



Terra Latinoamericana

ISSN: 2395-8030

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

Luna-Fletes, Jonás Alán; Cruz-Crespo, Elia; Can-Chulim, Álvaro
Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry
Terra Latinoamericana, vol. 39, e781, 2021, Enero-Diciembre
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57366066025>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry

Pumice, tezontle and nutritive solutions in cherry tomato crop

Jonás Alán Luna-Fletes¹ , Elia Cruz-Crespo^{2*}  y Álvaro Can-Chulim^{2*} 

¹ Estudiante del Posgrado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias. ² Unidad Académica de Agricultura / Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic – Compostela km 9. 63780 Xalisco, Nayarit, México.

* Autores para correspondencia (ccruz2006@yahoo.com.mx; canchulim@yahoo.com.mx)

RESUMEN

El uso de sustratos minerales locales de bajo costo y soluciones nutritivas con la composición química adecuada pueden ser la alternativa para maximizar el potencial de producción de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.). El objetivo del presente estudio fue evaluar sustratos de la zona de Nayarit en combinación con soluciones nutritivas, sobre el crecimiento, contenido nutrimental y producción de tomate cherry. La investigación se realizó en Nayarit, México. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo bifactorial, los factores fueron los sustratos piedra pómez y tezontle, y las soluciones nutritivas de Steiner y Castellanos, esto originó cuatro tratamientos con 11 repeticiones, donde una repetición fue una planta a dos tallos. Se determinaron las variables altura de planta, diámetro de tallo, área foliar, biomasa seca de parte aérea, biomasa seca de raíz, producción de fruto por planta, unidades SPAD y contenido nutrimental foliar (N, P y K). Los resultados mostraron que la solución nutritiva de Steiner incrementó la producción de fruto y también el crecimiento evaluado en altura de planta, diámetro de tallo y biomasa seca de raíz. El contenido nutrimental de N, P y K fue superior con la solución de Castellanos. En el sustrato piedra pómez la producción de fruto, crecimiento de planta y contenido nutrimental fueron más altos en relación a las plantas en tezontle. Se concluyó que el sustrato piedra pómez en combinación con la solución nutritiva de Steiner fue la más viable para tomate cherry, ya que favoreció el crecimiento de planta y producción de fruto.

Palabras clave: contenido nutrimental, *Solanum lycopersicum*, sustratos.

SUMMARY

The use of low cost local mineral substrates and nutrient solutions with the suitable chemical composition may be the alternative to maximize the production potential of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.). The objective of this study was to evaluate substrates from the area of the State of Nayarit, Mexico in combination with nutritional solutions, on growth, nutritional content and cherry tomato production. The experimental design was completely randomized with two-factor arrangement. The factors were pumice and tezontle substrates and Steiner and Castellanos nutrient solutions, which originated four treatments with 11 repetitions where one of them was a plant with two stems. The variables plant height, stem diameter, leaf area, dry aerial part biomass, dry root biomass, fruit production per plant, soil plant analysis development (SPAD) units and leaf nutrient content (N, P and K) were determined. The results showed that Steiner nutritive solution increased fruit production and also growth evaluated in plant height, stem diameter and dry root biomass. The nutritional content of N, P and K was higher with Castellanos solution. In the pumice substrate, fruit production, plant growth and nutrient content were higher in relation to tezontle plants. The study concluded that pumice substrate in combination with Steiner nutritive solution was the most viable for cherry tomato, since it favored plant growth and fruit production.

Index words: nutrient content, *Solanum lycopersicum*, substrates.

Cita recomendada:

Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E. y Can-Chulim, Á. (2021). Piedra pómez, tezontle y soluciones nutritivas en el cultivo de tomate cherry. *Terra Latinoamericana* 39: 1-12. e781. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.781>

Recibido: 17 de abril de 2020. Aceptado: 10 de noviembre de 2020.
Artículo. Volumen 39, marzo de 2021.

INTRODUCCIÓN

El tomate es la hortaliza que más se cultiva y consume a nivel nacional e internacional, para el 2018 se sembraron en el mundo 4 762 457 ha⁻¹, con una producción de 182 256 458 toneladas (Mg) (FAO, 2018). En México la superficie con tomate fue de 47 372 ha en 2019 de las cuales 1369 ha fueron de tomate tipo cherry, y con incremento del 26% anual, y Sinaloa como el principal productor. Esto se asocia al valor comercial y demanda internacional superior a otros tipos de tomate (Testa *et al.*, 2014; SIAP, 2019). En México la producción de hortalizas bajo condiciones protegidas en combinación con el sistema hidropónico es un método intensivo hoy en día, que surge como una alternativa a la agricultura tradicional (Vargas-Canales *et al.*, 2018). En el cultivo hidropónico en sustratos, el manejo de este es uno de los principales factores que determinan el éxito (Alonso-López *et al.*, 2015). En México existen diversos tipos de sustratos en el mercado; no obstante, una desventaja es que la mayoría son importados de otros países, lo que implica un aumento en los costos de producción. Por esto, para el cultivo hidropónico se recomiendan los sustratos regionales dada la disponibilidad y el menor costo (Cruz-Campos *et al.*, 2016). En Nayarit se puede encontrar la piedra pómez (jal) y la roca volcánica basáltica roja o negra, comúnmente denominada tezontle. La piedra pómez se utiliza en la construcción, principalmente, pero presenta características que pueden ser favorables para la producción, tal como espacio poroso total, capacidad de aireación y capacidad de retención alta de agua, es ligero y de costo accesible (Cruz-Crespo *et al.*, 2019); sin embargo, la piedra pómez no se explota como sustrato, y los reportes al respecto son pocos. En referencia a esto se tiene la evaluación de las propiedades físicas de la piedra pómez del estado de México, Veracruz y Jalisco sobre el diámetro de tallo y rendimiento de tomate tipo saladette, donde los valores mayores se obtuvieron con la piedra pómez del estado de Veracruz (Ramírez-Gómez *et al.*, 2015). Para el tezontle se tienen reportes diversos, tal como el de Ortega-Martínez *et al.* (2016) quienes reportaron que el rendimiento de tomate saladette fue mayor en tezontle en comparación a la fibra de coco, suelo agrícola y aserrín-composta. En cambio, Vargas-Canales *et al.* (2014) encontraron que el rendimiento de tomate saladette fue superior en sustratos aserrín-tezontle en proporción 30/70 y 20/80 en comparación

al tezontle. Por su parte, Alonso-López *et al.* (2015) no encontraron diferencias para la altura de planta y rendimiento de tomate saladette cultivado en tezontle en referencia a los sustratos suelo-lombricomposta y tezontle-lombricomposta-carbón. Lo anterior, muestra la falta de investigación sobre el uso del tezontle en referencia a otros sustratos inorgánicos.

Por otra parte, para cubrir las necesidades nutrimentales de las plantas se cuenta con soluciones nutritivas diferentes, cuya formulación incluye a los elementos esenciales para crecimiento y desarrollo óptimo (Moreno-Velázquez *et al.*, 2015). Sin embargo, la absorción de nutrientes depende del genotipo de la planta, del entorno en la raíz y en la parte aérea (Gandica y Peña, 2015), y de la edad de la planta (San Martín-Hernández *et al.*, 2016). De esto se deriva que para cada región o zona es necesario evaluar las formulaciones de soluciones nutritivas con el objetivo de lograr el potencial de producción máximo. La solución nutritiva de Steiner (1984) es la más común en estudios sobre la producción de diferentes cultivos (Valdez-Sepúlveda *et al.*, 2015; López-Gómez *et al.*, 2017; Ramírez-Vargas, 2019). En particular para el cultivo de tomate tipo bola la solución nutritiva de Steiner en concentración al 50 y 100% incrementó el rendimiento de fruto en comparación a las plantas regadas con solución nutritiva al 25% (Valenzuela-López *et al.*, 2014); López-Martínez *et al.* (2016) encontraron mayor rendimiento de tomate saladette con la solución de Steiner al 100% de concentración, con respecto a las soluciones con te de composta, te de vermicomposta y lixiviado de vermicomposta. Castellanos (2009) propuso una solución nutritiva para el cultivo de tomate en general cuya formulación contiene NH_4^+ , además de P, K y SO_4^{2-} , en concentración mayor a la solución de Steiner (1984); características que pueden beneficiar el crecimiento y producción de tomate cherry. El NH_4^+ en cantidades bajas en combinación con NO_3^- incrementó el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) (Lara-Izaguirre *et al.*, 2019) y verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) (Montoya-García *et al.*, 2019). Liu *et al.* (2011) y Coutinho *et al.* (2014) encontraron que el rendimiento de tomate saladette fue mayor al aumentar la concentración de P, K y SO_4^{2-} . En relación al contenido nutrimental en el tejido por efecto del tipo de tomate Gandica y Peña (2015) encontraron extracción mayor de N, P y K en tomate saladette en comparación al tomate tipo pera. Reyes-Pérez *et al.* (2020) reportaron el contenido de

N, P y K en tomate bola y Vargas-Canales *et al.* (2014) en tomate saladette, pero actualmente no existe reporte alguno para tomate cherry. El objetivo de la presente investigación fue evaluar los sustratos tezontle y piedra pómez de la zona de Nayarit en combinación con dos soluciones nutritivas (Steiner y Castellanos), sobre el crecimiento, contenido nutrimental foliar y producción de tomate cherry en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en un invernadero tipo cenital con malla antiáfida lateral de 40 × 25 y calibre 0.009, y techo de polietileno blanco calibre 720, 20% sombra, ubicado en Xalisco, Nayarit, México. La temperatura promedio máxima y mínima fue de 34 y 19 °C respectivamente, con una radiación promedio de 459 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y humedad relativa promedio de 75%.

Se sembró semilla de tomate cherry ‘Sweet Treats’ (Sakata Seed®) en charolas de unicel, de 200 cavidades, conteniendo como sustrato peat-moss (Sunshine No. 3®, MA, EUA). Después, de acuerdo al crecimiento de la plántula, se aplicaron dos a tres riegos por día, cada riego de 600 mL/charola, con la solución nutritiva de Castellanos (2009) y Steiner (1984) al 25%, esto de acuerdo a Berrospe-Ochoa *et al.* (2012). A los 25 días después de la siembra se trasplantó una planta por maceta de polietileno negro de 35 × 35 cm con capacidad de 10 L, rellena con el sustrato correspondiente, tezontle o piedra pómez. Estos sustratos tuvieron un tamaño de partícula entre 3 a 8 mm y se les determinaron las propiedades físicas (Cuadro 1). Las macetas se acomodaron a 1.5 m entre hileras y 0.5 m entre plantas, para una densidad de plantación de 1.33 plantas m^{-2} . Cada planta se manejó a dos tallos, hasta el racimo 15.

Posterior al trasplante se inició la aplicación de las soluciones nutritivas de Steiner (1984) y Castellanos (2009), según el tratamiento, iniciando con el 50% de concentración durante los primeros 30 días, después se aplicó al 100% de concentración hasta los 180 días, esto de acuerdo a Luna-Fletes *et al.* (2018). La composición de la solución de Steiner (meq L^{-1}) al 100% fue de 12 NO_3^- , 1 H_2PO_4^- , 7 SO_4^{2-} , 7 K^+ , 9 Ca^{2+} , 4 Mg^{2+} , con conductividad eléctrica (CE) de 2.22 dS m^{-1} y pH de 6.4; la solución de Castellanos fue 12 NO_3^- , 1.5 H_2PO_4^- , 8.5 SO_4^{2-} , 8.5 K^+ , 9 Ca^{2+} , 4 Mg^{2+} , 0.5 NH_4^+ , con CE de 3.64 dS m^{-1} y pH 6.1. En la preparación de las soluciones nutritivas se consideró el análisis de agua, y los fertilizantes utilizados fueron $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KNO_3 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 y KH_2PO_4 , incluyendo NH_4NO_3 sólo para Castellanos. Los micronutrientes en ambas soluciones, se suministraron con Ultrasol micro®, con un aporte en mg L^{-1} de 3 de Fe-EDTA, 1.48 de Mn-EDTA, 0.16 de B, 0.24 de Zn-EDTA, 0.12 de Cu-EDTA y 0.08 de Mo. Se utilizó un sistema de riego por goteo, con un emisor (3 L h^{-1}) por planta, y se aplicó en promedio 1.1 L por planta en etapa vegetativa, 2.3 L por planta en floración y amarre de frutos, y 3.4 L en etapa de producción. La fracción de lixiviación fue del 20% para ambos sustratos en todas las etapas fenológicas.

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2 × 2, los factores fueron los sustratos piedra pómez (PP) y tezontle (TZE), los cuales se combinaron con las soluciones de Steiner (ST) y Castellanos (CS), esto originó cuatro tratamientos (T1: PP + ST, T2: PP + CS, T3: TZE + ST y T4: TZE + CS) con 11 repeticiones, donde una repetición fue una planta a dos tallos.

Cuadro 1. Propiedades físicas de tezontle y piedra pómez en la producción de tomate cherry ‘Sweet Treats’ en Nayarit, México.
Table 1. Physical properties of tezontle and pumice stone in cherry tomato ‘Sweet Treats’ production in Nayarit, Mexico.

Sustrato	TM	EPT	CA	RAG	AGDD	AGR	AGFD
	mm	- - - - -	- - - - -	- - - - -	%	- - - - -	- - - - -
PP	3 a 8	24.04	16.91	7.1	3.93	0.68	2.49
TZE	3 a 8	36.70	32.14	4.55	2.15	0.95	1.45

TM = tamaño de partícula; EPT = espacio poroso total; CA = capacidad de aireación; RAG = retención de agua; AGDD = agua difícilmente disponible; AGR = agua de reserva; AGFD = agua fácilmente disponible; PP = piedra pómez; TZE = tezontle.

TM = particle size; EPT = total pore space; CA = aeration capacity; RAG = water retention; AGDD = water hardly available; AGR = reserve water; AGFD = readily available water; PP = pumice stone; TZE = tezontle.

Las variables fueron: altura de planta, se midió con una cinta métrica a partir de la base del tallo a la yema apical; diámetro de tallo, se midió 10 cm arriba del nivel del sustrato con un vernier digital Truper CALDI-6MP® (Estado de México, México). Ambas variables se evaluaron a los 40, 80 y 120 días después del trasplante (ddt). A los 40 y 120 ddt se evaluaron las siguientes variables: área foliar, se cortaron las hojas de la planta y se introdujeron en un integrador de área foliar LI-COR, Li-3100® (Nebraska, EUA); biomasa seca de parte aérea, se cortó la planta a nivel de sustrato y se secaron a 60 °C durante 120 h en estufa con circulación de aire Felisa FE-294® (Jalisco, México) y después se pesó en una balanza digital A&D GX-2000® (California, EUA); biomasa seca de raíz, se eliminaron restos de sustrato y las raíces se secaron a 60 °C durante 120 h en una estufa con circulación de aire Felisa FE-294® (Jalisco, México), posteriormente se obtuvo el peso en una balanza digital A&D GX-2000® (California, EUA); producción de fruto por planta, los frutos se cosecharon desde los 55 ddt hasta los 180 ddt, los cuales se pesaron con una balanza digital TORREY EQ-5/10® (Jalisco, México). El corte de los frutos se realizó cuando presentaron coloración rosada, lo cual correspondió a un °hue de 70.34°, croma de 14.11 y luminosidad de 48.77.

Las unidades SPAD se leyeron a los 40, 80 y 120 ddt en hojas de la parte media de la planta con un equipo Minolta SPAD 502 plus®; el contenido nutrimental se determinó en hojas maduras y sanas, la cuales se secaron a 60 °C y molieron en mortero. Para las determinaciones se pesó 0.5 g de muestra para su digestión, y del extracto se obtuvo el N total por el método de Kjeldahl; la cuantificación de P se realizó por el método vanado-molibdato amarillo y se leyó en un espectrofotómetro (Labomed Spectro 23-RS®, California, EUA) y el contenido de K se leyó en un flamómetro (Cole-Parmer, 360 Flame Photometer®, Illinois, EUA), determinaciones efectuadas de acuerdo con la metodología descrita por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999).

El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de varianza, prueba de medias por Tukey ($P \leq 0.05$) y análisis de correlación de Pearson, mediante el paquete estadístico SAS versión 9 (North Carolina, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de Planta y Producción de Fruto

Se encontraron interacciones significativas y altamente significativas entre el sustrato y la solución nutritiva (Cuadro 2 y 3). La interacción PP*ST fue la que obtuvo el valor más alto para altura de planta a los 40 ddt = 124.40 cm y 80 ddt = 304.40 cm, y para el diámetro de tallo fue a los 80 ddt = 14.50 mm y 120 ddt = 15.54 mm. La biomasa seca de raíz (40 ddt = 5.85 g y 120 ddt = 17.57 g) y producción (8068.70 g planta⁻¹) se incrementó con la interacción PP*ST, en cambio, con la interacción PP*CS se obtuvo mayor área foliar (40 ddt = 483 cm² y 120 ddt = 1849.33 cm²) y biomasa seca de la parte aérea (40 ddt = 128.07 g y 120 ddt = 255.76 g). Lo anterior muestra que la interacción PP*CS estimuló más el crecimiento vegetativo que la producción de fruto. Estos resultados guardan similitud con lo que obtuvo Moncayo-Luján *et al.* (2015) quienes encontraron incremento en la altura de planta y biomasa seca aérea de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) por efecto de la interacción de sustrato arena con la solución de Steiner, y un aumento en el área foliar con la interacción arena con la solución de vermicomposta; Valenzuela-López *et al.* (2014) reportaron mayor rendimiento de fruto de tomate tipo bola con las interacciones de la solución nutritiva de Steiner al 100% con sustrato (humus de lombriz-fibra de coco en proporción 25/75, 50/50 y 75/25), esto con respecto a la interacción solución de Steiner al 25% con sustrato humus de lombriz-fibra de coco al 25/75.

Para el factor sustrato se encontraron diferencias significativas y altamente significativas. Se obtuvo que en la piedra pómez las plantas presentaron mayor valor en altura de planta (entre 2 y 3%), diámetro de tallo (entre 3 y 20%), área foliar (entre 9 y 11%), biomasa seca de parte aérea (entre 18 y 37%) y biomasa seca de raíz (27%) en relación con TZE. Con el sustrato PP la producción de fruto fue 5% mayor (333.8 g), con respecto al sustrato TZE (Cuadro 2 y 3). Lo anterior se explica en parte a las propiedades físicas de los sustratos utilizados. La piedra pómez obtuvo el menor EPT (24.04%) y CA (16.91%), pero la RAG (7.10%), el AGFD (2.49%) y AGDD (3.93%) presentaron mayor valor en relación con el TZE (Cuadro 1). Estos valores se ubican en el intervalo

que recomienda Ansorena-Miner (1994), por lo cual se aseguró disponibilidad mayor de agua y nutrientes en solución que favorecieron el crecimiento y producción de fruto en cantidad mayor, lo que concuerda con Ortega-Martínez *et al.* (2016) y Flores-Pacheco *et al.* (2017). Caso contrario con tezontle, en el cual la disponibilidad de agua fue menor, lo que pudo inhibir el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas de tomate. Otros estudios donde se comparó el tezontle con otros sustratos es el de Trejo-Téllez *et al.* (2013) quienes encontraron altura de planta y producción mayor de tulipán (*Tulipa gesneriana*) en el sustrato comercial ProMix® en comparación a las plantas cultivadas en tezontle. El ProMix® presentó valores de EPT, CA y AGFD de 93, 29 y 24%, y el tezontle 67, 50 y 3% respectivamente, por esto concluyeron que tanto la RAG y el AGFD influyeron en los resultados.

También, Cruz-Crespo *et al.* (2014) compararon el tezontle con la mezcla tezontle-lombricomposta en chile serrano (*Capsicum annuum* L.) y encontraron que, con la mezcla, el grosor del tallo incrementó

en 6% y la biomasa seca en 19%, sin embargo, los sustratos no afectaron la producción de frutos; estos resultados difieren a los encontrados en el presente trabajo de investigación. Por su parte, Ortega-Martínez *et al.* (2016) encontraron rendimiento de 25.2 kg m⁻² de tomate tipo saladette con el sustrato tezontle, en relación al suelo en maceta (19.4 kg m⁻²), fibra de coco (16.8 kg m⁻²) y aserrín-composta (22.1 kg m⁻²), donde el tezontle presentó EPT y RAG de 45 y 40%, el suelo agrícola 29 y 65%, la fibra de coco 93 y 22%, y el aserrín-composta 53 y 73%, respectivamente. Los autores argumentaron que las propiedades físicas de los materiales influyeron en los rendimientos.

Por el factor solución nutritiva también se encontraron diferencias significativas y altamente significativas. Las plantas irrigadas con la solución nutritiva ST obtuvieron mayor altura de planta (entre 3 y 4%), diámetro de tallo (entre 3 y 5%), y biomasa seca de raíz (11%), con respecto a la solución de CS; también, la producción de fruto fue mayor en 12% (899.6 g).

Cuadro 2. Altura de planta y diámetro de tallo de cultivo de tomate cherry ‘Sweet Treats’ en función de los sustratos y soluciones nutritivas.

Table 2. Plant height and stem diameter of cherry tomato cultivation ‘Sweet Treats’ crop depending on substrates and nutrient solutions.

Factor	AP	DT	AP	DT	AP	DT
	40 ddt		80 ddt		120 ddt	
	cm	mm	cm	mm	cm	mm
Sustrato	**	**	*	**	ns	**
PP	121.20 a [†]	9.45 a	299.40 a	13.77 a	340.80 a	15.36 a
TZE	117.80 b	7.59 b	293.70 b	12.82 b	339.70 a	14.74 b
Solución	ns	**	**	**	**	*
ST	119.70 a	8.65 a	301.20 a	13.67 a	347.80 a	15.26 a
CS	119.30 a	8.38 b	291.90 b	12.92 b	332.70 b	14.84 b
Interacción	**	ns	**	*	ns	**
PP*ST	124.40 a	9.58 a	304.40 a	14.50 a	345.60 a	15.54 a
PP*CS	118.00 bc	9.32 a	300.80 a	13.70 ab	333.80 b	15.19 a
TZE*ST	121.40 ab	7.73 b	298.00 a	13.84 ab	350.00 a	15.33 a
TZE*CS	114.20 c	7.45 b	283.00 b	12.94 b	331.60 b	14.15 b
CV (%)	1.99	2.20	1.58	4.01	1.04	2.78

[†] Medias con misma letra dentro de la misma columna son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); ns = no significativo; * = significancia estadística a 5%; ** = significancia estadística a 1%; AP = altura de planta; DT = diámetro de tallo; PP = piedra pómez; TZE = tezontle; ST = solución de Steiner; CS = solución de Castellanos; CV = coeficiente de variación; ddt = días después del trasplante.

[†] Means with the same letter within the same column are significantly the same, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); ns = not significant; * = statistical significance at 5%; ** = statistical significance at 1%; AP = plant height; DT = stem diameter; PP = pumice stone; TZE = tezontle; ST = Steiner's solution; CS = Castellanos solution; CV = coefficient of variation; ddt = days after transplantation.

Para las variables área foliar y biomasa seca de parte aérea, la solución nutritiva de CS fue superior entre 12 y 16%, y 16 y 36%, respectivamente (Cuadro 3). Esto se atribuyó a la composición química diferente de las soluciones nutritivas. La solución nutritiva CS suministró H_2PO_4^+ , SO_4^{2-} y K^+ en un 33, 18 y 18% más, respectivamente, con respecto a ST, además del NH_4^+ como fuente de N a las plantas. El NH_4^+ en cantidades bajas en combinación con NO_3^- estimulan el crecimiento vegetativo de diversos cultivos (Montoya-García *et al.*, 2019), esto por el sinergismo entre NO_3^- y NH_4^+ , ya que estos iones actúan como una señal que estimula u optimiza respuestas bioquímicas en las plantas tal como los procesos de síntesis de proteínas, la fotosíntesis y el aceleramiento de la división celular (Tischner, 2000).

Los resultados con la solución de CS guardan similitud con Montoya-García *et al.* (2019), dado que la altura y la biomasa seca de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) aumentó 27 y 40%, respectivamente,

con la adición de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en una relación 25/75, en contraste con las plantas tratadas con solución nutritiva que contenían sólo NH_4^+ o NO_3^- .

Es importante señalar que en la presente investigación el mayor crecimiento vegetativo no se vio reflejado en una mayor producción de fruto, tal como reportan Bialczyk *et al.* (2007), quienes demostraron que las plantas de tomate cultivadas en un medio con NH_4^+ aumentaron la acumulación de biomasa seca, pero disminuyó la producción de fruto, comparadas con las plantas que se desarrollaron en un medio con NO_3^- .

La acumulación menor de biomasa seca de raíz con la solución nutritiva de CS se atribuyó a la CE mayor en la solución de CS la cual fue de 3.64 dS m^{-1} , en comparación con la solución de ST (2.22 dS m^{-1}), lo cual inhibió el crecimiento de raíz y expresó menor biomasa seca. Esto se debe a que la raíz se convierte en órgano de reserva, acumula biomasa para generar potenciales menores al medio salino, inhibiendo su crecimiento (expansión y elongación) a causa del estrés provocado

Cuadro 3. Área foliar, acumulación de biomasa seca de parte aérea y raíz, y producción de tomate cherry ‘Sweet Treats’ en función de los sustratos y soluciones nutritivas.

Table 3. Leaf area, accumulation of dry aerial part biomass and root, and cherry tomato ‘Sweet Treats’ production according to substrates and nutrient solutions.

Factor	AF	BSP	BSR	AF	BSP	BSR	Producción de fruto
	40 ddt			120 ddt			
	cm ²	- - - - g - - - -		cm ²	- - - - g - - - -		
Sustrato	**	**	**	**	**	**	**
PP	453.16 a [†]	102.92 a	5.83 a	1759.83 a	243.75 a	17.50 a	7410.20 a
TZE	402.83 b	64.69 b	4.28 b	1608.50 b	200.17 b	12.85 b	7076.40 b
Solución	**	**	**	**	**	**	**
ST	390.50 b	65.22 b	5.35 a	1571.67 b	202.83 b	16.07 a	7693.10 a
CS	465.50 a	102.40 a	4.76 b	1796.67 a	241.10 a	14.28 b	6793.50 b
Interacción	**	**	**	**	**	**	**
PP*ST	423.33 c	77.78 b	5.85 a	1670.33 c	231.75 b	17.57 a	8068.70 a
PP*CS	483.00 a	128.07 a	5.81 a	1849.33 a	255.76 a	17.44 a	6751.60 c
TZE*ST	357.66 d	52.66 c	4.90 b	1473.00 d	173.91 c	14.71 b	7317.40 b
TZE*CS	448.00 b	76.73 b	3.66 c	1744.00 b	226.43 b	10.99 c	6835.20 c
CV (%)	1.75	1.23	5.73	1.34	1.85	5.72	5.13

[†] Medias con misma letra dentro de la misma columna son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); ** = significancia estadística a 1%; AF = área foliar; BSP = biomasa seca de parte aérea; BSR = biomasa seca de raíz; PP = piedra pómez; TZE = tezontle; ST = solución de Steiner; CS = solución de Castellanos; CV = coeficiente de variación.

[†] Means with the same letter within the same column are significantly the same, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); ** = statistical significance at 1%; AF = leaf area; BSP = dry aerial part biomass; BSR = dry root biomass; PP = pumice stone; TZE = tezontle; ST = Steiner's solution; CS = Castellanos solution; CV = coefficient of variation.

por la salinidad (Can-Chulim *et al.*, 2014; Saldaña *et al.*, 2017). Resultados similares fueron obtenidos por Can-Chulim *et al.* (2014) en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), quienes encontraron que la biomasa de raíz disminuyó a mayor concentración salina. Otro factor que pudo contribuir a estos resultados es el NH_4^+ en la solución de CS, ya que las plantas desarrollan raíces más delgadas y menos densas cuando se utiliza el NH_4^+ como fuente de N, probablemente por la acidificación del medio relacionado con la constante absorción de cationes, como el NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Bloom *et al.*, 2003).

Por otra parte, se detectaron correlaciones entre las diferentes variables de crecimiento y producción de fruto (Cuadro 4), donde la altura de planta presentó correlación negativa con área foliar ($r = -0.87^{**}$) y biomasa seca de parte aérea ($r = -0.69^*$), en cambio el diámetro de tallo presentó correlación positiva con la biomasa seca de raíz ($r = 0.74^{**}$); el área foliar con la biomasa seca de parte aérea ($r = 0.95^{**}$). La producción de fruto presentó correlación positiva con altura de planta y biomasa seca de raíz ($r = 0.67^*$ y 0.61^*). Estos resultados difieren con los reportados por Partida-Ruvalcaba *et al.* (2007) quienes encontraron correlaciones positivas en el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum*) entre la biomasa seca de parte aérea con las variables biomasa fresca de

raíz ($r = 0.93^*$), biomasa seca de raíz ($r = 0.83^{**}$) y biomasa fresca de la parte aérea ($r = 0.93^{**}$), mientras que Hernández-González *et al.* (2014) en un estudio en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*), reportaron correlaciones positivas entre la variable altura de planta con el diámetro de tallo ($r = 0.59^{**}$) y el número de hojas ($r = 0.94^{**}$).

Unidades SPAD y Contenido Nutrimental

Se encontraron interacciones significativas para el contenido nutrimental, mientras que las unidades SPAD se explicaron sólo en función de cada factor estudiado (Cuadro 5). La interacción PP*CS obtuvo mayor N total, P y K con 25.04, 5.08 y 51.50 g kg⁻¹, respectivamente. El contenido menor de P se encontró con la interacción PP*ST (3.39 g kg⁻¹) y de K con TZE*ST (47.56 g kg⁻¹). Esto guardo similitud con el reporte de Cruz-Crespo *et al.* (2012) en tomate bola en donde se observó incremento en el contenido de P por la interacción del sustrato tezontle-vermicomposta con la solución nutritiva de Steiner al 100%. En cambio, Cruz-Crespo *et al.* (2014) no encontraron cambios en el contenido de N, P y K en hojas de chile serrano por la interacción sustrato (tezontle o tezontle-lombricomposta) con solución nutritiva de Steiner (25, 50 o 75%).

Cuadro 4. Correlaciones entre las diferentes variables evaluadas en el cultivo de tomate cherry ‘Sweet Treats’.
Table 4. Correlations among the different variables evaluated in ‘Sweet Treats’ cherry tomato crop.

Variable	AP	DT	AF	BSP	BSR	PFP	SPAD	N	P	K
AP	1.00	0.13	-0.87**	-0.69*	0.22	0.67*	-0.83**	-0.41	-0.75**	-0.38
DT		1.00	0.04	0.16	0.74**	0.48	-0.28	0.58*	0.22	0.48
AF			1.00	0.95**	0.14	-0.39	0.61*	0.60*	0.88**	0.66
BSP				1.00	0.32	-0.16	0.40	0.62*	0.82**	0.76**
BSR					1.00	0.61*	-0.38	0.63*	0.32	0.67*
PFP						1.00	-0.90**	-0.13	-0.45	0.001
SPAD							1.00	0.32	0.67*	0.29
N								1.00	0.84	0.85**
P									1.00	0.81**
K										1.00

* = significancia estadística a 5%; ** = significancia estadística a 1%; AP = altura de planta; DT = diámetro de tallo; AF = área foliar; BSP = biomasa seca de parte aérea; BSR = biomasa seca de raíz; PFP = producción de frutos/planta.

* = statistical significance at 5%; ** = statistical significance at 1%; AP = plant height; DT = stem diameter; AF = leaf area; BSP = dry aerial part biomass; BSR = dry root biomass; PFP = fruit/plant production.

Cuadro 5. Unidades SPAD y contenido de macronutrientes en hojas de tomate cherry ‘Sweet Treats’ en función de los sustratos y soluciones nutritivas.**Table 5. Soil plant analysis development (SPAD) units and macronutrient content in ‘Sweet Treats’ cherry tomato leaves as a function of substrates and nutrient solutions.**

Factor	Unidades SPAD			Contenido nutrimental		
	40 ddt	80 ddt	120 ddt	N	P	K
	----- g kg ⁻¹ -----					
Sustrato	ns	ns	ns	**	**	**
PP	48.95 a [†]	61.63 a	58.11 a	24.21 a	4.23 a	50.48 a
TZE	49.20 a	62.18 a	57.90 a	22.95 b	3.33 b	47.72 b
Solución	**	**	**	**	**	*
ST	48.80 b	58.78 b	54.60 b	23.24 b	3.16 b	48.51 b
CS	49.35 a	65.03 a	61.41 a	23.92 a	4.40 a	49.68 a
Interacción	ns	ns	ns	**	**	*
PP*ST	48.76 b	57.80 c	54.50 b	23.39 b	3.39 c	49.45 b
PP*CS	49.13 ab	65.46 a	61.73 a	25.04 a	5.08 a	51.50 a
TZE*ST	48.83 b	59.76 bc	54.50 b	23.10 b	2.94 d	47.56 c
TZE*CS	49.56 a	64.60 ab	61.10 a	22.80 b	3.71 b	47.87 bc
CV (%)	0.51	3.28	1.02	1.24	2.73	1.29

[†] Medias con misma letra dentro de la misma columna son significativamente iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); ns = no significativo; * = significancia estadística a 5%; ** = significancia estadística a 1%; PP = piedra pómez; TZE = tezontle; ST = solución de Steiner; CS = solución de Castellanos; CV = coeficiente de variación.

[†] Means with the same letter within the same column are significantly the same, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); ns = not significant; * = statistical significance at 5%; ** = statistical significance at 1%; PP = pumice stone; TZE = tezontle; ST = Steiner's solution; CS = Castellanos solution; CV = coefficient of variation.

Por el factor sustrato no se encontró efecto en las unidades SPAD, pero si se registró incremento del N, P y K en 5, 27 y 6% respectivamente, en el sustrato PP (Cuadro 5). Esto explica parcialmente la producción de fruto más alta en este sustrato (Cuadro 3), ya que también debe considerarse las propiedades físicas de los sustratos. El tezontle por ser un material de porosidad mayor drena con mayor rapidez la solución nutritiva disminuyendo la cantidad de nutrientes en el medio de cultivo, lo cual afecta la disponibilidad de los mismos para la planta (Ortega-Martínez *et al.*, 2016). Al respecto, Raven *et al.* (1992) señalan que la nutrición óptima es fundamental para mejorar el crecimiento y producción de un cultivo, ya que algunos nutrimentos tal como el N forman parte de moléculas de clorofila, proteínas y aminoácidos, el P participa el aporte de energía y es componente de ácidos nucleicos, coenzimas y fosfolípidos, el K regula la presión osmótica y activa diferentes enzimas, el Ca es requerido como cofactor por enzimas involucradas

en la hidrólisis del ATP y fosfolípidos, y el Mg está involucrado en la transferencia de fosfatos y es constituyente de moléculas de clorofila (Taiz y Zeiger, 2002; Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Investigaciones donde se reporta el contenido nutrimental utilizando tezontle y otros sustratos son las de Vargas-Canales *et al.* (2014), quienes indicaron que el contenido de N, P y K fue igual en la biomasa de tomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en tezontle y en las mezclas tezontle-aserrín (en proporción 20/80 y 30/70). Cruz-Crespo *et al.* (2014) demostraron que el contenido de P en hojas de chile serrano (*Capsicum annuum* L.) aumentó en 13% al utilizar el tezontle más lombricomposta como medio de crecimiento, en comparación con el sustrato tezontle; sin embargo, no encontraron diferencias para el contenido de N y K. Esto lo atribuyeron a las mejores propiedades físicas que presentó el tezontle al combinarlo con lombricomposta.

Por el factor solución nutritiva se obtuvo diferencias significativa y altamente significativas. Las unidades SPAD fueron de valor mayor con la solución nutritiva CS hasta en 12.5%, también el contenido de N foliar en 3%, P en 39% y K en 2% en comparación a las plantas irrigadas con la solución nutritiva ST. Esto mostró que el cultivo de tomate tipo cherry, respondió a la diferente composición química de las soluciones nutritivas. Lin *et al.* (2010) indican que las unidades SPAD pueden ser relacionadas con el contenido de nitrógeno presente en las hojas. Por lo tanto, podemos decir que el aplicar la solución de CS ayudó en el incremento del contenido de N en la hoja y en consecuencia la actividad fotosintética fue mayor, tal como señala Hossain *et al.* (2010). También se observó que las unidades SPAD aumentaron hasta los 80 ddt, después disminuyeron (Cuadro 5), lo cual fue similar en tomate bola de acuerdo a Cruz-Crespo *et al.* (2012).

Por otra parte, Zárate-Martínez *et al.* (2018) reportaron 51.19 unidades SPAD para tomate saladette cultivado con solución Steiner al 100%, este valor fue menor en 13% en referencia a las unidades SPAD con la solución ST y en 21% en referencia a la solución de CS de la presente investigación. También, Valenzuela-López *et al.* (2014) encontraron que las unidades SPAD para tomate bola con la solución de ST, oscilaron entre 50.3 y 52.5 a los 110 ddt y entre 53.9 a 58.7 a los 150 ddt, las cuales fueron inferiores a las que se obtuvieron en el presente trabajo con la solución CS a los 80 y 120 ddt. Las unidades SPAD mostraron correlación negativa con altura de planta ($r = -0.83^{**}$) y producción de fruto ($r = -0.90^{**}$), y positiva con el área foliar ($r = 0.61^{*}$) (Cuadro 4).

El aporte mayor de fertilizantes con la solución de CS influyó en el incremento del contenido macronutricional, lo cual se reflejó sobre el crecimiento de plantas de tomate cherry. Lo anterior explica la relación entre el contenido nutrimental con las variables diámetro de tallo, área foliar, biomasa seca de planta y biomasa seca de raíz, las cuales presentaron correlación positiva ($r = 0.58$ a 0.63^{*}) con el contenido de N y con el de P ($r = 0.88^{**}$ y 0.82^{**}), mientras que el contenido de K se correlacionó ($r = 0.76^{**}$) con la biomasa seca de planta (Cuadro 4). Con relación a esto, Siddiqui *et al.* (2008) indicaron que el suministro de N, P y K incrementa el crecimiento por ser componentes de muchos compuestos metabólicos, como, proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, fotosintatos y adenosín trifosfato (ATP), los cuales juegan un papel importante

en las funciones fisiológicas (Alcántar-González *et al.*, 2007).

De acuerdo con Rippey *et al.* (2004) el valor óptimo de N en tomate bola es de 4.0 a 5.5%, si lo tomamos como referencia, dada la falta de información para tomate Cherry, el abastecimiento de N en la presente investigación se ubicó abajo del rango de suficiencia; para P el nivel de suficiencia varía de 0.3 a 1.0%, por tanto los valores de P obtenidos con la solución de ST y CS de la presente investigación se encontraron dentro del rango de suficiencia, y en el caso de K el rango de suficiencia es $\leq 4.7\%$, valores que difieren con las concentraciones de K del presente trabajo, por lo cual se considera un aporte excesivo de las soluciones nutritivas.

CONCLUSIONES

La interacción entre el sustrato piedra pómez y solución de Steiner favoreció el crecimiento de planta y producción de fruto de tomate cherry 'Sweet Treats'. Las plantas regadas con la solución de Steiner expresaron la más alta producción de fruto y, asimismo, una mayor altura de planta, diámetro de tallo y biomasa seca de raíz en comparación con la solución de Castellanos. Con las soluciones nutritivas de Steiner y Castellanos el contenido de fósforo (P) se ubicó en el rango de suficiencia, mientras que para el nitrógeno (N) total fue insuficiente y de potasio (K) fue excesiva. En el sustrato piedra pómez se obtuvo la mayor producción de fruto de tomate cherry 'Sweet Treats', el mayor crecimiento y contenido nutrimental (N, P y K) en condiciones de invernadero en Xalisco, Nayarit.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplica.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplica.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados del presente estudio están disponibles con el autor correspondiente, a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener intereses en competencia.

FONDOS

El financiamiento de presente investigación se realizó con recursos propios de los autores.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, análisis formal de datos, curación de contenidos, preparación del borrador original, revisión y edición: J.A.L.F. Conceptualización, metodología, administración del proyecto, adquisición de fondos, análisis formal de datos, curación de datos, curación de contenidos, preparación del borrador original, revisión y edición: E.C.C. Conceptualización, metodología, asesoría y supervisión de la investigación, revisión y edición: Á.C.C.

LITERATURA CITADA

- Alcántar-González, G. y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México, México.
- Alcántar-González, G., L. I. Trejo-Téllez, P. L. Fernández y M. N. Rodríguez-Mendoza. 2007. Elementos esenciales. pp. 49-91. In: G. Alcántar-González y L. I. Trejo-Téllez (eds.). Nutrición de cultivos. Mundi-Prensa. México.
- Alonso-López, A., C. J. López-Collado, I. Barois-Boullard, A. Palafox-Caballero y E. Quiñones-Monfil. 2015. Evaluación de lombricomposta y tezontle en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 6: 967-975.
- Ansorena-Miner, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. ISBN: 84-7114-481-6.
- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2003. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill. México.
- Berrospe-Ochoa, E. A., V. M. Ordaz-Chaparro, M. N. Rodríguez-Mendoza y R. Quintero-Lizaola. 2012. Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 18: 141-156.
- Bialczyk, J., Z. Lechowski, D. Dziga, and E. Mej. 2007. Fruit yield of tomato cultivated on media with bicarbonate and nitrate/ammonium as the nitrogen source. J. Plant Nutr. 1: 149-161. doi: <https://doi.org/10.1080/01904160601055202>.
- Bloom, A. J., P. A. Meyerhoff, A. R. Taylor, and T. L. Rost. 2002. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. J. Plant Growth Regul. 21: 416-431. doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0009-8>.
- Can-Chulim, Á., L. G. Ramírez-Guerrero, H. M. Ortega-Escobar, E. Cruz-Crespo, D. Flores-Román, E. I. Sánchez-Bernal, and A. Madueño-Molina. 2014. Germination and seedling growth of *Phaseolus vulgaris* L. in saline conditions. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5: 753-763.
- Castellanos, J. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, S.C. Celaya, Guanajuato, México.
- Coutinho Edson, L. M., O. J. Valdeci, E. J. da Silva, A. M. Coutinho Neto y S. Strazeio Cardoso. 2014. Nutrición, producción y calidad de frutos de tomate para procesamiento en función de la fertilización con fósforo y potasio. Agrociencia Uruguay 18: 40-46.
- Cruz-Campos, J. M., J. M. Álvarez-Suarez, M. D. J. Soria-Fregoso y B. Candelaria-Martínez. 2016. Producción de sustratos orgánicos para ornamentales a menor costo que los importados. Rev. Cienc. Téc. Agropec. 25: 44-49.
- Cruz-Crespo, E., M. Sandoval-Villa, V. H. Volke-Haller, A. Can-Chulim, and J. Sánchez-Escudero. 2012. Mixtures of substrates and nutrient solution concentration effect on growth and yield of tomato. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7: 1361-1373.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, R. Bugarín-Montoya, J. Pineda-Pineda, R. Flores-Canales, P. Juárez-López, and G. Alejo-Santiago. 2014. Leaf nutrient concentration and plant growth of chili serrano in relation to nutrient solution and substrate. Rev. Fitotec. Mex. 37: 289-295.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, J. Pineda-Pineda, D. Moreno-Velázquez, G. Aguilar-Benítez, and J. D. García-Paredes. 2019. Relationship between the physical properties of the lombricompost mixtures with tuff, pumice, and rice husk. Agrociencia 53: 1-12.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. Production of tomato crop. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (Consulta: octubre 22, 2020).
- Flores-Pacheco, J., Y. Murillo, R. Oporta, C. Flores-Pacheco y Y. Alemán. 2017. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chiltoma (*Capsicum annuum*) con sustratos inertes. Rev. Cient. FAREM-Esteli 20: 73-81. doi: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i20.3069>.
- Gandica O., H. y H. Peña. 2015. Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. Bioagro 27: 111-120.
- Hernández-González, Z., J. Sahagún-Castellanos, P. Espinosa-Robles, M. Colinas-León y J. Rodríguez-Pérez. 2014. Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado. Rev. Fitotec. Mex. 37: 41-47.
- Hossain, M., M. Musa, J. Taliband, and H. Jol. 2010. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution. Agric. Sci. 2: 49-57. doi: <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p49>.
- Lara-Izaguirre, A. Y., A. N. Rojas-Velázquez, M. J. Romero-Méndez, H. M. Ramírez-Tobías, E. Cruz-Crespo, J. A. Alcalá-Jáuregui y C. Loredó-Ostí. 2019. Crecimiento y acumulación de NO₃⁻ en lechuga hidropónica con relaciones nitrato/amonio en dos estaciones de cultivo. Rev. Fitotec. Mex. 42: 21-29.
- Lin, F. F., L. F. Qiu, J. Song Deng, Y. Y. Shi, L. S. Chen, and K. Wang. 2010. Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. Comp. Electr. Agric. 715: 560-565. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.09.006>.

- Liu, K., T. Q. Zhang, C. S. Tan, and T. Astatkie. 2011. Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium. *Agron. J.* 103: 1339-1345. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0111>.
- López-Gómez, J. D., O. G. Villegas-Torres, H. Sotelo-Nava, M. Andrade-Rodríguez, P. Juárez-López y E. Martínez Fernández. 2017. Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 8: 1747-1758. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.699>.
- López-Martínez, J. D., D. A. Vázquez-Díaz, J. R. Esparza-Rivera, J. L. García-Hernández, M. A. Castruita-Segura, and P. Preciado-Rangel. 2016. Yield and nutraceutical quality of tomato fruit produced with nutrient solutions prepared using organic materials. *Rev. Fitotec. Mex.* 39: 409-414.
- Luna-Fletes, J. A., Á. Can-Chulim, E. Cruz-Crespo, R. Bugarín-Montoya y M. G. Valdivia-Reynoso. 2018. Intensidad de raleo y soluciones nutritivas en la calidad de tomate cherry. *Rev. Fitotec. Mex.* doi: 41: 59-66. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.59-66>.
- Moncayo-Luján, M. R., V. P. Álvarez-Reyna, G. González-Cervantes, L. Salas-Pérez y J. A. Chávez-Simental. 2015. Producción orgánica de albahaca en invernadero en Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana* 33: 69-77.
- Montoya-García, C. O., V. Volke-Haller, A. Santillán-Ángeles, N. F. López-Escobar y A. Trinidad-Santos. 2019. Relación NH_4^+ / NO_3^- en la producción de biomasa y el contenido nutrimental de *Portulaca oleracea* L. *Agrociencia* 53: 521-533.
- Moreno-Velázquez, D., B. N. Hernández-Hernández, J. M. Barrios Díaz, A. Ibáñez-Martínez, W. Cruz-Romero y R. Berdeja-Arbeu. 2015. Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6: 637-643.
- Ortega-Martínez, L. D., C. Martínez-Valenzuela, J. Ocampo-Mendoza, E. Sandoval-Castro y B. Pérez-Armendáriz. 2016. Eficiencia de sustratos en el sistema hidropónico y de suelo para la producción de tomate en invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 7: 643-653.
- Partida-Ruvalcaba, L., T. Velázquez-Alcaraz, B. Acosta-Villegas, F. Ayala-Tafoya, T. Díaz-Valdez, J. Inzunza-Castro y J. Cruz-Ortega. 2007. Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 145-149.
- Ramírez-Gómez, H., M. Sandoval-Villa, J. Pineda-Pineda, G. Alcántar-González, A. Trinidad-Santos, and P. Sánchez-García. 2015. The effects of pumice characteristics on the yield and quality of tomatoes. *Wulfenia J.* 22: 365-382.
- Ramírez-Vargas, C. 2019. Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Rev. Tecnol. Marcha* 32: 107-117. doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4122>.
- Raven, P. H., R. F. Evert y S. E. Eichhorn. 1992. *Biología de las plantas*. Reverté. Barcelona, España.
- Reyes-Pérez, J., E. A. Enríquez-Acosta, M. Á. Ramírez-Arrebató, E. Zúñiga-Valenzuela, L. Lara-Capistrán y L. G. Hernández-Montiel. 2020. Efecto del quitosano sobre variables del crecimiento, rendimiento y contenido nutricional del tomate. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 11: 457-465. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2392>.
- Rippy, J. F. M., M. M. Peet, F. J. Louws, P. V. Nelson, D. B. Orr, and K. A. Sorensen. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hortscience* 2: 223-229. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.2.223>.
- Saldaña, T. M., C. A. Bejarano y S. Guaqueta. 2017. Efecto de la salinidad en el crecimiento de plantas de tomate tipo chonto. *Rev. Colombiana Cienc. Hortic.* 11: 329-342. doi: <https://dx.doi.org/10.17584/rchh.2017v11i2.7347>.
- San Martín-Hernández, C., L. I. Trejo-Téllez, F. C. Gómez-Merino, V. H. Volke-Haller, J. A. Escalante-Estrada, P. Sánchez-García, and C. Saucedo-Veloz. 2016. Nitrogen and potassium nutrition differentially affect tomato biomass and growth. *Interciencia* 41: 60-66.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera). 2019. Estadística básica. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consulta: octubre 22, 2020).
- Siddiqui, M. H., F. Mohammed, M. N. Khan, and M. M. A. Khan. 2008. Cumulative effect of soil and foliar application of nitrogen, phosphorus, and sulfur on growth, physico-biochemical parameters, yield attributes, and fatty acid composition in oil of erucic acid-free rapeseed-mustard genotypes. *J. Plant Nutr.* 31: 1284-1298. doi: <https://doi.org/10.1080/01904160802135068>.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In: International Society for Soilless Culture, ISOSC. Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. ISBN: 9789070976040.*
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant physiology*. Sinauer Associates Inc. Sunderland, MA, USA. ISBN-13: 978-0878938667.
- Testa, R., A. Trapani, F. Sgroi, and S. Tudisca. 2014. Economic sustainability of Italian greenhouse cherry tomato. *Sustainability*. 11: 7967-7981. doi: <https://doi.org/10.3390/su6117967>.
- Tischner, R. 2000. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell Environ.* 23: 1005-1024. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00595.x>.
- Trejo-Téllez, L., M. Ramírez-Martínez, F. Gómez-Merino, J. García-Alvarado, G. Baca-Castillo y O. Tejeda-Sartorius. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 5: 863-876.
- Valdez-Sepúlveda, L., S. González Morales, L. A. Valdez-Aguilar, F. Ramírez-Godina y A. Benavides-Mendoza. 2015. Efecto de la aplicación exógena de ácido benzoico y salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate, tomatillo y pimiento. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6: 2331-2343.
- Valenzuela-López, M., L. Partida-Ruvalcaba, T. Díaz-Valdés, T. Velázquez-Alcaraz, G. Bojórquez-Bojórquez y T. Enciso-Osuna. 2014. Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 5: 807-818.
- Vargas-Canales, J. M., A. M. Castillo-González, J. Pineda-Pineda, A. Ramírez-Arias, y E. Avitia-García. 2014. Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Rev. Chapingo Serie Hortic.* 1: 71-88. doi: <https://doi.org/10.5154/rchsh.2013.02.005>.

Vargas-Canales, J. M., M. I. Palacios-Rangel, J. Aguilar-Ávila, J. G. Ocampo-Ledesma, P. Kreimer, and G. Ortiz-Martínez. 2018. Technological innovation in a case of protected agriculture in Mexico. *Rev. Geogr. Agríc.* 61: 9-38. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rga.2017.61.02>.

Zárate-Martínez, W., S. González-Morales, F. Ramírez-Godina, A. Robledo-Olivo y A. Juárez-Maldonado. 2018. Efecto de los ácidos fenólicos en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) inoculadas con *Clavibacter michiganensis*. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9: 4367-4379. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.1005>.