta de Cl y la menor combinación de Si:Cl ocasionaron mejor respuesta en pepino; no obstante, en tomate sólo la menor dosis de Cl ocasionó la respuesta más alta.

Palabras claves: altura, °Brix, pH, verdor.

SUMMARY

An increase in photosynthetic capacity, a decrease in transpiration rate, greater growth of plants and increase in yields and quality of crops are effects caused by silicon (Si) and chlorine (Cl). These beneficial effects caused by both elements depend on species and genotypes within a species. Therefore, the objective of the research was to determine the effect of silicon and chlorine, individually or in combination, as well as which are the most effective doses in growth, yield and postharvest quality of cucumber and tomato. The cultivars ‘Paraíso F1’ and ‘tomate F3’ were sown, watered every 24 h and fertilized

Cita recomendada:

Cázarez-Flores, L. L., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T. J., Ayala-Tafoya, F., Díaz-Valdés, T., Yáñez-Juárez, M. G., y López-Orona, C. A. (2022). Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-11. e994. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.994>

Recibido: 15 de julio de 2021. Aceptado: 06 de abril de 2022.
Artículo. Volumen 40, abril de 2022.

with 200 kg ha⁻¹ of N and 2 L ha⁻¹ of Micro-Min foliar (20-30-10) on the 36th and 56th day after planting. In both experiments, a randomized complete block design was established, managed in drip irrigation. Treatments consisted of 20, 30 and 50 mg L⁻¹ of Si or Cl and combinations of 20:20 and 30:30 mg L⁻¹ of Si:Cl, plus the control. The highest dose of Si and the three doses of Cl or two of Si:Cl were more effective to induce growth in cucumber, although in regard to yield, the most suitable were the two highest doses of Si and the three of Cl. In tomato, the lowest dose of Cl induced a slight increase in leaf greenness, the two nutrients decreased height, and the highest dose of Si:Cl was more effective to slightly increase the leaf area, however, the yield did not increase. With regards to total soluble solids, the highest dose of Cl and the lowest combination of Si:Cl caused a better response in cucumber; however, in tomato only the lowest dose of Cl caused the highest response.

Index words: °Brix, greenness, height, pH.

INTRODUCCIÓN

En 2020, México cultivó 44 814.4 ha de tomate y 15 832.4 ha de pepino, y alcanzó producciones de 29 823 209.5 y 8 095 026.89 toneladas respectivamente; de las cuales Sinaloa, principal productor de ambas hortalizas, participó con los respectivos 23.1 y 21.5% de la superficie y, 21.1 y 32.9% de la producción (SIAP, 2020).

En la actualidad ocurre una tendencia hacia la producción intensiva de hortalizas, cuyo objetivo es aumentar la calidad y productividad de las mismas, usando técnicas de manejo que son componentes importantes en la agricultura, es el caso del uso de nutrientes (Preciado, Favela y Benavides, 2006).

Dentro de los elementos esenciales se encuentran los macronutrientes: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Por su parte, los micronutrientes incluyen hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y níquel (Ni) (Welch y Shuman, 1995; Marschner, 2011). Hay indicios de que el silicio (Si) pudiera entrar en la lista de los micronutrientes, aunque sería más pertinente considerarlo como benéfico o cuasi-esencial (Epstein, 1999), pues en algunos países lo usan como fertilizante para los cultivos, porque juega

un papel importante en la protección de plantas contra el estrés biótico o abiótico (Raya y Aguirre, 2012).

El Si puede influir positivamente para mejorar el crecimiento de las plantas y los rendimientos de producción, así como diferentes respuestas fisiológicas como son: mejoramiento en el balance de nutrientes, reducción de la toxicidad de minerales, incremento en las propiedades mecánicas de los tejidos vegetales, y un aumento en la resistencia a diversos factores abióticos (sales, toxicidad de metales, desbalance nutricional, sequía, radiación, altas temperaturas, heladas, radiación UV, entre otros) y factores bióticos (Balakhnina y Borkowska, 2013). Se ha demostrado que el Si tiene efectos benéficos en los cultivos, ya que al ser absorbido por la planta se transforma en cristales de Si, formando una barrera protectora que presenta una resistencia mecánica al ataque de enfermedades e insectos (Balakhnina y Borkowska, 2013).

La mejora de la capacidad fotosintética, disminución de la tasa transpiratoria, aumento de crecimiento de las plantas y aumento de la resistencia mecánica de las células, son efectos directos del Si que se acompañan de varios efectos indirectos (Valente, Morais, Couto y Correira, 2004). En tal sentido Borda, Barón y Gómez (2007), mencionan que los impactos positivos de Si son de gran importancia en el manejo de la fertilidad para el cultivo de *Avena sativa*, los cuales se observan en la óptima asimilación y transformación eficiente de nutrientes del suelo en incrementos de materia seca aérea, materia seca de raíz y altura. Al respecto, Furcal y Herrera (2013) investigaron el efecto que ocasiona el Si en la fertilidad del suelo, al aplicar 100 kg ha⁻¹ de SiO₂, junto con insecticidas en polvo, y observaron que en el suelo no hubo mayor concentración de Si; sin embargo, el zinc y cobre se incrementaron en el suelo; asimismo, el zinc y magnesio en las hojas de arroz, aunque estadísticamente estos incrementos no repercutieron en el rendimiento y calidad del grano.

Por otro lado, el Cl es un micronutriente esencial, sin embargo, en el cultivo de plantas superiores éste no es aplicado en la nutrición (Marschner, 2011), ya que generalmente puede ser suministrado a través de la lluvia, y las plantas deficientes en Cl son raramente observadas en la agricultura o en la naturaleza. Según Marschner (2011), el requerimiento mínimo de Cl, al ser un micronutriente esencial para las plantas superiores, es de 1 g kg⁻¹ de peso seco de los cultivos. De acuerdo con Xu, Magen, Tarchitzky y Kafkafi

(2000), la concentración de Cl en el tejido, a la que se observan síntomas de deficiencia, oscila entre aproximadamente 0.1 y 7 mg g⁻¹ de peso seco.

En pepino y tomate no se conoce la respuesta del verdor foliar, altura, área foliar de hoja seleccionada, rendimiento y calidad postcosecha después de haber aplicado 20, 30 o 50 mg L⁻¹ de silicio y cloro, respectivamente, y una relación 1:1 de ambos elementos, aplicados en la etapa de cinco hojas verdaderas mediante riego por goteo. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar el efecto que ocasionan silicio y cloro en el verdor, altura, área foliar, sólidos totales, pH y rendimiento, aplicados por separado o ambos elementos a la vez, así como cuál o cuáles son las dosis más eficaces en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante la etapa hortícola otoño/invierno 2016-2017, en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en Culiacán, Sinaloa, México, ubicada en las coordenadas 24° 37' 29" N y 107° 26' 36" O, con una altitud de 38.5 m. El suelo del sitio es del tipo vertisol crómico (IUSS, 2007), de color gris oscuro cuando está seco y gris al humedecerse, cuyo drenaje superficial es regular. La capacidad de campo del suelo es de 64% y el punto de marchitamiento permanente de 39%, por lo que la humedad aprovechable es de 25%, con base en el peso de suelo seco. Su contenido de materia orgánica es menor a 1%; con menos de 0.002% de nitrógeno, alrededor de 17.5 y 300 mg kg⁻¹ de fósforo y potasio, respectivamente; pH entre 7.5 y 8, y conductividad eléctrica menor de 1 dS m⁻¹. El clima [BS1(h')w(w)(e)] es semiseco, muy cálido, extremoso, con lluvias en verano, con temperatura media anual de 25.9 °C y precipitación media anual de 672 mm (García, 2004).

En la producción de plántulas para trasplante se usaron semillas de pepino cultivar Paraíso F1 y tomate F3, las cuales fueron sembradas en charolas de poliestireno con 242 cavidades rellenas con sustrato peat moss, bajo condiciones de invernadero. La fertirrigación de las plántulas se realizó mediante una solución con 1 g L⁻¹ de urea (46-0-0). El trasplante se realizó el 11 de noviembre de 2016 con una separación de 25 cm entre plantas y 1.6 m entre hileras. El riego fue realizado tres veces por semana con sistema de

goteo, mediante el cual fueron aplicados 200 kg ha⁻¹ de N (100 a los 36 y 100 a los 56 días después del trasplante (ddt)). También se aplicó el fertilizante foliar micro-min (20-30-10) a los 36 y 56 ddt y después de cada corte de frutos, en dosis de 2 L ha⁻¹.

Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar con nueve tratamientos (20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Si, 20, 30 y 50 mg L⁻¹ de Cl, 20:20 y 30:30 mg L⁻¹ de Si:Cl, y un testigo) y cuatro repeticiones. El área experimental constó de cuatro surcos de 32 m de largo y parcelas experimentales con 14 plantas en 5.6 m² por repetición. Los tratamientos se aplicaron sólo una vez mediante soluciones de 3 L de agua, en el fondo de un surco de ≈5 cm de profundidad, construido manualmente con un triángulo metálico a un lado de la hilera de plantas, cuando éstas se encontraban en la etapa de cinco hojas verdaderas. En tanto que las plantas que recibieron 3 L de agua fueron la testigo.

Las variables de respuesta relacionadas con el crecimiento de las plantas fueron evaluadas en una muestra de plantas (20 por tratamiento seleccionadas aleatoriamente), a los 15 días después de la aplicación (dda) de los tratamientos. El verdor foliar se evaluó con el medidor de clorofila Spad-502, Minolta, en la parte central de una hoja madura (totalmente formada y sin más crecimiento en longitud y anchura). La altura de las plantas se midió desde la base del tallo hasta la yema apical del mismo, con una cinta graduada. El área foliar de hoja seleccionada se determinó con el largo (L) y ancho (A) de la hoja, mediante la ecuación $AF = 0.851(L.A)$ para pepino y $AF = 0.347(L.A) - 10.7$ para tomate, propuestas por Blanco y Folegatti (2003).

El rendimiento se determinó con base al peso de los frutos cosechados tres veces por semana, obtenido con balanza de precisión (Sza110, SAFSTAR). En el caso del pepino los frutos cosechados debían tener no menos de 5.5 cm de diámetro y 20 cm de longitud (entre large y súper selecto de escala comercial); mientras que, los frutos de tomate se cosecharon en estado de madurez conocido como rayado, turning o Grado 3, según la clasificación establecida por USDA (1992).

Con relación a la calidad postcosecha, se determinaron los sólidos solubles totales y el pH de cinco frutos por repetición o tratamiento, de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC y Horwitz (1998). Los sólidos solubles totales se obtuvieron al colocar tres gotas del extracto de los frutos en un refractómetro digital (300010, Sper Scientific).

Para determinar pH, se pesó 10 g de cada fruto en una balanza de precisión (PR802, Mettler Toledo) y se mezcló con 50 mL de agua destilada ajustada a pH de 7, la mezcla se homogeneizó en licuadora (85554, Osterizer) y posteriormente se filtró en tela de organza; del filtrado se tomó una alícuota de 50 mL que fue analizada con un medidor de pH (HI98130, Hanna Instruments).

Los datos recabados se analizaron estadísticamente con el paquete estadístico SAS (1995), versión 9.0, mediante ANOVA y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cultivo de Pepino

El verdor foliar del pepino se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) con Si y Cl al ser aplicados de manera individual o en mezcla, excepto con Si a 20 mg L⁻¹ (Cuadro 1). El verdor foliar fue superior al testigo con los tratamientos de Si en 20.4 y 23.8% y (30 o 50 mg L⁻¹), con Cl en 18.3, 22.4 y 20% (20, 30 o 50 mg L⁻¹) y con Si:Cl en 21.4 y 19.5% (20:20 o 30:30 mg L⁻¹), respectivamente.

Los tratamientos con Si o Cl no incrementaron la altura ni el área foliar de las plantas de pepino, debido a que todos los promedios registrados de dicha variable fueron estadísticamente semejantes ($P \leq 0.05$) al obtenido en las plantas testigo (Cuadro 1).

La altura de las plantas tratadas con Si tiene relación con los datos reportados por Borda *et al.* (2007), quienes manifestaron que al aplicar, en presiembra, las dosis: 100 y 50 mg L⁻¹ de ácido monosilícico, en el cultivo de avena forrajera, la altura fue mayor hasta el momento de la cosecha, ya que observaron diferencias altamente significativas con respecto al testigo. Aunque tales diferencias las pudieron registrar a los 45 dds (etapa de macollamiento) donde aplicaron las dosis de 150, 120, 100 y 50 mg L⁻¹. Esto puede explicarse porque a partir de los 45 días se inicia la etapa reproductiva, que al final se manifiesta con la emisión de la espiga, siendo esta mayor o menor de acuerdo con la cantidad de fotoasimilados, misma que depende en gran medida de la nutrición que se suministró al cultivo en su fase vegetativa. Por ello, las plantas a las cuales se les aplicó Si, expresaron mayor altura al momento de la cosecha, ya que este elemento tuvo un efecto benéfico sobre el balance nutricional, principalmente de elementos necesarios

Cuadro 1. Respuesta de plantas de pepino en verdor foliar, altura de plantas y área foliar expuesto al tratamiento con silicio (Si) o cloro (Cl) en condiciones de casa sombra.

Table 1. Response of cucumber plants in leaf greenness, plant height and leaf area exposed to treatment with silicon (Si) or chlorine (Cl) under shade house conditions.

| Tratamiento | Verdor foliar | Altura de planta | Área foliar de hoja seleccionada |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------------|
| | Spad | cm | cm ² |
| 20 mg L ⁻¹ de Si | 45.77 ± 5.82 ab [†] | 33.55 ± 10.67 b | 22.80 ± 4.87 b |
| 30 mg L ⁻¹ de Si | 49.56 ± 9.51 a | 35.95 ± 10.52 ab | 25.65 ± 6.12 ab |
| 50 mg L ⁻¹ de Si | 50.94 ± 8.95 a | 45.50 ± 12.61 a | 30.25 ± 5.53 a |
| 20 mg L ⁻¹ de Cl | 48.67 ± 6.28 a | 41.70 ± 9.80 ab | 26.80 ± 6.17 ab |
| 30 mg L ⁻¹ de Cl | 50.37 ± 5.56 a | 40.50 ± 9.90 ab | 27.15 ± 5.73 ab |
| 50 mg L ⁻¹ de Cl | 49.36 ± 6.06 a | 43.70 ± 19.33 ab | 29.20 ± 8.38 a |
| 20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 49.94 ± 3.23 a | 43.25 ± 13.53 ab | 27.60 ± 7.70 ab |
| 30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 49.19 ± 3.10 a | 43.25 ± 9.63 ab | 26.80 ± 5.13 ab |
| Testigo | 41.15 ± 9.64 b | 37.90 ± 8.06 ab | 24.80 ± 4.74 ab |
| DMSH | 5.99 | 11.32 | 5.5 |

[†] Medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] Means ± standard deviation with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

en las primeras etapas. Sánchez (1981) encontró resultados similares en la caña de azúcar, ya que ésta tuvo una respuesta positiva en el aumento de tallos y número de hojas activas.

El incremento del verdor (comparado con el del testigo) de las plantas de pepino confirma lo reportado por Marschner (2011) y White y Broadley (2001), acerca de que Cl es un micronutriente esencial, pero con un mínimo requerimiento para muchos cultivos. Asimismo, el incremento de la altura y área foliar (en relación a lo expresado con 20 mg L⁻¹ de Si), son datos que muestran la eficacia fotosintética de aquéllas tratadas con 30 o 50 mg L⁻¹, ya que de otra manera todos los promedios hubieran sido similares al testigo, y tienen concordancia con lo reportado por Valente *et al.* (2004), quienes han referido que Si se acompaña de efectos indirectos, que incluyen un aumento de la capacidad fotosintética y un mayor crecimiento de las plantas.

Con relación al Cl, Tingxuan, Changquan, Guorui, Xizhou y Rensui (2002) observaron que éste se acumula principalmente en los cloroplastos, y es esencial para la función fotosintética. Las plantas con deficiencia de cloro muestran síntomas de marchitez, clorosis, necrosis y una decoloración de bronce

inusual. A los 10 y 15 días de haber tratado hojas de pepino con Si, Feng *et al.* (2010) descubrieron que Si aumenta significativamente los niveles de clorofila a, clorofila b, clorofila total y carotenoides. Estos resultados concuerdan con los referidos por Chapagain, Wiesman, Zaccari, Imas y Magen (2011), quienes mencionan que el Cl es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, que es requerido en pequeñas cantidades por todos los cultivos, y su rol es ayudar en la fotosíntesis, regular las funciones de enzimas, la regulación estomática por pérdida de agua, transportar nutrientes en las plantas (Ca, Mg y K), incrementar la producción en cereales y aumentar la resistencia a las enfermedades.

El rendimiento y pH del fruto de pepino no se mejoró significativamente con el tratamiento a las plantas con Si o Cl, debido a que todos los promedios registrados de dicha variable fueron estadísticamente semejantes ($P \leq 0.05$) al obtenido en las plantas testigo (Cuadro 2).

Los sólidos solubles totales en los frutos cosechados de las plantas de pepino tratadas (Cuadro 2), sólo se incrementaron significativamente ($P \leq 0.05$) con respecto al testigo con Si:Cl a 20:20 mg L⁻¹ (20%) y Cl a 50 mg L⁻¹ (18.3%).

Cuadro 2. Respuesta de plantas de pepino en rendimiento, sólidos solubles totales y pH del fruto, al tratamiento con silicio (Si) o cloro (Cl) en condiciones de casa sombra.

Table 2. Response of cucumber plants in yield, total soluble solids and fruit pH exposed to treatment with silicon (Si) or chlorine (Cl) under shade house conditions.

| Tratamiento | Rendimiento | Sólidos solubles totales | pH |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| | Mg ha ⁻¹ | °Brix | |
| 20 mg L ⁻¹ de Si | 14.06 ± 3.33 a [†] | 2.60 ± 0.34 abc | 5.44 ± 0.13 a |
| 30 mg L ⁻¹ de Si | 24.08 ± 14.47 a | 2.53 ± 0.34 c | 5.44 ± 0.11 a |
| 50 mg L ⁻¹ de Si | 23.15 ± 6.70 a | 2.53 ± 0.28 bc | 5.45 ± 0.14 a |
| 20 mg L ⁻¹ de Cl | 19.58 ± 4.97 a | 2.64 ± 0.40 abc | 5.44 ± 0.11 a |
| 30 mg L ⁻¹ de Cl | 21.18 ± 5.62 a | 2.64 ± 0.37 abc | 5.51 ± 0.09 a |
| 50 mg L ⁻¹ de Cl | 20.97 ± 9.32 a | 2.84 ± 0.28 ab | 5.45 ± 0.08 a |
| 20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 18.14 ± 6.13 a | 2.88 ± 0.24 a | 5.46 ± 0.09 a |
| 30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 18.68 ± 2.17 a | 2.68 ± 0.45 abc | 5.44 ± 0.11 a |
| Testigo | 15.70 ± 2.75 a | 2.40 ± 0.34 c | 5.43 ± 0.11 a |
| DMSH | 16.57 | 0.33 | 0.11 |

[†] Medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] Means ± standard deviation with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los incrementos (en valores absolutos) en el rendimiento de pepino cultivado con Cl, son resultados que tienen relación con los de Chen, He, Yang, Mishra y Stoffella (2010), quienes refieren que los fertilizantes clorados pueden aumentar el rendimiento de las plantas y puede mejorar la calidad de la fibra en el algodón. Asimismo, con los de Díaz, Duarte y Barraco (2004), ya que ellos informaron que al aplicar 253 kg ha⁻¹ de KCl en trigo (*Triticum aestivum* L.), el rendimiento de grano se incrementó 7% sobre el testigo sin aplicación de cloro.

Con el Si y Cl en relaciones de 20:20 y 30:30 mg L⁻¹, los resultados indicaron que el rendimiento también se puede incrementar, aunque en menor proporción que cuando se aplican de manera individual, sin que el Cl cause toxicidad en los tejidos, como lo señalan Jacoby (1999), Al-Karaki (2000) y Zhu (2001). Además, con estas dosis también se puede inferir que no se aplicaron altas concentraciones de Cl, ya que de otra manera se habrían presentado plantas con toxicidad y se hubiera restringido el cultivo de estas, como lo señalan Xu *et al.* (2000) al reportar que en altas concentraciones en los tejidos, el Cl puede restringir la agricultura, sobre todo en suelos salinos.

Con niveles adecuados de suministro, el Cl mejora los rendimientos y la calidad de muchos cultivos, como mencionan Chen *et al.* (2010) en cebolla y algodón. Geilfus (2018) menciona que los efectos

benéficos o perjudiciales que ocasiona el Cl dependen de la sensibilidad de la especie y del nivel de éste en el entorno externo, ya que una elevada concentración de Cl puede dañar las células de la hoja y, en consecuencia, ocasionar problemas en la fotosíntesis. Además, Gómez, Rodríguez, Cárdenas, Sandoval y Colinas (2006) mencionan que mediante un manejo nutricional, donde se agregue silicio, las plantas pueden incrementar hasta el doble de rendimiento con relación al testigo. Esta coincidencia no sólo fue en las plantas tratadas con 30 o 50 mg L⁻¹ de Si y con las tres dosis de Cl por sí solos, sino también con la combinación de ambos.

Cultivo de Tomate

Los tratamientos con Si o Cl a plantas de tomate, no mejoraron el verdor foliar debido a que todos los promedios registrados de dicha variable fueron estadísticamente semejantes ($P \leq 0.05$) al obtenido en las plantas testigo (Cuadro 3).

El tratamiento a las plantas de tomate con Si o Cl impactó negativamente la altura de planta, debido a que todos los valores absolutos promedio registrados en esa variable fueron inferiores ($P \leq 0.05$) al obtenido en las plantas testigo (Cuadro 3). Con respecto al testigo, la altura de planta con Si:Cl 20:20 mg L⁻¹ fue inferior en 2%, con Si se originaron decrementos

Cuadro 3. Verdor, crecimiento y rendimiento de tomate F3 cultivadas con silicio (Si) o cloro (Cl) en condiciones de casa sombra.
Table 3. Greenness, growth, and yield of F3 tomatoes grown with silicon (Si) or chlorine (Cl) under shade house conditions.

| Tratamiento | Verdor foliar spad | Altura de planta cm | Área foliar de hoja seleccionada cm ² |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------|---|
| 20 mg L ⁻¹ de Si | 49.85 ± 3.58 a [†] | 68.00 ± 9.95 bc | 308.66 ± 111.7 abc |
| 30 mg L ⁻¹ de Si | 47.19 ± 3.93 a | 73.47 ± 8.72 abc | 335.95 ± 143.1 ab |
| 50 mg L ⁻¹ de Si | 48.12 ± 2.39 a | 53.87 ± 13.53 d | 214.61 ± 97.3 c |
| 20 mg L ⁻¹ de Cl | 51.12 ± 4.23 a | 63.47 ± 6.91 cd | 282.12 ± 84.1 abc |
| 30 mg L ⁻¹ de Cl | 48.46 ± 3.71 a | 71.83 ± 17.20 bc | 300.18 ± 114.2 abc |
| 50 mg L ⁻¹ de Cl | 50.24 ± 3.84 a | 70.03 ± 11.52 abc | 302.33 ± 114.5 abc |
| 20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 48.37 ± 6.08 a | 62.70 ± 20.50 cd | 233.57 ± 120.3 bc |
| 30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 50.78 ± 3.29 a | 80.13 ± 8.54 ab | 390.57 ± 123.4 a |
| Testigo | 49.56 ± 2.98 a | 81.40 ± 7.88 a | 350.49 ± 76.1 a |
| DMSH | 4.09 | 12.7 | 112.32 |

[†] Medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] Means ± standard deviation with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

que fluctuaron entre 10 y 34%, y con Cl la diferencia fluctuó entre 12 y 22%.

El área foliar en las plantas con 50 y 20:20 mg L⁻¹ de Si y Cl, respectivamente, fue inferior en 38.8 y 33.3%, en el mismo orden, con respecto a la del testigo (Cuadro 3). Con Si se originaron decrementos que fluctuaron entre 4 y 38.8%, y con Cl la diferencia fluctuó entre 14 y 19.5 por ciento.

Estos resultados indican que en plantas de tomate con Si o Cl no mejoró el verdor foliar respecto a las plantas testigo, ya que las dicotiledóneas como el tomate y la soya son considerados acumuladores pobres de silicio con valores menores de 0.1% de silicio (Epstein, 1999). El decremento de la mayoría de promedios en valores absolutos de verdor, estadísticamente de cinco promedios en altura y dos en área foliar, son aspectos contradictorios con lo reportado por Jianpeng *et al.* (2010), ya que ellos encontraron en hojas de pepino, a los 10 y 15 días de haber sido tratadas con Si, incrementos significativos en los niveles de clorofila a, clorofila b, clorofila total y carotenoides. Por otro lado, Liang, Chen, Liu, Zhang y Ding (2003), encontraron que la adición de Si disminuyó la permeabilidad de la membrana plasmática de las células de la hoja, y mejoró significativamente la ultraestructura de cloroplastos, que fueron gravemente dañados por adición de NaCl.

No obstante, tienen relación con los de Wege, Gilliam y Henderson (2017), porque indican que

el cloruro no se metaboliza y su única función esencial conocida es en el complejo generador de oxígeno en PSII, en comparación con el nitrato. Si bien se requieren trazas de Cl para la fotosíntesis (Kawakami, Umena, Kamiya y Shen, 2009), la deficiencia de Cl reduce el crecimiento de las plantas antes de reducir la eficiencia fotosintética (Terry, 1977). El Cl se considera un micronutriente esencial que regula las actividades enzimáticas en el citoplasma, es un cofactor esencial en la fotosíntesis, actúa como un contraanión para estabilizar el potencial de membrana y participa en la regulación de la turgencia y el pH (Teodoro, Zingarelli y Lado, 2002; Marschner, 2011).

El rendimiento de fruto en plantas de tomate no se mejoró significativamente con el tratamiento de Si y Cl, debido a que todos los promedios registrados en dicha variable fueron estadísticamente semejantes ($P \leq 0.05$) al obtenido en las plantas testigo (Cuadro 2). Al contrario, con Si a 50 mg L⁻¹ el valor absoluto promedio de rendimiento disminuyó 27.2% (Cuadro 4).

La cantidad de sólidos solubles totales en frutos de tomate no se incrementó estadísticamente ($P \leq 0.05$) con el tratamiento a las plantas con Si o Cl, puesto que la mayoría de los promedios registrados en dicha variable fueron estadísticamente semejantes al obtenido en las plantas testigo (Cuadro 4); sin embargo, con Si:Cl a 30:30 mg L⁻¹ estos compuestos fueron estadísticamente inferiores a los obtenidos con Cl a 20 mg L⁻¹.

Cuadro 4. Sólidos solubles totales y pH de frutos de tomate cultivadas con silicio (Si) o cloro (Cl) bajo condiciones de casa sombra.
Table 4. Total soluble solids and pH of tomato fruits grown with silicon (Si) or chlorine (Cl) under shade house conditions.

| Tratamiento | Rendimiento | Sólidos solubles totales | pH |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| | Mg ha ⁻¹ | °Brix | |
| 20 mg L ⁻¹ de Si | 23.21 ± 0.46 a [†] | 3.65 ± 0.37 ab | 4.38 ± 0.11 ab |
| 30 mg L ⁻¹ de Si | 23.20 ± 0.59 a | 3.73 ± 0.37 ab | 4.34 ± 0.06 ab |
| 50 mg L ⁻¹ de Si | 17.84 ± 4.16 a | 3.78 ± 0.39 ab | 4.37 ± 0.11 ab |
| 20 mg L ⁻¹ de Cl | 23.22 ± 0.62 a | 3.89 ± 0.44 a | 4.39 ± 0.11 ab |
| 30 mg L ⁻¹ de Cl | 21.49 ± 2.69 a | 3.79 ± 0.35 ab | 4.41 ± 0.80 ab |
| 50 mg L ⁻¹ de Cl | 25.14 ± 4.90 a | 3.60 ± 0.43 ab | 4.33 ± 0.60 ab |
| 20:20 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 21.75 ± 5.64 a | 3.53 ± 0.33 ab | 4.36 ± 0.63 ab |
| 30:30 mg L ⁻¹ de Si:Cl | 21.75 ± 3.29 a | 3.35 ± 0.45 b | 4.28 ± 0.11 b |
| Testigo | 24.50 ± 3.57 a | 3.57 ± 0.53 ab | 4.47 ± 0.27 a |
| DMSH | 7.67 | 0.45 | 0.14 |

[†] Medias ± desviación estándar con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] Means ± standard deviation with the same letter within each column are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$).

En el Cuadro 4 se puede observar que el pH en los frutos cosechados de las plantas de tomate sólo fue significativamente inferior ($P \leq 0.05$) con respecto al testigo cuando se usó en mezcla con Si:Cl (30:30 mg L⁻¹).

El rendimiento de fruto en plantas de tomate no se mejoró con el tratamiento a las plantas con Si o Cl en relación a las plantas testigo, y con menor respuesta comparadas con pepino, resultados que fueron contradictorios a los de Loaiza (2003), quién menciona que en condiciones de campo, el silicio puede estimular el crecimiento (entendido como la acumulación irreversible de materia seca, que se asocia a procesos de elongación y crecimiento celular) y la productividad por aumentar la disponibilidad de elementos como el P, Ca, Mg, K y B, al contrarrestar el antagonismo generado en suelos con alta saturación de aluminio y hierro (Epstein y Bloom, 2005; Hodson y Evans, 1995). Numerosas investigaciones han confirmado que silicio puede beneficiar positivamente el crecimiento y rendimiento de las plantas, aunque no se considera tradicionalmente como un elemento esencial en ellas (Ahmed, Hassen y Khurshid, 2011; Balakhnina *et al.*, 2012; Gunes *et al.*, 2007; Ma, Li, Gao y Xin, 2004; Savant, Snyder y Datnoff, 1997). Sin embargo, Si actúa positivamente en las plantas bajo condiciones de estrés (Hattori *et al.*, 2005).

Estos resultados demuestran que existe una amplia variación en el contenido de Si entre especies y dentro de genotipos de la misma especie (Epstein, 1994). Toresano, Valverde y Camacho (2012), observaron diferencias significativas en tomate cerezo, incluyendo un mayor número de frutos (frutos/planta) y un mayor rendimiento en las parcelas que fueron fertilizadas con silicio, de igual forma cuando las plantas tienen una asimilación pasiva o selectiva o son pobres acumuladores como las solanáceas, el porcentaje de silicio absorbido y presente en las plantas es inferior al 1%, pero su presencia puede aportar importantes beneficios a la planta antes de que sufra estrés biótico y abiótico.

El incremento en valores absolutos de sólidos solubles totales logrado con dos dosis de Si con respecto al testigo, coincide con Balakhnina y Borkowska (2013), quienes han demostrado que el silicio tiene efectos benéficos en los cultivos, ya que al ser absorbido por la planta se transforma en cristales de silicio, formando una barrera protectora presentando una resistencia mecánica al ataque de

enfermedades e insectos, además de alargar la vida postcosecha (Dios, Sandoval, Rodríguez y Cárdenas, 2006). Como lo señalan Cárdenas, García, Delgado y Gutiérrez (2013), al evidenciar la capacidad de silicio para mejorar la calidad y productividad de chile habanero a condiciones de cielo abierto. Estos resultados demuestran que las plantas nutridas con silicio refuerzan su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha (Mitani y Ma, 2005; Epstein, 2009). Del mismo modo, Si es una alternativa para aumentar el número de frutos por planta y mayor rendimiento (kg m⁻²) en tomate cherry así como, un efecto positivo en sandía triploide en algunos aspectos de calidad, como consistencia de la pulpa y ancho de la cáscara (Toresano *et al.*, 2012).

Respecto al cloruro, este es un nutriente que se acumula a niveles milimolares en las plantas en la mayoría de las condiciones de crecimiento, incluidas casi todas las plantas cultivadas en el suelo. Estas concentraciones relativamente altas de cloruro (en relación con la demanda de cloruro en la fotosíntesis) son beneficiosas para las plantas, incluidas las no halófitas, ya que la adición de cloruro al medio de crecimiento por encima del nivel micromolar aumenta la biomasa (Wege *et al.*, 2017). Franco *et al.* (2016), demostraron que el Cl estimula la expansión de las células del tabaco (*Nicotiana tobaccum*) y, por lo tanto, aumenta el área de la superficie foliar. Los estudios agronómicos han informado de un aumento sustancial en el rendimiento de muchos cultivos en respuesta a la fertilización con cloro.

CONCLUSIONES

La dosis más alta de silicio (Si) y las tres de cloro (Cl) o dos de Si:Cl fueron más eficaces para inducir crecimiento en pepino, pero en rendimiento las más adecuadas fueron las dos más altas de Si y las tres de Cl. Mientras que en tomate la menor dosis de Cl indujo leve incremento del verdor foliar, los dos nutrientes disminuyeron la altura, y la dosis más alta de Si:Cl fue más eficaz para incrementar ligeramente el área foliar, pero el rendimiento no se incrementó. En tanto que, con respecto a los sólidos solubles totales, la dosis más alta de Cl y la menor combinación de Si:Cl ocasionaron mejor respuesta en pepino; no obstante, en tomate sólo la menor dosis de Cl ocasionó la respuesta más alta.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

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 M.G.Y.J. Investigación: L.L.C.F., T.J.V.A. y F.A.T. Análisis formal de datos: L.L.C.F., L.P.R. y T.J.V.A. Curación de datos: L.P.R. y F.A.T. Preparación del borrador original: L.L.C.F., L.P.R. y T.J.V.A. Revisión y edición: L.P.R., F.A.T., M.G.Y.J. y C.A.L.O. 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

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Facultad de Agronomía y al Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa. A los estudiantes del Área de Horticultura y al Lic. Noel Flores por su valiosa colaboración.

LITERATURA CITADA

Ahmed, M., Hassen, F., & Khurshid, Y. (2011). Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agricultural Water Management*, 98(12), 1808-1812. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.003>

- Al-Karaki, G. N. (2000). Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 23(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/01904160009381992>
- AOAC, & Horwitz, W. (Association of Official Analytical Chemists). (1998). *Official methods of analysis*. 15th ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Balakhnina, T. I., & Borkowska, A. (2013). Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *International Agrophysics*, 27(2), 225-232. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0089-4>
- Balakhnina, T. I., Matichenkov, V. V., Wlodarczyk, T., Borkowska, A., Nosalewicz, M., & Fomina, I. R. (2012). Effects of silicon on growth processes and adaptive potential of barley plants under optimal soil watering and flooding. *Plant Growth Regulation*, 67, 35-43. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9658-6>
- Blanco, F. F., & Folegatti, M. V. (2003). A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, 21(4), 666-669. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000400019>
- Borda, O. A., Barón, F. H., & Gómez, M. I. (2007). El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*, 25(2), 273-279.
- Cárdenas C., Ángel, García P., J. D., Delgado B., M. I., & Gutiérrez R., B. (2013). Efecto de diferentes concentraciones de Silicio, adicionado al suelo en el cultivo de chile habanero a cielo abierto. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 1(2), 92-96. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v1i2.228>
- Chapagain, B. P., Wiesman, Z., Zaccari, M., Imas, P., & Magen, H. (2011). Potassium chloride enhances fruit appearance and improves quality of fertigated greenhouse tomato as compared to potassium nitrate. *Journal of Plant Nutrition*, 26(3), 643-658. <https://doi.org/10.1081/PLN-120017671>
- 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>
- Díaz Z., M., Duarte, G. A., & Barraco, M. (2004). Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the sandy Pampas region, Argentina. *Agronomy Journal*, 96(3), 839-844. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0839>
- Dios D., I., Sandoval V., M., Rodríguez M., Ma. de las N., & Cárdenas S., E. (2006). Aplicaciones foliares de calcio y silicio en la incidencia de mildiu en lechuga. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 91-98.
- Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of 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>
- Epstein, E. (2009). Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*, 155(2), 155-160. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>

- Epstein, E., & Bloom, A. (2005). *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. Second edition. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates.
- Feng, J., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Yang, F., & Xu, H. (2010). Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. *Scientia Horticulturae*, 123(4), 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.10.013>
- Franco-Navarro, J. D., Brumós, J., Rosales, M. A., Cubero, P., Talón M., & Colmenero, J. M. (2016). Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 873-891. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv502>
- Furcal, P., & Herrera, A. (2013). Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 365-378.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM. México: UNAM.
- Geilfus, C. M. (2018). Review on the significance of chlorine for crop yield and quality. *Plant Science*, 270, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.02.014>
- Gómez-Camacho, R., Rodríguez, M. N., Cárdenas, E., Sandoval, M., & Colinas, M. T. (2006). Fertilización foliar con silicio como alternativa contra la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* (Sheld) en tomate de cáscara. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 69-75. <http://dx.doi.org/10.5154/r.chsh.2003.11.079>
- Gunes, A., Inal, A., Bagci, E. G., & Coban, S. (2007). Silicon mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. *Journal of Plant Physiology*, 164(6), 807-811. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.07.011>
- Hattori, T., Inanaga, S., Araki, H., An, P., Morita, S., Luxová, M., & Lux, A. (2005). Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologia Plantarum*, 123, 459-466. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>
- Hodson, M. J., & Evans, D. E. (1995). Aluminum/silicon interactions in higher plants. *Journal of Experimental Botany*, 46(2), 161-171.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB (International Union of Soil Sciences). (2007). *Base referencial mundial del recurso suelo*. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. Roma: FAO.
- Jacoby, B. (1999). Mechanisms involved in salt tolerance by plants. In M. Pessaraki (Ed.). *Handbook of plant and crop stress* (pp. 97-123). New York, NY, USA: Marcel Dekker Incorporated.
- Jianpeng, F., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Yang, F., & Xu, H. (2010). Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. *Scientia Horticulturae*, 123(4), 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.10.013>
- Kawakami, K., Umena, Y., Kamiya, N., & Shen, J. R. (2009). Location of chloride and its possible functions in oxygen-evolving photosystem II revealed by X-ray crystallography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(21), 8567-8572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812797106>
- Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., & Ding, R. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, 160(10), 1157-1164. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01065>
- Loaiza, C. (2003). *Fisiología vegetal*. Manizales, Colombia: Universidad de Caldas.
- Ma, C. C., Li, Q. F., Gao, Y. B., & Xin, T. R. (2004). Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(5), 623-632. <https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408520>
- Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. San Diego, CA, USA: Academic Press.
- Mitani, N., & Ma, J. F. (2005). Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany*, 56(414), 1255-1261. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/eri121>
- Preciado, P., Favela, E., & Benavides, A. (2006). *Manual para la preparación de soluciones nutritivas*. Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Raya-Pérez, J. C., & Aguirre M., C. L. (2012). *El papel del silicio en los organismos y ecosistemas*. *Conciencia Tecnológica*, 43, 42-46.
- Sánchez, P. A. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo*. San José de Costa Rica: IICA.
- SAS Institute. (1995). *SAS-STAT user's guide*. Release 6.11. Cary, NC, USA: SAS Institute.
- Savant, N. K., Snyder, G. H., & Datnoff, L. E. (1996). Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*, 58, 151-199. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60255-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60255-2)
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). *Avances de siembras y cosechas, resumen por estados*. Consultado el 21 de marzo, 2021, desde <http://infosiap.siap.gob.mx>
- Teodoro, A. E., Zingarelli, L., & Lado, P. (2002). Early changes of Cl⁻ efflux and H⁺ extrusion induced by osmotic stress in *Arabidopsis thaliana* cells. *Physiologia Plantarum*, 102(1), 29-37. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1020105.x>
- Terry, N. (1977). Photosynthesis, growth, and the role of chloride. *Plant Physiology*, 60, 69-75. <https://doi.org/10.1104/pp.60.1.69>
- Tingxuan, L., Changquan, W., Guorui, M., Xizhou, Z., & Rensui, Z. (2002). Research progress of chloride-containing fertilizers. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 15(2), 86-91.
- Toresano S., F., Valverde G., A., & Camacho F., F. (2012). Effect of the application of silicon hydroxide on yield and quality of cherry tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 35(4), 567-590. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.644375>
- USDA (United States Department of Agriculture). (1992). *United States standard for grades of fresh tomatoes*. Washington, DC, USA: Agricultural Service.
- Valente, A., Morais, R., Couto, C., & Correira, J. H. (2004). Modeling, simulation and testing of a silicon soil moisture sensor based on the dual-probe heat-pulse method. *Sensors and Actuators A: Physical*, 115(2-3), 434-439. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2004.04.056>

-
-
- Wege, S., Gilliam, M., & Henderson, S. W. (2017). Chloride: not simply a 'cheap osmoticum', but a beneficial plant macronutrient. *Journal of Experimental Botany*, *68*(12), 3057-3069. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx050>
- Welch, R. M., & Shuman, L. (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*, *14*(1), 49-82. <https://doi.org/10.1080/07352689509701922>
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany*, *88*(6), 967-988. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1540>
- Xu, G., Magen, H., Tarchitzky, J., & Kafkafi, V. (2000). Advances in chloride nutrition of plants. *Advances in Agronomy*, *68*, 97-110. [http://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60844-5](http://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60844-5)
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, *6*(2), 66-71. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01838-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01838-0)