

Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Influence of four concentrations of Steiner solution on nutrients in soil solution and productivity in tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

Felicito Ausencio Díaz-Vázquez¹ , Marcelino Cabrera-De la Fuente¹ ,
Adalberto Benavides-Mendoza¹ , Valentín Robledo-Torres¹ ,
Antonio Juárez-Maldonado¹ , Álvaro García-León² y Alberto Sandoval-Rangel^{1*} 

¹ Doctorado en Ciencias en Agricultura Protegida, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

* Autor para correspondencia (asandovalr16@gmail.com)

² Complejo Agrícola Nuevo León Unido. El Berrendo km 171, Anahuac. 67850 Galeana, Nuevo León, México.

Editor de Sección: Dr. Pablo Preciado Rangel

RESUMEN

El desarrollo y productividad de los cultivos agrícolas está directamente relacionado con el suministro nutricional que estos reciben. La hipótesis de esta investigación es que la concentración de iones medidos en la solución del suelo, permite evaluar la eficiencia del manejo nutricional y su efecto sobre el cultivo, así, la concentración de iones está condicionada por el aporte mineral y los procesos de intercambio iónico del suelo. El objetivo de ésta investigación, fue medir el efecto de la aplicación continua de cuatro concentraciones de solución nutritiva sobre la concentración de iones en la solución del suelo y la respuesta en el cultivo de tomate bajo invernadero. El ensayo se estableció en suelo calcáreo bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, con plantas de tomate indeterminado. Los tratamientos fueron cuatro concentraciones con diferente proporción de la solución Steiner modificada para el cultivo de tomate: 1) 50, 2) 75, 3) 100 y 4) 125%, que fueron aplicadas de forma continua por fertirriego. En cada tratamiento se extrajo la solución del suelo y se midió la concentración de los iones NO_3^- , K^+ y Ca^{+2} , el pH y la conductividad eléctrica durante 18 semanas. Al mismo tiempo, se midió la respuesta en el cultivo. La concentración de la solución nutritiva, aplicada de forma constante al cultivo de tomate, presenta una relación directa con la disponibilidad de nutrientes. La solución nutritiva al 125% generó mejor crecimiento, fisiología, calidad comercial y rendimiento agronómico. El calcio fue el único elemento que se detectó en niveles suficientes en la solución del suelo a partir de una concentración de 50% en la solución nutritiva, debido a su alta disponibilidad original del suelo.



check for
updates

Cita recomendada:

Díaz-Vázquez, F. A., Cabrera-De la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., Juárez-Maldonado, A., García-León, A., & Sandoval-Rangel, A. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 41, 1-12. e1646. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1646>

Recibido: 5 de septiembre de 2022.
Aceptado: 11 de diciembre de 2022.
Artículo. Volumen 41.
Febrero de 2023.

Palabras clave: concentración de iones, solución nutritiva, productividad, variables agronómicas.

SUMMARY

The development and productivity of agricultural crops is directly related to the nutritional supply they receive. The hypothesis of this trial is that the concentration of ions measured in the soil solution allows evaluating the efficiency of the nutritional management and its effect on the crop - the concentration of ions are conditioned by the mineral supply and the ion exchange processes of the soil. Thus, the objective of the experiment is to measure the effect of the continuous application of four nutrient solution concentrations on the concentration of ions in the soil solution and the tomato crop response under greenhouse conditions. The trial was established in

calcareous soil under a complete randomized block design with three replications, with indeterminate tomato plants. The treatments were four concentrations of a Steiner solution modified for tomato cultivation: (1) 50, (2) 75, (3) 100 and (4) 125% applied continuously by fertigation. In each treatment the soil solution was extracted, and the concentration of NO_3^- , K^+ and Ca^{2+} ions, pH and electrical conductivity were measured for 18 weeks at the same time the crop response was measured. The concentration of the nutrient solution applied constantly to the tomato crop has a direct relationship with the availability of nutrients. The nutrient solution at 125% generated better growth, physiology, commercial quality and agronomic yield. Calcium was the only element that was detected in sufficient levels in the soil solution from a concentration of 50% in the nutrient solution because of its high original availability in the soil.

Index words: *ion concentration, nutrient solution, productivity, agronomic variables.*

INTRODUCCIÓN

La fertilización de los cultivos es indispensable debido a que su productividad está determinada por el manejo nutricional y la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta en el medio de cultivo. Por otro lado, el sector agrícola mundial presenta problemáticas como el incremento en el precio de fertilizantes (Bárcena-Ibarra, 2022), degradación y erosión de la superficie cultivable, bajo contenido mineral del suelo y bajos rendimientos de la cosecha (Zhang *et al.*, 2020).

En cultivos establecidos en suelo, la solución del suelo (SS) es el medio en el cual los iones esenciales se mantienen disueltos y pueden ser absorbidos por el sistema radicular (Lal, Kathpalia, Sisodia y Shakya, 2018). De esta manera, la SS es un indicador de la disponibilidad de nutrientes aportados por fertilización y los liberados del sistema coloidal del suelo (Hernández-Díaz, Chailloux, Moreno, Igarza y Ojeda, 2014). La disponibilidad de nutrientes en la SS es afectada por el tipo de suelo, profundidad del muestreo, intensidad de extracción de nutrientes del cultivo, tipo de cultivo establecido, etapa fenológica, manejo nutricional y pH de la SS, modificado por la presencia de iones de aluminio, H^+ y OH^- (Osorio, 2012; Hernández *et al.*, 2014; Narváez-Ortiz, Morales, Benavides y Reyes, 2015; Lince-Salazar, Rodríguez y Sadeghian, 2015; Llanderal, García, Contreras, Segura y Lao, 2019). El estudio de la disponibilidad de iones en la SS, permite adecuar la nutrición mineral a niveles esperados, en función del requerimiento del cultivo y la etapa fenológica. Los macronutrientes que participan en la nutrición del cultivo desempeñan funciones estructurales, de regulación o agentes redox, por lo anterior su aplicación incrementa su crecimiento, desarrollo, rendimientos, crecimiento y calidad comercial (Tripathi, Singh, Chauhan, Prasad y Dubey, 2014). Al respecto, la Ley del Mínimo propuesta por Justus Von Liebig, menciona que el rendimiento de un cultivo está determinado por el elemento nutritivo presente en menor cantidad (Mengel y Kirkby, 2000).

En la actualidad, el uso de ionómetros con tecnología ISE (*Ions Selective Electrodes*) permiten realizar un monitoreo en tiempo real *in situ* de las condiciones nutrimentales de la SS, para iones como NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} (Kim *et al.*, 2021) pH y CE. Esto permite una aproximación a las condiciones nutrimentales del suelo y la corrección de deficiencias en la disponibilidad de nutrientes mediante fertilización (Peña-Fleitas, Gallardo Padilla, Rodríguez y Thompson, 2021), generándose con esto valores de referencia de la concentración de iones en SS para condiciones de producción definidas (Hernández *et al.*, 2014).

El incremento del precio de fertilizantes y el deterioro del suelo, hace necesaria la aplicación de manejo nutrimental racional. Por ello, se necesitan estudios que permitan determinar con base en el monitoreo de nutrientes en la SS, el esquema

nutricional que genere mejor desarrollo y rendimientos del cultivo, para ello, se sugiere que diferentes concentraciones de la solución nutritiva sean evaluadas. Por lo tanto, el objetivo esta investigación, fue evaluar el efecto de cuatro niveles de solución nutritiva aplicados mediante fertirriego, sobre la concentración de nutrientes en la SS y sus repercusiones en el crecimiento, variables fisiológicas y productividad del cultivo de tomate de crecimiento indeterminado en condiciones de invernadero. La hipótesis del estudio propone que existe una asociación entre la concentración de la solución nutritiva aplicada de forma constante y la concentración de nutrientes en la SS lo que a su vez afectará el crecimiento, fisiología, calidad comercial y rendimiento en cultivo de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El estudio se realizó en un invernadero de baja tecnología, en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. El cultivo se estableció en suelo, el agua y nutrientes fueron aportados mediante fertirriego. El suelo es de tipo calcáreo, con textura franca, 3.2% de materia orgánica, punto de saturación de 43%, capacidad de campo de 22.9%, densidad aparente de 1.13 g cm^{-3} , contenido de carbonatos de 55.8%, pH de 8.07, CE de 6.93 dS m^{-1} , saturación de bases de 70.6% ($18.5 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$) Ca^{2+} , 13.9% ($3.64 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$) Mg^{2+} , 4.12% ($1.08 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$) K^{+} y 11.3% ($2.95 \text{ mEq } 100 \text{ g}^{-1}$) Na^{+} .

Material Biológico

Se emplearon plantas de tomate roma indeterminado, a doble tallo, formadas por el portainjerto Espartaco (Harris & Moran, CA, USA) y el injerto Benedetti (Enza Zaden, Enkhuizen, NL).

Siembra

El trasplante se realizó el 20 de marzo de 2021, con plantas de 45 días de edad, en camas de 16 m de largo y 1.25 m de separación, a doble hilera con distancia de 0.7 m entre plantas y 0.6 m entre hileras y una densidad de plantación de tres plantas por metro cuadrado.

Diseño Experimental y Tratamientos Evaluados

Con base en la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1961) se diseñaron y evaluaron cuatro concentraciones constantes de solución nutritiva para el cultivo de tomate: 1) 50%, 2) 75%, 3) 100% y 4) 125% (SF50, SF75, SF100 y SF125), empleando sistema de riego por goteo para su aplicación. SF100 se compuso de los macroelementos en mEq L^{-1} : NO_3 (15), H_2PO_4 (2), SO_4 (5), K (9), Ca (10), Mg (3) y de los microelementos en mg L^{-1} : Fe (1.5), Mn (0.6), Zn (0.2), B (0.5), Cu (0.15) y Mo (0.05), con un pH de 6.1 y CE de 2.53. Cada solución se evaluó en tres repeticiones, bajo un diseño de bloques completos al azar.

Disponibilidad de Nutrientes, CE y pH

Los riegos se aplicaron cuando las lecturas de tensión de humedad de un sensor de matriz granular para humedad de suelo Watermark (Irrometer Company, Inc., CA, USA) se ubicaron entre 60 a 80 centibares. Se extrajo SS de forma semanal empleando lisímetros de succión SSAT 12" (Irrometer Company, Inc., CA, USA) colocados a 35 cm

entre plantas y a 20 cm de profundidad (Hernández *et al.*, 2014). El vacío se generó a 60 kPa empleando una bomba de vacío SSAT 1002 Vacuum Pump (Irrrometer Company, Inc., Riverside, CA, EUA), 15 minutos posteriores al primer riego del día (Canales-Almendares, Borrego, Narváez, González y Benavides, 2021). El vacío se mantuvo por una hora y posteriormente, se extrajo la SS con jeringas de 40 mililitros.

Concentración de iones NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} en solución de suelo. Al momento de obtenerse la SS, se midió la concentración de NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} , empleando ionómetros (HORIBA, Kyoto, Japón) con los modelos LAQUAtwin- NO_3^- -11, K-11 y Ca-11 para NO_3^- , K^+ y Ca^{2+} respectivamente, calibrados a dos puntos (150 y 2000 mg L^{-1}), expresándose los resultados en miligramo por litros.

pH y Conductividad eléctrica (CE) de solución de suelo. Se midió el pH y CE de la SS obtenida, empleando ionómetros LAQUAtwin pH-11 y EC-11 (HORIBA, Kyoto, Japón) para pH y CE respectivamente, calibrados a dos puntos (4.0 y 7.0 para pH y 1.41- 12.9 mS cm^{-1} para CE). Los resultados se expresaron en valores de 0 a 14 para pH y dS m^{-1} para CE.

Variables Agronómicas

Diámetro de tallo principal. Mediante un vernier digital CD-8 (Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japón) se midió de forma semanal, el diámetro de los tallos a 2 cm antes de la primera bifurcación, de seis plantas por tratamiento, se analizaron los valores medios obtenidos semanalmente hasta los 160 días DDT, los resultados se expresaron en milímetros.

Longitud de los tallos superior e inferior. De forma semanal, se midieron ambos tallos de seis plantas por tratamiento, a partir de la bifurcación, se consideraron los valores medios de los datos semanales obtenidos hasta los 160 DDT. Los resultados se expresaron en centímetros.

Variables Fisiológicas

Conductancia estomática. A partir de los 75 DDT y de forma semanal, empleando porómetro Leaf Porometer SC-1 (Decagon Devices, Inc., WA, USA) bajo la técnica del estado estacionario descrita por Pask, Pietragalla, Mullan, Chávez y Reynolds (2013) se midió tres veces al día (8:00, 12:00 y 16:00 h) por 11 semanas. Los resultados se expresaron en $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de vapor de agua.

Contenido de clorofila a, b y total en hoja. A los 260 DDT y con la técnica propuesta por Munira, Hossain, Zakaria, Ahmed y Islam (2015), se obtuvieron muestras de la lámina foliar de la tercer hoja completamente desarrollada, guardándose en refrigeración mientras se colectaba el total de muestras, durante una hora a 4-5 °C, posteriormente se sometieron a ultracongelación a -80 °C por dos días. En laboratorio se pesó 1 g del material vegetal, se maceró en frío y se mezcló con 100 mL de acetona al 90% y 1 g de carbonato de magnesio como solución extractora. La mezcla se filtró a matraces cubiertos con papel aluminio empleando filtros Whatman No. 1. Se midió absorbancia del extracto obtenido a 663 y 645 nm empleando acetona al 90% como blanco.

Para el cálculo de clorofila a, b y total se emplearon las siguientes ecuaciones (Munira *et al.*, 2015):

$$\text{Clorofila a} = (12.7 \times A_{663} - 2.69 \times A_{645}) * \left(\frac{V}{1000 \times W} \right) \quad (1)$$

$$\text{Clorofila b} = (22.9 \times A_{645} - 4.68 \times A_{663}) * \left(\frac{V}{1000 \times W} \right) \quad (2)$$

$$\text{Clorofila total (a + b)} = ((8.02 \times A_{663}) + (20.20 \times A_{645})) * \left(\frac{V}{1000 \times W} \right) \quad (3)$$

Los resultados se expresaron en $\text{mg clorofila g}^{-1}$ en tejido fresco.

VARIABLES DE CALIDAD COMERCIAL Y RENDIMIENTO

Las mediciones se realizaron del primer al décimo racimo como parámetro representativo de la producción de ciclo corto del cultivo de tomate. La cosecha se efectuó en etapa 4 de madurez (Pink) presentando una tonalidad rosa o rojo en más del 30% y menos del 60% de la superficie del fruto (USDA, 1975).

Firmeza del fruto. Se evaluaron tres frutos por tratamiento y por racimo. Empleando un penetrómetro con una punta de calibre 8 mm (Qa Supplies, VA, USA), expresando los resultados en kilogramo por centímetro cuadrado.

Sólidos solubles totales. Empleando un refractómetro portátil Bx-1 (Vee Gee, IL, USA) se extrajo el jugo de tres frutos por tratamiento para cada racimo, obteniéndose los valores en grados Brix (%).

VARIABLES DE RENDIMIENTO

Número de frutos por racimo. Se calculó el promedio de frutos de cada racimo de seis tallos evaluados por tratamiento.

Peso promedio del fruto por racimo. Empleando una balanza digital SPX2202 (Ohaus, NJ, USA) se obtuvo el PPF, dividiendo el rendimiento del tratamiento por m² entre el número de frutos cosechados. El resultado se expresó en gramos por fruto.

Rendimiento por hectárea. Se estimó extrapolando los rendimientos de cada tratamiento por m² a la superficie de una hectárea. Los resultados se expresaron en Megagramo por hectárea.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron análisis de varianza ($P \leq 0.05$) bajo un modelo de bloques completos al azar y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se empleó el paquete estadístico Infostat V. 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Disponibilidad de Nutrientes, CE y pH

Los resultados en cantidad de NO₃⁻ de la SS fueron: SF125 > SF100 > SF75 > SF50 (Cuadro 1). SF125 superó los valores de la solución nutritiva para este ion (1162.08 mg L⁻¹). El NO₃⁻ no participa en el intercambio iónico del suelo, pudiendo ser absorbido por la planta (Hernández *et al.*, 2014), lixiviarse o desnitrificarse, en función del volumen de agua y oxígeno en suelo y cantidad de materia orgánica (Pacheco, Pat y Cabrera, 2002; Canales-Almendares *et al.*, 2021). Este comportamiento permite que el NO₃⁻ aportado por la solución nutritiva se mantenga disponible en la SS. Los contenidos de K⁺ en la SS fueron: SF125 > SF75 > SF100 > SF50. El tratamiento SF75 generó crecimiento inicial limitado y baja extracción del ion en etapas de desarrollo, incrementando su disponibilidad en SS, para SF50, la extracción de iones del cultivo, el desgaste del suelo y el aporte nutricional limitado generó adsorción de K⁺ en sitios vacíos con cargas negativas en la superficie de los coloides, disminuyendo su concentración en la SS. La solución SF100 produjo un crecimiento inicial acelerado y a su vez, alta demanda del ion reduciendo su disponibilidad en SS. Un aporte elevado de K⁺ (SF125) desde etapas tempranas, generó incrementos en la concentración del K⁺ en la SS a lo largo del ciclo. Se han observado mayores concentraciones de K⁺ en SS en épocas de alta temperatura y menores concentraciones en épocas en que la temperatura es óptima para el cultivo (Hernández *et al.*, 2014). El crecimiento del cultivo incrementa la absorción de nutrientes, disminuyendo la concentración de iones en la SS, siendo más observable en etapa de formación y llenado del fruto (Lao, Jiménez, Eymar y Fernández, 2004; Narváez-Ortiz *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Valores medios para la disponibilidad de NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ y CE en la solución de suelo cultivado con tomate de tipo indeterminado, de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey (P ≤ 0.05).**Table 1. Mean values for NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ and EC availability in the soil solution grown with indeterminate type tomato, according to Tukey's mean comparison test (P ≤ 0.05).**

Tratamientos	Concentración de iones y CE en solución del suelo			
	NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	CE
	----- mg L ⁻¹ -----			dS m ⁻¹
SF50%	385.46±12.00 c	155.41±12.55 b	264.59±54.13 b	1.93±0.17 b
SF75%	564.41±60.49 bc	273.31±59.85 ab	274.26±9.37 b	2.33±0.02 b
SF100%	823.70±154.54 b	249.35±26.82 ab	316.22±28.56 ab	2.35±0.13 b
SF125%	1314.63±243.51 a [†]	334.26±39.96 a	433.71±55.49 a	3.08±0.41 a
Media	772.05	253.08	322.2	2.42
Tukey (P ≤ 0.05)	392.93	120.54	121.19	0.64

[†] Medias con letras distintas en la misma columna refieren diferencias significativas, de acuerdo a la prueba de Tukey (P ≤ 0.05). NO₃⁻ = nitratos; K⁺ = potasio; Ca²⁺ = calcio; CE = conductividad eléctrica; SF50% = solución nutritiva Steiner al 50%; SF75% = solución nutritiva Steiner al 75%; SF100% = solución nutritiva Steiner al 100%; SF125% = solución nutritiva Steiner al 125%.

[†] Means with different letters in the same column refer to significant differences, according to Tukey's test (P ≤ 0.05). NO₃⁻ = nitrates; K⁺ = potassium; Ca²⁺ = calcium; EC = electrical conductivity; SF50% = Steiner nutrient solution at 50%; SF75% = Steiner nutrient solution at 75%; SF100% = Steiner nutrient solution at 100%; SF125% = Steiner nutrient solution at 125%.

En relación a Ca²⁺, los resultados fueron: SF125 > SF100 > SF75 > SF50. La concentración de Ca²⁺ en SS, presentó valores superiores al aporte vía solución nutritiva (250, 200, 150 y 100 mg L⁻¹ para SF125, SF100, SF75 y SF50 respectivamente). Los valores en SF50 superaron el aporte de la solución nutritiva en SF100 (200 mg L⁻¹). El contenido de Ca²⁺ suministrado por la solución nutritiva, más el Ca²⁺ contenido en el suelo y liberado desde el complejo de cambio, incrementan su concentración en SS. Al respecto, Hernández *et al.* (2014) reportaron un efecto significativo del aporte mineral sobre la concentración del ion en la SS. Llanderal *et al.* (2019) por su parte, reportaron valores de 160 a 180 mg L⁻¹ en SS, con aporte de 110 mg L⁻¹ en la solución nutritiva, en suelo calcáreo. Los valores de pH se mantuvieron en 7.6-7.7, observándose una disminución del pH del suelo. El aporte de sulfatos en solución nutritiva disminuye el pH, por la lixiviación de calcio (Hernández, Orihuela, Pérez, Marijuan y Furet, 2003), por otro lado, la liberación de ácidos orgánicos y de H⁺ por la planta para la absorción de cationes, reduce el pH de la zona radicular (Osorio, 2012). El efecto regulador del pH del suelo, permite que los H⁺ sean intercambiados por cationes adsorbidos en los coloides del suelo (Mengel y Kirkby, 2000). La variación en el pH del suelo a los observados en SS se atribuye a la lixiviación de iones base como Na⁺ y Ca²⁺, al aporte de sulfatos y pH de solución nutritiva y la absorción de cationes de la planta.

La disponibilidad de K⁺ y Ca²⁺ en la SS, son estadísticamente similares para SF50, SF75 y SF100, incidiendo en la CE para estos tratamientos, con SF125, el aporte iónico de la solución nutritiva y el suelo incrementaron la CE. La CE es modificada por la cantidad de cationes y aniones aportados por fertilizantes solubles, suelo y agua, generando un incremento proporcional a la concentración de la solución nutritiva (Lao, Jiménez, Eymar, Fernández y Jiménez, 2003).

Variables de Crecimiento

A 160 DDT, DTP generó estos resultados: SF125 > SF100 > SF75 > SF50 (Cuadro 2). Para LTI y LTS, se observó que en algunos casos la disponibilidad de nutrientes favoreció una mejor altura en TS y en otros casos en TI, así, para SF125, TS > TI en 2.18%, para SF100, TI > TS en 1.70%, con SF75, TS > TI en 3.32% y con SF50, TI > TS en 5.00%. (Cuadro 4). El uso de cubiertas plásticas en agricultura protegida,

limita la radiación fotosintéticamente activa, incentivando el crecimiento de las plantas por fototropismo (Zermeño-González, Kau, Munguía, Ramírez y Cadena, 2021). Por otro lado, se sugiere un efecto del genotipo sobre los valores de estas variables (Álvarez-Hernández, 2012) sin embargo, en el presente experimento se estableció un mismo genotipo y los resultados se atribuyen a la disponibilidad de nutrientes. De esta manera, la disponibilidad de NO_3^- en la SS como precursor de aminoácidos y proteínas estructurales y Ca^{2+} como formador estructural de la pared celular, un déficit de elementos como P, Fe y Mg, generan una disminución en la síntesis de clorofila, ATP y ADP requeridos para el desarrollo de la planta.

Variabes Fisiológicas

Los valores más altos para conductancia estomática (CEst) (Cuadro 3) en todos los tratamientos se registraron a las 12:00 h (CEst²). Los valores medios en el muestreo de las 8:00 h (CEst¹) y los valores más bajos en el muestreo de las 16:00 h (CEst³). La temperatura alcanza su máximo entre las 12:00 y 14:00 h, lo que incrementa la actividad estomática. Deficiencias nutrimentales y fertilización limitada en tomate, provocan disminución de la CEst relacionada con la concentración de citoquinina (Glanz-Ilan y Wolf, 2020) Del mismo modo, Dell'Amico y Morales (2017) encontraron una reducción de la CEst en plantas con disponibilidad limitada de K^+ , de 0.36 meq 100 g⁻¹ de suelo, reportando valores máximos a las 11:00 h de 308, 93, 102 y 151 mmol m⁻² s⁻¹ a los 36, 49, 63 y 77 DDT. La disponibilidad de K^+ en la solución nutritiva, su disponibilidad en la SS y su absorción y acumulación en el tejido vegetal es vital debido a la participación de este ion en la apertura y cierre estomático y tolerancia al estrés hídrico (Xue et al., 2021; Gao, Liang, Fu, Si y Hamani, 2022) modificando el potencial hídrico de la célula guarda, haciendo que absorba o libere agua (Lal et al., 2018).

La cuantificación de clorofila "a" (Cl A), "b" (Cl B) y total (Cl T), encontró los valores en SF125 > SF100 > SF75 > SF50. El contenido de Cl A fue de 80.82 - 75.28% mayor al contenido de Cl B. Estos valores difieren con lo encontrado por Francesca et al. (2020) quienes reportaron rangos de 1.08 a 1.40 mg g⁻¹ de Cl A y 37.29 a 59.47 mg g⁻¹

Cuadro 2. Valores medios de las variables de crecimiento de plantas de tomate cultivado en suelo, como efecto de la aplicación de cuatro concentraciones de la solución nutritiva.

Table 2. Mean values of growth variables of tomato plants grown in soil, as an effect of the application of four concentrations of the nutrient solution.

Tratamiento	Variables de crecimiento		
	DTP	LTI	LTS
	mm	cm	cm
SF50%	18.58±0.77 b	399.61±23.89 b	379.61±28.05 b
SF75%	19.54±0.29 a	421.61±32.95 ab	436.11±11.21 a
SF100%	19.68±0.34 a	446.89±3.22 ab	439.28±9.89 a
SF125%	20±0.25 a	451.99±7.20 a [†]	462.07±15.73 a
Media	19.45	430.03	429.27
Tukey ($P \leq 0.05$)	0.73	51.74	43.91

[†] Medias con letras distintas en la misma columna refieren diferencias significativas, de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DTP = diámetro de tallo principal; LTI = longitud de tallo inferior; LTS = longitud de tallo superior; SF50% = solución nutritiva Steiner al 50%; SF75% = solución nutritiva Steiner al 75%; SF100% = solución nutritiva Steiner al 100%; SF125% = solución nutritiva Steiner al 125%.

[†] Means with different letters in the same column refer to significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). DTP = main stem diameter; LTI = lower stem length; LTS = upper stem length; SF50% = Steiner nutrient solution at 50%; SF75% = Steiner nutrient solution at 75%; SF100% = Steiner nutrient solution at 100%; SF125% = Steiner nutrient solution at 125%.

Cuadro 3. Valores promedio de la variable conductancia estomática y contenida de clorofila "a", "b" y total en tejido fresco, como efecto de la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva por fertirriego.
Table 3. Average values of the variable stomatal conductance and chlorophyll "a", "b" and total chlorophyll content in fresh tissue, as an effect of the application of four concentrations of nutrient solution by fertigation.

Tratamiento	Variables fisiológicas					
	CEst ¹	CEst ²	CEst ³	Cl A	Cl B	Cl T
	mmol m ⁻² s ⁻¹			mg g ⁻¹		
SF50%	391.52±29.60 c	432.04±12.00 c	336.1±16.15 d	0.73±0.05 c	0.14±0.02 c	0.88±0.08 c
SF75%	443.24±34.37 b	509.56±17.71 b	377.73±26.37 c	0.82±0.01 b	0.18±0.01 b	1.01±0.02 ab
SF100%	477.26±41.88 b	556.13±20.10 b	418.97±19.87 b	0.86±0.02 ab	0.2±0.01 b	1.05±0.02 b
SF125%	524.74±63.59 a	624.16±19.00 a	483.31±25.31 a [†]	0.89±0.01 a	0.22±0.01 a	1.11±0.02 a
Media	459.19	530.47	404.03	0.83	0.19	1.01
Tukey (P ≤ 0.05)	45.85	47.91	32.71	0.06	0.03	0.09

[†] Medias con letras distintas en la misma columna refieren diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05). CEst¹ = conductancia estomática momento 1; CEst² = conductancia estomática momento 2; CEst³ = conductancia estomática momento 3; Cl A = clorofila "a"; Cl B = clorofila "b"; Cl T = clorofila total; SF50% = Steiner nutrient solution at 50%; SF75% = Steiner nutrient solution at 75%; SF100% = Steiner nutrient solution at 100%; SF125% = Steiner nutrient solution at 125%.

[†] Means with different letters in the same column refer to significant differences, according to Tukey's test (P ≤ 0.05). CEst¹ = stomatal conductance moment 1; CEst² = stomatal conductance moment 2; CEst³ = stomatal conductance moment 3; Cl A = chlorophyll "a"; Cl B = chlorophyll "b"; Cl T = total chlorophyll; SF50% = Steiner nutrient solution at 50%; SF75% = Steiner nutrient solution at 75%; SF100% = Steiner nutrient solution at 100%; SF125% = Steiner nutrient solution at 125%.

de Cl B en tejido fresco en plantas de tomate. Se ha observado un efecto directo de la fuente de N sobre el contenido de clorofila en el cultivo de tomate (Rodríguez-Mendoza, Alcántar, Aguilar, Etchevers y Santizó, 1998). El N amoniacal como precursor de ácido glutámico ha incrementado el contenido de Cl B en tomate (Serna-Rodríguez, Castro, Colinas, Sahagún y Rodríguez, 2011) a diferencia del presente experimento donde el total de N se aportó como NO₃⁻ Rodríguez *et al.*, (1998) reportaron decrementos del contenido de clorofila en relación a la edad de la planta, lo que explica los valores bajos obtenidos a los 260 DDT en el presente experimento.

Variabes de Calidad Comercial

Para FF (Cuadro 4), los resultados fueron SF125 > SF100 = SF75 > SF50. Al respecto Bilalis *et al.* (2018) mencionan que la fertilización mineral incrementa esta variable, obteniendo valores de 4.63 kg cm⁻² con fertilización mineral y de 4.40 kg cm⁻² sin fertilización mineral. La FF está relacionada con la disponibilidad de Ca²⁺, el cual se mueve por flujo másico del agua dentro de la planta. Poca disponibilidad de agua en el suelo o la presencia de sales disueltas, medidas con la CE, limitan la absorción de Ca²⁺. Pérez-Labrada *et al.* (2019), mencionan que el estrés salino reduce los valores medios de FF por la reducción en la absorción de agua y nutrientes. Para el presente experimento, los valores de Ca²⁺ en SS satisfacen el requerimiento del cultivo y su disponibilidad es creciente en relación a la concentración de la solución nutritiva.

Para la variable SST, los resultados fueron: SN125 > SN100 > SN75 > SN50. Los valores de SF125 y SF100 concuerdan con valores para SST de 4.8 a 8.0% obtenidos por Zhang *et al.* (2020), mientras que SF75 y SF50 generaron valores más bajos. Se ha reportado un efecto positivo del estrés hídrico y la aplicación de compostas de algas marinas al suelo, sobre SST (Bilalis *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2020), lo anterior modifica el potencial osmótico y la CE, aunque los autores no reportan datos sobre esta variable. En el presente experimento la CE fue estadísticamente similar en SF100, SF75 y SF50 y no se considera un factor determinante para SST. Por otro lado, el aporte de Mg y P en la solución nutritiva y su disponibilidad en la SS incide en SST, el Mg participa en la formación de clorofila, el proceso de fotosíntesis y

Cuadro 4. Valores promedio de la variable firmeza de fruto y sólidos solubles totales, como efecto de la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva por fertirriego.
Table 4. Average values of fruit firmness and total soluble solids as an effect of the application of four concentrations of nutrient solution by fertigation.

Tratamiento	Variables de calidad comercial	
	FF	SST
	kg cm ⁻²	% °Brix
SF50%	5.33±0.13 c	4.46±0.13 d
SF75%	5.83±0.04 b	4.66±0.06 c
SF100%	6.15±0.20 b	4.85±0.11 b
SF125%	6.86±0.28 a	5.03±0.07 a
Media	6.04	4.75
Tukey ($P \leq 0.05$)	0.39	0.1

† Medias con letras distintas en la misma columna refieren diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). FF = firmeza del fruto; SST = sólidos solubles totales; SF50% = solución nutritiva Steiner al 50%; SF75% = solución nutritiva Steiner al 75%; SF100% = solución nutritiva Steiner al 100%; SF125% = solución nutritiva Steiner al 125%. † Means with different letters in the same column refer to significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). FF = fruit firmness; TSS = total soluble solids; SF50% = Steiner nutrient solution at 50%; SF75% = Steiner nutrient solution at 75%; SF100% = Steiner nutrient solution at 100%; SF125% = Steiner nutrient solution at 125%.

absorción de CO₂, por su parte, un aporte alto de fosfato inorgánico incrementa la translocación de fosfoglicerato y triosa fosfato, aumentando la síntesis de sacarosa y otros carbohidratos, considerados dentro de la variable (Mengel y Kirkby, 2000).

Variables de Rendimiento

El NFR se redujo en los tratamientos en este orden: SF125 > SF100 > SF75 > SF50 (Cuadro 5) lo cual se relaciona con la disponibilidad de microelementos participes

Cuadro 5. Valores promedio de la variable rendimiento, número de frutos por racimo y peso promedio de fruto, como efecto de la aplicación de cuatro concentraciones de solución nutritiva por fertirriego.
Table 5. Average values of the variable yield, number of fruits per bunch and average fruit weight, as an effect of the application of four concentrations of nutrient solution by fertigation.

Tratamiento	Variables de producción		
	NFR	PPF	REND
	n	g	Mg ha ⁻¹
SF50%	3.93±0.34 d	79.07±3.98 b	186.79±25.38 d
SF75%	4.52±0.30 c	82.16±3.09 ab	223.7±21.43 c
SF100%	5.13±0.47 b	80.86±1.31 ab	249.01±27.26 b
SF125%	5.85±0.18 a	84.77±3.87 a	296.78±19.69 a
Media	4.86	81.72	239.07
Tukey ($P \leq 0.05$)	0.35	4.96	12.82

† Medias con letras distintas en la misma columna refieren diferencias significativas, de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). NFR = número de frutos por racimo; PPF = peso promedio del fruto; REND = rendimiento; SF50% = solución nutritiva Steiner al 50%; SF75% = solución nutritiva Steiner al 75%; SF100% = solución nutritiva Steiner al 100%; SF125% = solución nutritiva Steiner al 125%.

† Means with different letters in the same column refer to significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). NFR = number of fruits per bunch; PPF = average fruit weight; REND = yield; SF50% = Steiner nutrient solution at 50%; SF75% = Steiner nutrient solution at 75%; SF100% = Steiner nutrient solution at 100%; SF125% = Steiner nutrient solution at 125%.

del cuajado de frutos como B y Mo (Kabata-Pendias, 2010), aportados de forma decreciente en la solución nutritiva. Para la variable PPF, se obtuvieron los resultados con SF125 > SF75 > SF100 > SF50. La disponibilidad de K⁺ en la nutrición del cultivo tiene un efecto positivo sobre esta variable (Jiménez y García-Seminario, 2017), lo que concuerda con los valores de K⁺ en la SS observados en el experimento. Respecto a REND, los resultados se ordenaron, de tal manera que SF125 > SF100 > SF75 > SF50. De esta manera, SF125 superó por 16.09, 24.62 y 37.06% a SF100, SF75 y SF50 respectivamente. Partiendo de los resultados obtenidos con SN125, se observa que la aplicación de SN100 genera un decremento de la producción de 47.77 Mg ha⁻¹, este decremento se incrementa a 73.08 Mg ha⁻¹ con SN75, mientras que con SN50 el decremento es de 109.99 Mg ha⁻¹. Estos decrementos resultan de la disminución en conjunto de los nutrientes requeridos por el cultivo, tal y como lo establece la Ley del Mínimo de Liebig (Mengel y Kirkby, 2000).

CONCLUSIONES

La aplicación continua de solución nutritiva Steiner durante todo el ciclo productivo del cultivo de tomate a concentraciones de 50, 75, 100 y 125%, genera un efecto directo sobre el incremento en la concentración de iones en la solución del suelo, lo que a su vez aumentó proporcionalmente los niveles en las variables de crecimiento, fisiológicas, calidad comercial y rendimiento. Las soluciones nutritivas al 100 y 125% fueron los tratamientos más destacados, y de estos se puede reducir el uso de la fertilización de Ca bajo un respaldo en el monitoreo de este elemento en la solución del suelo.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No Aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

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

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

Los recursos e infraestructura empleada para la realización del experimento son propiedad de la UAAAN y de la dirección de investigación de la misma universidad.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Escritura: F.A.D.V. Conceptualización: A.S.R., M.C.F., y A.B.M. Análisis formal: A.B.M., y V.R.T. Análisis de datos: A.J.M. Supervisión: A.S.R., y A.G.L.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la Dirección de Investigación de la UAAAN y al CONACYT por los auspicios para llevar a cabo el experimento.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Hernández, J. C. (2012). Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. *Acta Agronomica* 61(2), 117-125.
- Bárcena-Ibarra, A. (2022). *Efectos económicos y financieros en América Latina y el Caribe del conflicto entre la Federación de Rusia y Ucrania*. Santiago, Chile: CEPAL.
- Bilalis, D., Krokida, M., Roussis, I., Papastylianou, P., Travlos, I., Cheimona, N., & Dede, A. (2018). Effects of organic and inorganic fertilization on yield and quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Folia Horticulturae*, 30(2), 321-332. <http://doi.org/10.2478/forth-2018-0027>
- Canales-Almendares, J. E., Borrego-Escalante, F., Narváez-Ortiz, W. A., González-Morales, S., & Benavides-Mendoza, A. (2021). Impacto de diferentes fertilizantes en la solución del suelo y el crecimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26, 105-117. <http://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2941>
- Dell'Amico-Rodríguez, J. M., & Morales-Guevara, D. M. (2017). Stomatal conductance behavior of two Cuban tomato varieties in field conditions and limited irrigation. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 137-144.
- Di Rienzo, J. A., Balzarini, M. G., González, L., Casanoves, F., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat. Manual del Usuario*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Francesca, S., Arena, C., Hay-Mele, B., Schettini, C., Ambrosino, P., Barone, A., & Rigano, M. M. (2020). The use of a plant-based biostimulant improves plant performances and fruit quality in tomato plants grown at elevated temperatures. *Agronomy*, 10(3), 1-14. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030363>
- Gao, Y., Liang, Y., Fu, Y., Si, Z., & Hamani, A. K. M. (2022). Interactive Effects of Intraspecific competition and drought on stomatal conductance and hormone concentrations in different tomato genotypes. *Horticulturae*, 8(1), 1-15. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010045>
- Glanz-Idan, N., & Wolf, S. (2020). Upregulation of photosynthesis in mineral nutrition-deficient tomato plants by reduced source-to-sink ratio. *Plant Signaling and Behavior*, 15(2), 1712543. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1712543>
- Hernandez, J. C., Orihuela, D. L., Pérez-Mohedano, S., Marijuan, L., & Furet, N. R. (2003). Efecto de la modificación del pH sobre la lixiviación de cationes en columnas de suelos calizos. *Estudios de la zona no saturada del suelo*, 6, 99-104.
- Hernández-Díaz, M. I., Chailloux-Laffta, M., Moreno-Placeres, V., Igarza-Sánchez, A., & Ojeda-Veloz, A. (2014). Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate. *Idesia*, 32(2), 79-88. <http://doi.org/10.4067/S0718-34292014000200011>
- Jiménez, B., & García-Seminario, R. (2017). Influencia del potasio en el rendimiento y calidad del fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Manglar*, 14(2), 125-131. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2017.016>
- Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants*. (4th ed.). Boca Raton, FL, USA: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Kim, M. Y., Lee, J. W., Park, D. J., Lee, J. Y., Myung, N. V., Kwon, S. H., & Lee, K. H. (2021). Highly stable potentiometric sensor with reduced graphene oxide aerogel as a solid contact for detection of nitrate and calcium ions. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 897(7), 15553. <http://doi.org/10.1016/j.jelechem.2021.115553>
- Lal, M., Kathpalia, R., Sisodia, R., & Shakya, R. (2018). Biotic Stress. In S. C. Bathla, & A. M. Lal. (Eds.). *Plant Physiology, Development and Metabolism* (pp. 1045-1011). New Delhi, India: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1>
- Lao, M. T., Jiménez, S., Eymar, E., Fernández, E. J., & Jiménez, R. (2003). Determination of spatial variability of nutrient composition of soil solutions in greenhouses by using suction cups. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(5-6), 865-879. <http://doi.org/10.1081/CSS-120018980>
- Lao, M., Jiménez, S., Eymar, E., & Fernández, E. (2004). Nutrient levels of the soil solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. *Phyton*, 73, 29-37.
- Lince-Salazar, L. A., Rodríguez-Valencia, N., & Sadeghian-Khalajabadi, S. (2015). Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 1-14. <http://doi.org/10.22490/21456453.1261>
- Llandal, A., García-Caparrós, P., Contreras, J. I., Segura, M. L., & Lao, M. T. (2019). Spatio-temporal variations in nutrient concentration in soil solution under greenhouse tomato. *Journal of Plant Nutrition* 42(8), 842-852. <http://doi.org/10.1080/01904167.2019.1584219>
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal*. Basilea, Suiza: Instituto Internacional de la Potasa.
- Munira, S., Hossain, M. M., Zakaria, M., Ahmed, J. U., & Islam, M. M. (2015). Evaluation of Potato Varieties against Salinity Stress in Bangladesh. *International Journal of Plant & Soil Science*, 6(2), 73-81. <http://doi.org/10.9734/ijpss/2015/15879>
- Narváez-Ortiz, W. A., Morales-Díaz, A. B., Benavides-Mendoza, A., & Reyes-Valdés, M. H. (2015). Dinámica de la composición de la solución del suelo en cultivos del occidente de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12, 1-15. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i12.769>
- Osorio, N. (2012). pH del Suelo y disponibilidad de Nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 4-7.
- Pacheco-Ávila, J., Pat-Canul, R., & Cabrera-Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73-81.

- Pask, A., Pietragalla, J., Mullan, D. M., Chávez-Dulanto, P. N., & Reynolds, M. P. (2013). *Fitomejoramiento fisiológico II: Una guía de campo para la caracterización fenotípica del trigo*. Distrito Federal, México: CIMMYT.
- Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., Padilla, F. M., Rodríguez, A., & Thompson, R. B. (2021). Use of a portable rapid analysis system to measure nitrate concentration of nutrient and soil solution, and plant sap in greenhouse vegetable production. *Agronomy*, 11(5). 1-21. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050819>
- Pérez-Labrada, F., López-Vargas, E. R., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., & Juárez-Maldonado, A. (2019). Responses of tomato plants under saline stress to foliar application of copper nanoparticles. *Plants*, 8(6), 1-17. <https://doi.org/10.3390/plants8060151>
- Rodríguez-Mendoza, M. N., Alcántar-González, G., Aguilar-Santelises, A., Etchevers-Barra, J. D., & Santizó-Rincón, J. A. (1998). Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila. *Terra Latinoamericana*, 16(2), 135-141.
- Serna-Rodríguez, J. R., Castro-Brindis, R., Colinas-León, M. T., Sahagún-Castellanos, J., & Rodríguez-Pérez, J. E. (2011). Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1), 9-13.
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Chauhan, D. K., Prasad, S. M., & Dubey, N. K. (2014). Role of Macronutrients in Plant Growth and Acclimation: Recent advances and future prospective. In: P. Ahmad, R. M. Wani, M. M. Azoos, & L. S. P. Tran (Eds.). *Improvement of crops in the era of climatic changes* (pp. 197-216). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8830-9>
- USDA (United States Department of Agriculture). (1975). *Color classification requirements in United States standards for grades of fresh tomatoes*. Washington, DC, USA: USDA
- Xue, F., Liu, W., Cao, H., Song, L., Ji, S., Tong, L., & Ding, R. (2021). Stomatal conductance of tomato leaves is regulated by both abscisic acid and leaf water potential under combined water and salt stress. *Physiologia Plantarum*, 172(4), 2070-2078. <https://doi.org/10.1111/ppl.13441>
- Zermeño-González, A., Kau-Pérez, P. O., Munguía-López, J. P., Ramírez-Rodríguez, H., & Cadena-Zapata, M. (2021). Comparación de cubiertas de invernaderos en relación con crecimiento y rendimiento de tomate. *Agrociencia*, 55(6), 523-538. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i6.2557>
- Zhang, C., Li, X., Yan, H., Ullah, I., Zuo, Z., Li, L., & Yu, J. (2020). Effects of irrigation quantity and biochar on soil physical properties, growth characteristics, yield and quality of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, 241(10), 106263. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106263>