

La aplicación foliar de silicio y calcio modifica diferencialmente color y firmeza de frutos de pepino crecido en suelo sódico

GONZÁLEZ-TERÁN, Gustavo E., TREJO-TELLEZ, Libia Iris, GÓMEZ-MERINO, Fernando Carlos, GARCÍA-MORALES, Soledad, RUÍZ-BELLO, Alejandrina, COTLAME-GONZÁLEZ, Gloria y LADEWIG, Peter

G. González', L. Trejo', F. Gómez'', S. García'', A. Ruíz', G. Cotlame''' y P. Ladewig''

'Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230

''Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946

'''Instituto Tecnológico Superior de Zongolica Campus Tezonapa. Antiguo Recinto Ferial, Carretera a El Palmar s/n, Tezonapa, Veracruz. C. P. 95095

tlibia@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, R. García (eds.) Ciencias de la Economía y Agronomía. Handbook T-II.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

In this study we evaluated the effect of foliar application of Ca and Si individually and collectively on the mitigation of salt stress in cucumber fruit quality grown in a sodic soil. Foliar applications were performed at seven-day intervals and mature fruit quality parameters, particularly color attributes (lightness, hue angle and chroma), and firmness were determined. Foliar addition of Ca increased the value of hue angle; while foliar supply of Si increased the chroma and firmness of the fruit.

8 Introducción

La degradación de las tierras irrigadas por causa de la salinización y sodificación se vuelven aspectos determinantes para la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria. Dentro de los procesos de salinización, la sodificación ha recibido menos atención y a su vez es un proceso poco comprendido en el desarrollo de suelos salinos (Pla, 2014). Cerca del 30% de la superficie bajo riego del planeta presenta problemas de salinidad en diferentes grados (Aceves, 2011).

La acumulación de sodio y la salinización de los suelos, en general se deben al uso de aguas de mala calidad (Pisinaras *et al.*, 2010). El estrés por sales afecta el crecimiento de las plantas en tres formas: 1) reduce el potencial de agua del suelo, provocando un estrés osmótico; 2) ocasiona un desbalance iónico en las células, especialmente concentraciones bajas de K^+ , Ca^{2+} y NO_3^- , y 3) causa toxicidad de iones Na^+ y Cl^- (Tavakkoli *et al.*, 2011). El efecto perjudicial de las sales se observa en toda la planta, provocando una disminución de la productividad o incluso hasta su muerte (Munns y Tester, 2008).

En pepino, altas concentraciones de NaCl causan deficiencias de Ca y N principalmente en hojas. La salinidad dominada por Na^+ no sólo reduce la disponibilidad de Ca^{2+} , también reduce el transporte de Ca^{2+} y su movilidad a las regiones de crecimiento (Kaya y Higgs, 2002).

Existen elementos que ayudan a mitigar los efectos negativos causados por altas concentraciones de sales, entre los más estudiados se encuentran el nitrógeno (N), calcio (Ca), potasio (K) y silicio (Si).

El Ca^{2+} es un regulador de muchos procesos fisiológicos y bioquímicos en respuesta al estrés abiótico en las plantas (Bowler y Flurh, 2000). Este elemento participa en mecanismos regulatorios en las plantas en condiciones adversas de estrés salino (Melgar *et al.*, 2007) y es un factor importante en la resistencia de las plantas a la salinidad (Mozaffari y Malakouti, 2006). El Ca^{2+} participa en la adaptación de las plantas a las sales al reducir los efectos tóxicos del NaCl, facilitando una mayor absorción de K^+ respecto al Na^+ (Dabuxilatu e Ikeda, 2005; Parida y Das, 2005).

El silicio (Si) por su parte, ha mostrado tener efectos benéficos en diversas plantas, en especial en aquellas que se encuentran sometidas a diferentes tipos de estrés, tanto abiótico como biótico (Trejo-Téllez *et al.*, 2016). Si bien, de manera general el NaCl causa efectos nocivos en tallo y raíz, en el cultivo de pepino se ha demostrado que el silicio minimiza considerablemente estos efectos. Este elemento puede estar involucrado en actividades fisiológicas o metabólicas durante la exposición de pepino a estrés salino (Zhu *et al.*, 2004). Además el silicio reduce el transporte de cloruro en la planta (Shi *et al.*, 2013) y aumenta el uso eficiente del nitrógeno (Detmann *et al.*, 2012). A pesar que el silicio es el segundo elemento más abundante en el suelo, éste es encontrado usualmente formando complejos con minerales silicatados (Zhu y Gong, 2014), que no son formas disponibles para plantas superiores. Por tanto, la aplicación de silicio puede ser una alternativa para incrementar la producción agrícola en suelos salinizados (Zhu *et al.*, 2015).

El pepino (*Cucumis sativus* L.), es una especie moderadamente sensible a la salinidad y es una hortaliza de alto potencial económico, por ser un producto de exportación; para la economía agrícola de México es importante por el ingreso de divisas y por la generación de empleos en el campo. En el año agrícola 2014 se sembraron un total de 1,008.35 y 1,950.50 hectáreas de pepino en invernadero y malla sombra respectivamente, generando a su vez un ingreso de 657,028.80 y 1,055,066.51 en miles de pesos, respectivamente (SIAP, 2015).

En el contexto anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto la aplicación foliar de Ca, Si y de ambos de manera conjunta, en algunos parámetros de calidad de fruto de pepino, establecido en un suelo sódico.

8.1 Materiales y métodos

8.1.1 Material vegetal

Se usaron semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) de la variedad Modán de la casa comercial Rijk Swaan, mismas que fueron germinadas bajo condiciones de invernadero, en charolas de poliestireno de 128 cavidades empleando turba como sustrato.

8.1.2 Trasplante

Plántulas de 28 días fueron trasplantadas en bolsas de vivero de 35 x 35 cm (10 L de capacidad aproximadamente), con suelo mezclado con agrolita en una relación 3:1 (v:v) . El suelo empleado tuvo un pH de 8.5 y una conductividad eléctrica de 0.954 dS m⁻¹.

8.1.3 Tratamientos y diseño experimental

Después del trasplante, las unidades experimentales se regaron durante todo el periodo que duró el experimento con la solución nutritiva de Steiner al 50 % de su fuerza iónica (Steiner, 1984), con pH ajustado a 5.

Los riegos fueron suministrados manualmente a cada unidad experimental con un recipiente aforado a 0.5 L. Desde el trasplante hasta la formación de los primeros frutos se proporcionaron los riegos cada tercer día, uno con 1 L de solución nutritiva y el siguiente con 1 L de agua acidulada, repitiéndose esta secuencia con la alternancia descrita. Una vez que se inició la formación de frutos hasta la finalización del experimento se regó diariamente con 0.5 L de solución nutritiva más 0.5 L de agua acidulada.

Después de 24 días del trasplante, se realizaron cinco aspersiones foliares en intervalos de 7 días de los siguientes tratamientos: 1) Testigo, consistente en la aspersión de agua destilada; 2) Calcio (Ca), a una concentración de 2 mM; 3) Silicio (Si), a una concentración de 2 mM; y 4) Ca + Si a una concentración de 2 mM de cada uno. Las fuentes empleadas de Ca y Si fueron óxido de calcio (CaO) y dióxido de silicio (SiO₂), respectivamente. A las soluciones foliares se les adicionó como surfactante Tween[®] 20 a una concentración de 0.05 %.

El pH de las soluciones foliares fue ajustado a 4 con H₂SO₄ 0.5 N. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente aleatorizado, con seis repeticiones. La unidad experimental consistió en una bolsa con una planta.

8.1.4 Variables evaluadas

En frutos maduros de pepino se determinaron los parámetros de color (luminosidad, ángulo hue y croma) y firmeza. Se obtuvieron los valores L, a y b con un colorímetro (Hunter Lab D25-PC2, Reston, Virginia, EEUU). La luminosidad corresponde al valor L, por tanto se obtuvo directamente del colorímetro. Se estimó el valor del ángulo de tono (Hue) con la fórmula: $\text{Hue } (^{\circ}) = \arctan(b/a)$ y la pureza de color con la fórmula: $\text{croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$ (Vázquez y Santiago, 2013).

Se midió la firmeza en tres posiciones: en el extremo hacia el pedúnculo, en el punto medio del fruto y en el extremo hacia la flor. La firmeza se midió con un texturómetro Chatillon (FDV- 30 Greenwich, CT 06836, EEUU), con puntal cónico de 0.7 cm de base, el cuál fue introducido 1 cm en cada una de las posiciones.

8.1.5 Análisis estadístico

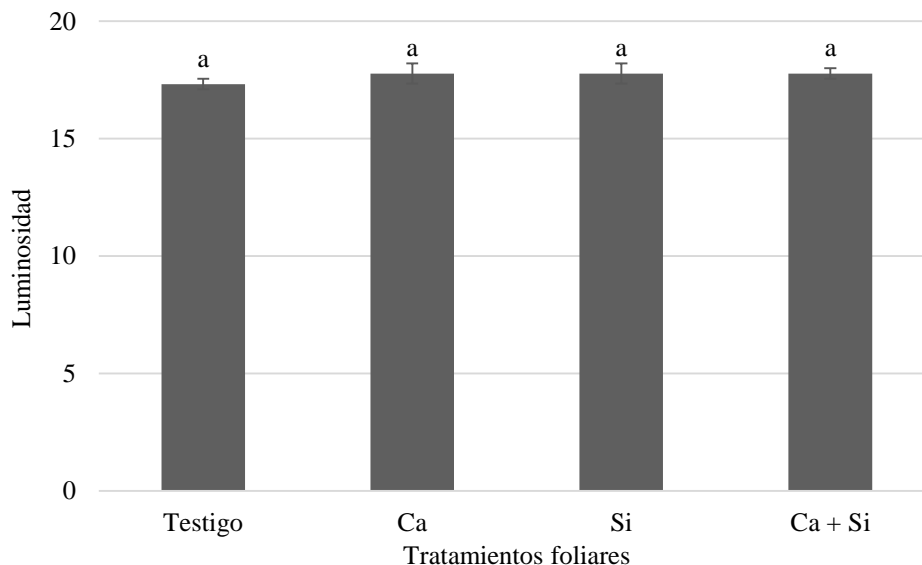
Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias con la prueba de LSD. En las pruebas estadísticas aplicadas se utilizó un nivel de significancia de $\alpha=0.05$. En estos análisis se usó el software SAS (SAS, 2011).

8.2 Resultados

8.2.1 Luminosidad de fruto

En el Gráfico 8 se presentan los resultados del parámetro luminosidad de frutos, donde se observa que no existieron diferencias estadísticas entre tratamientos con valores oscilando entre 17.3 y 17.8. A pesar de la ausencia de diferencias estadísticas, se pudo observar que el valor de luminosidad fue ligeramente mayor en los tratamientos con suministro de Ca, Si y de Ca + Si vía foliar, lo que significa que en éstos los frutos tuvieron un mayor brillo; lo que se traduce en un color verde ligeramente más fuerte y por tanto también mayor calidad (Fahmy y Nakano, 2013).

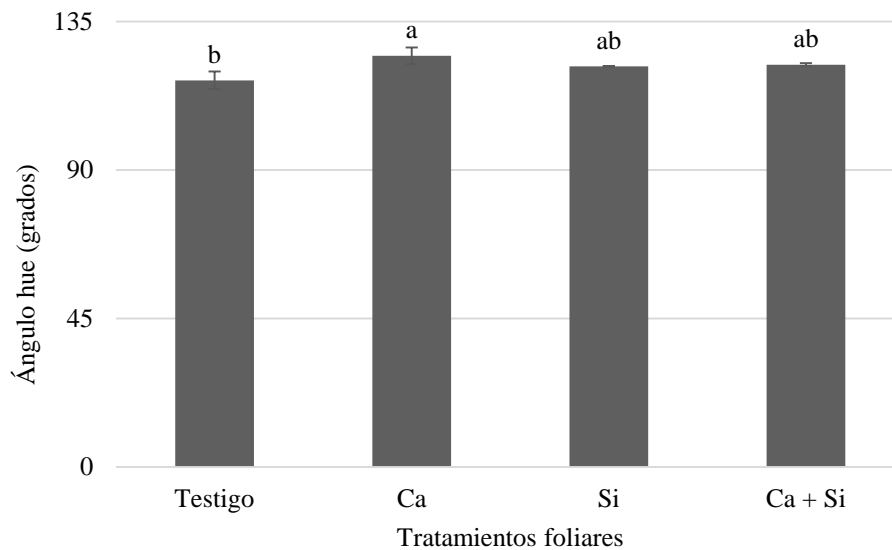
Gráfico 8 Luminosidad de frutos maduros de pepino establecidos en un suelo sódico y tratados vía foliar con Ca, Si y la combinación de ambos elementos



Medias \pm DE con letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas (LSD, $P \leq 0.05$). Testigo, consistente en la aspersión de agua destilada; Calcio (Ca), a una concentración de 2 mM; Silicio (Si), a una concentración de 2 mM; y Ca + Si a una concentración de 2 mM de cada uno.

Contrario a los resultados observados en la luminosidad del fruto, en el ángulo hue existieron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento consistente en la aplicación foliar de Ca incrementó en 6.4% el ángulo hue en comparación con el testigo (Gráfico 8.1). En otras especies como pimiento morrón se ha reportado que el ángulo hue decrece conforme se incrementa la conductividad eléctrica de la solución nutritiva (Tadesse *et al.*, 1999).

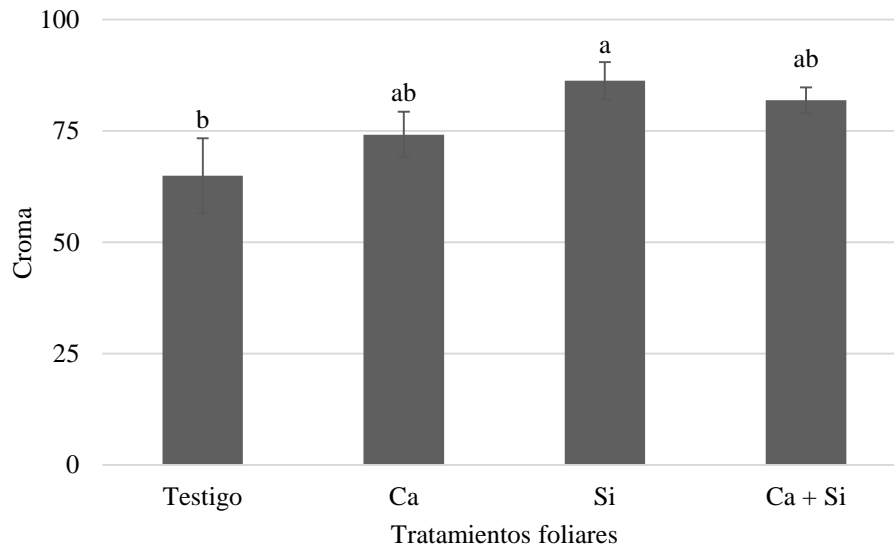
Gráfico 8.1 Ángulo hue de frutos maduros de pepino establecidos en un suelo sódico y tratados vía foliar con Ca, Si y la combinación de ambos elementos



Medias \pm DE con letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas (LSD, $P \leq 0.05$). Testigo, consistente en la aspersión de agua destilada; Calcio (Ca), a una concentración de 2 mM; Silicio (Si), a una concentración de 2 mM; y Ca + Si a una concentración de 2 mM de cada uno.

El tratamiento consistente en el suministro vía foliar de Si incrementó de manera significativa la pureza del color de frutos de pepino en comparación con el tratamiento testigo. Este incremento fue de 32.8% (Gráfico 8.2).

Gráfico 8.2 Croma (pureza del color) de frutos maduros de pepino establecidos en un suelo sódico y tratados vía foliar con Ca, Si y la combinación de ambos elementos

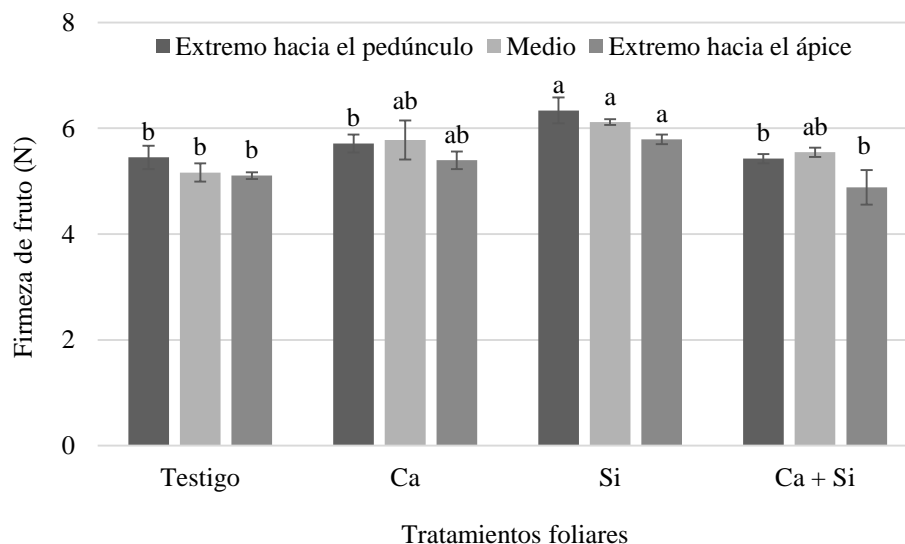


Medias \pm DE con letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas (LSD, $P \leq 0.05$). Testigo, consistente en la aspersión de agua destilada; Calcio (Ca), a una concentración de 2 mM; Silicio (Si), a una concentración de 2 mM; y Ca + Si a una concentración de 2 mM de cada uno.

8.2.2 Firmeza de frutos

De manera general se observó un decremento en la firmeza de frutos desde el extremo cercano al pedúnculo hacia el extremo cercano a la flor, independientemente de los tratamientos evaluados (Gráfico 8.3). Estos resultados son contrarios a los esperados; dado que la firmeza decrece hacia el extremo de la flor, puesto que el fruto madura desde ese extremo hacia el pedúnculo.

Gráfico 8.3 Firmeza en tres puntos de frutos maduros de pepino establecidos en un suelo sódico y tratados vía foliar con Ca, Si y la combinación de ambos elementos



Medias \pm DE con letras distintas en cada determinación, indican que existen diferencias estadísticas significativas (LSD, $P \leq 0.05$). Testigo, consistente en la aspersión de agua destilada; Calcio (Ca), a una concentración de 2 mM; Silicio (Si), a una concentración de 2 mM; y Ca + Si a una concentración de 2 mM de cada uno.

En el tratamiento testigo, la firmeza del fruto fue menor en comparación con la mayoría de los demás tratamientos probados (Gráfico 4), lo cual coincide con los hallazgos de Trajkova *et al.* (2006), quienes reportaron que la firmeza de los frutos de pepino es reducida por la salinidad y que se asocia con el incremento en el valor del pH del fruto.

En plantas asperjadas con Si, la firmeza del fruto fue estadísticamente superior al testigo. Estos incrementos fueron del orden de 16%, 7% y 13% en el extremo cercano al pedúnculo, en el punto medio y en el extremo hacia el ápice, respectivamente, en todos los casos en comparación con el testigo (Gráfico 8.3).

8.3 Conclusiones

La aplicación foliar de Ca a 2 mM en plantas de pepino establecidas en un suelo sódico incrementan el ángulo hue del fruto; mientras que, la aplicación foliar de Si a 2 mM aumentan de manera significativa el croma y la firmeza del fruto de pepino.

El Ca y el Si, cuando son suministrados de manera conjunta, causan efectos negativos.

Los resultados aquí obtenidos, permiten afirmar que la aplicación foliar de manera individual de Ca y Si, mitiga los efectos negativos que impone un suelo sódico.

8.4 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada a Gustavo Eduardo González Terán y a la LGAC Nutrición Vegetal del Postgrado en Edafología del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

8.5 Referencias

- Aceves, N. E. (2011). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego*. Segunda edición. Biblioteca Básica de Agricultura. Publicado por Colegio de Postgraduados. p. 2.
- Bowler, C. & Flurh, R. (2000). The role of calcium and activated oxygen's as signals for controlling cross-tolerance. *Trends in Plant Science*, 5, 241-246.
- Dabuxilatu, Ikeda, M. (2005). Distribution of K, Na and Cl in Root and Leaf Cells of Soybean and Cucumber Plants Grown under Salinity Conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51(7), 1053-1057.
- Detmann, K. C., Araújo, L., Martins, S. C. V., Sanglard, L. M. V. P., Reis, J. V., Detmann, E., Rodrigues, F. Á., Nunes-Nesi, A., Femie, A. R., & DaMatta, F. A. (2012). Silicon nutrition increase grain yield, which, in turn, exerts a feedforward simulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. *New Phytology*, 196, 752-762.

- Fahmy, K. & Nakano, K. (2013). Influence of relative humidity on development of chilling injury of cucumber fruits during low temperature storage. *Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture Food and Energy*, 1(1), 1-5.
- Kaya, C. & Higgs, D. (2002). Calcium nitrate as a remedy for salt-stressed cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition*, 25(4), 861-871.
- Melgar, J. C., Benlloch, M., & Fernandez-Escobar, R. (2007). Calcium starvation increase salts susceptibility to water stress. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82, 622-626.
- Mozaffari, V. & Malakouti, M. J. (2006). An investigation of some causes of die-back disorder of pistachio trees and its control through balanced fertilization in Iran. *Acta Horticulturae*, 276, 301-305.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Parida, A. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349.
- Pisinaras, V., Tsihrintzis, V. A., Petalas, C., & Ouzounis, K. (2010). Soil salinization in the agricultural lands of Rhodope District, northeastern Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 79-94.
- Pla, S. I. (2014). Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research*, 2, 50-63.
- SAS Institute Inc. (2011). SAS/STAT Users Guide. Version 9.3. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- Shi, Y., Wang, Y., Flowers, T. J., & Gong, H. (2013). Silicon decrease chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *Journal of Plant Physiology*, 170, 847-853.
- SIAP. (2015). *Producción agrícola: OI-PV (2014)*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Steiner, A. (1984). The universal nutrient solution. En *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. (pp. 633-649). The Netherlands.
- Tadesse, T., Nichols, M. A. & Fisher, K. J. (1999). Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 27, 229-237.
- Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P. & McDonald, G. K. (2011). Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2189-2203.
- Trajkova, F., Papadantonakis, N. & Savvas, D. (2006). Comparative effects of NaCl and CaCl₂ salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system. *HortScience*, 41(2), 437-441.

Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., & Alcántar-González, G. (2016). Elementos benéficos. En Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F.C. (Eds.). *Nutrición de Cultivos* (pp. 57-101). México: Colegio de Postgraduados.

Vázquez, C. M. G. & Santiago R. D. (2013). Características físicoquímicas y calidad del pozole del maíz cacahuacintle procesado mediante tres métodos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3), 357-366.

Zhu, Y. & Gong, H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 455-472. doi 10.1007/s13593-013-0194-1

Zhu, Y. X., Xu, X. B, Hu, Y. H., Han, W. H., Yin, J. L., Li, H. L. & Gong, H. J. (2015). Silicon improves salt tolerance by increasing root water uptake in *Cucumis sativus* L. *Plant Cell Reports*, 34, 1629-1646. doi 10.1007/s00299-015-1814-9

Zhu, Z., Wei, G., Li, G., Quian, Q. & Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 162, 527-533.