

## Respuesta fisiológica y productiva de tomate en un sistema NTF modificado tipo carrete

### Physiological and productive response of tomato in a reel modified NFT system

Carmen Alicia Ayala-Contreras<sup>1</sup> ,  
 José Antonio González-Fuentes<sup>1\*</sup> ,  
 Alejandro Zermeño-González<sup>1</sup> ,  
 Adalberto Benavides-Mendoza<sup>1</sup> ,  
 Fidel Maximiano Peña-Ramos<sup>1</sup> ,  
 José Alfredo Hernández-Mauriri<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Horticultura, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: jagf252001@gmail.com

#### Nota científica

**Recibida:** 10 de mayo 2022  
**Aceptada:** 10 de agosto 2022

**Como citar:** Ayala-Contreras CA, González-Fuentes JA, Zermeño-González A, Benavides-Mendoza A, Peña-Ramos FM, Hernández-Mauriri JA (2022) Respuesta fisiológica y productiva de tomate en un sistema NTF modificado tipo carrete. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(2): e3361. DOI: 10.19136/era.a9n2.3361

**RESUMEN.** La producción de tomate en sistemas protegidos emplea variedades de crecimiento indeterminado para lograr una mayor productividad, conllevando a tener tallos largos en etapas avanzadas. Por ello se propone una técnica NFT modificada utilizando un carrete para enrollar el tallo y así generar raíces adventicias y un tallo productivo de 2 m, comparado con un testigo en bolsa de 20 L con sustrato (turba). El objetivo fue evaluar la respuesta fisiológica y productiva del cultivo de tomate establecido en un sistema NFT modificado tipo carrete, bajo un diseño completamente al azar. Los resultados indican que hubo diferencias significativas entre tratamientos en: variables fisiológicas, eficiencia intrínseca y cuántica, número de frutos por planta, peso del fruto, diámetro ecuatorial y rendimiento, excepto en largo y diámetro de tallo, largo de hoja, diámetro polar de fruto y crecimiento semanal. El sistema en carrete es una alternativa para la producción de tomate bajo invernadero.

**Palabras clave:** Hidroponía, rendimiento, fotosíntesis, desarrollo, *Solanum lycopersicum* L.

**ABSTRACT.** Tomato production in protected systems employs low-growing varieties, indeterminate to achieve greater productivity leading to long stems in advanced stages. For this reason, a modified NFT technique is proposed by using a reel to coil the stem that will generate adventitious roots and a productive stem of 2 meters, compared to a control in a 20 L bag of substrate (peat). The objective was to evaluate the physiological and productive response of the tomato crop established in an NFT system modified reel type, under a completely random design. The results indicate that there were significant differences between treatments such as: physiological variables, efficiency intrinsic and quantum, number of fruits per plant, fruit weight, equatorial diameter and yield except for length and diameter of stem, length of leaf, polar diameter of fruit and weekly growth. The reel system is an alternative for the production of greenhouse tomato.

**Key words:** Hydroponics, yield, photosynthesis, development, *Solanum lycopersicum* L.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la horticultura mundial, el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L) constituye uno de los rubros más dinámicos e importantes, siendo la hortaliza más cultivada en condiciones protegidas (Mundo *et al.* 2019). El cultivo de tomate en invernadero representa una alternativa conveniente ya que ofrece protección contra condiciones climáticas adversas, permite un mejor manejo general del cultivo que favorece el rendimiento y calidad de fruto (García-Sánchez *et al.* 2018). Las variedades más utilizadas en estos sistemas de producción son de hábito de crecimiento indeterminado, con densidades de siembra de 2 a 6 plantas  $m^{-2}$  y tallos de más de 7 m de longitud (Sánchez-del Castillo *et al.* 2014). La planta con tallo largo y producción de racimos implican una demanda nutricional alta y consumo de energía para el flujo de nutrientes a las zonas apicales (Mendoza-Pérez *et al.* 2018). En la producción de tomate comercial, el tamaño de los frutos en los cortes iniciales es mayor cuando los tallos son cortos (menor a 3 m) que cuando estos son largos (mayor a 7 m) (Gabriel *et al.* 2016), esto debido a una menor cantidad de agua y nutrientes disponibles para la planta en la parte apical (Arriaga-Frías *et al.* 2016).

La Nutrient Film Technique (NFT) es un sistema hidropónico que consiste en mantener en circulación una fina capa de SN en las raíces de las plantas para proveer agua y nutrientes, entre ellos el oxígeno que evite los problemas de asfixia radicular (Alipio *et al.* 2019, Rodríguez-Ortega *et al.* 2019, Zarza *et al.* 2018). Esta técnica permite mejor disponibilidad de agua en el sistema radicular de las plantas, reducir el espacio necesario para la producción e incrementar rendimiento, sin embargo, cuando se utilizan variedades de crecimiento indeterminado, para producir en estos sistemas, no se cambia la condición de tener tallos largos y su efecto en el transporte de agua y nutrientes (Pire *et al.* 2010, Rodríguez-Ortega *et al.* 2019). Es por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta fisiológica y productiva del cultivo de tomate establecido en un sistema NFT modificado tipo carrete.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el área experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. El invernadero utilizado fue de tipo túnel, con estructuras de metal y cubiertas de fibra de vidrio, sistema de enfriamiento mediante pared húmeda y extractores de ventilación automatizados, así como un calentador de gas LPG tipo bazooka marca VentDepot.

### Material vegetal y establecimiento del experimento

Se utilizaron semillas de tomate tipo saladette variedad EL CID F1 (Harris Moran) de crecimiento indeterminado. La siembra se realizó el 2 de febrero de 2021 en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando turba (peat moss) como sustrato, el trasplante se realizó el 15 de marzo de 2021, cuando las plantas presentaron una altura aproximada de 20 cm y 3 hojas verdaderas completamente desarrolladas, en cada uno de los tratamientos con base al diseño experimental completamente al azar. Las plantas se guiaron a un solo tallo, el tutoreo se realizó con hilo rafia sujeta a la parte superior de la estructura del invernadero, con una densidad de plantación de seis plantas  $m^{-2}$ . Se utilizó solución nutritiva (SN) de Steiner modificada (Tabla 1) según la etapa fenológica del cultivo. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se monitoreaban diariamente para mantener valores de 5.5 a 5.9 y 1.2 a 2.0  $dS\ m^{-1}$ , en etapa inicial y reproductiva, respectivamente. Así mismo, se registraron las temperaturas máximas, mínimas y promedio durante el experimento (marzo-noviembre 2021), así como la humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (PAR) (Tabla 2).

### Tratamientos

Los tratamientos (T) consistieron en dos sistemas de producción, T1: sistema en bolsa con sustrato (testigo) y T2: sistema NFT modificado tipo carrete. En el T1 las plantas se establecieron en bolsas de polietileno negro de 20 L de capacidad, con un medio de crecimiento compuesto por turba y per-

**Tabla 1.** Concentración de iones en la solución nutritiva de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo de tomate.

	Desarrollo vegetativo	Fructificación	Todo el ciclo	
	Macroelementos (me L <sup>-1</sup> )		Microelementos (mg L <sup>-1</sup> )	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7	12	Fe	2
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.5	1.5	Mn	0.5
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	3.5	6.5	Cu	0.03
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	Zn	0.14
Cl <sup>-</sup>	-	-	B	0.5
Ca <sup>++</sup>	6	9	Mo	0.05
K <sup>+</sup>	3.5	7		
Mg <sup>++</sup>	2	3.5		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.5	0.5		
Na <sup>+</sup>	-	-		

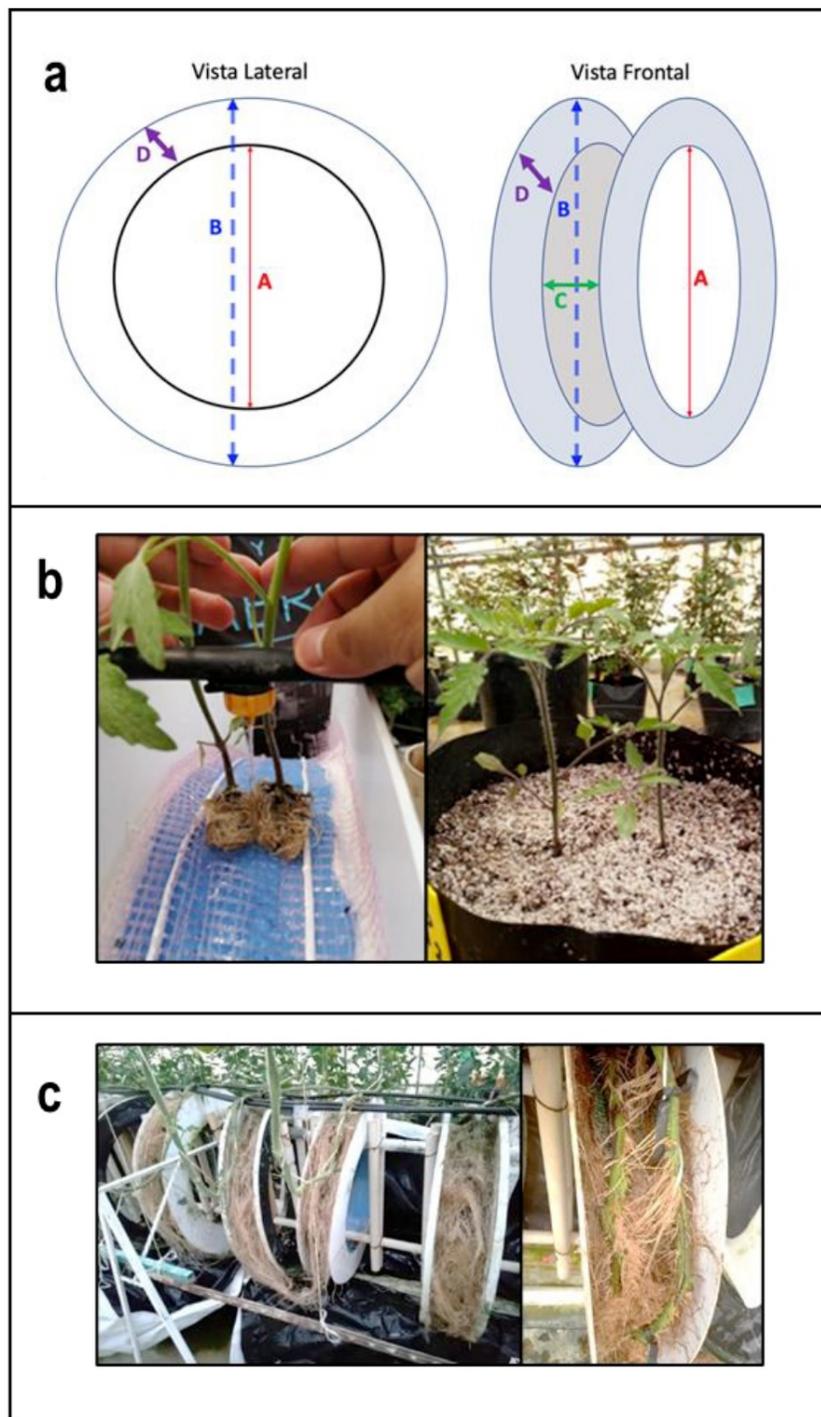
**Tabla 2.** Datos máximos, mínimos y promedios de temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (PAR) durante los meses marzo a noviembre de 2021.

Mes	PAR Light (μM m <sup>2</sup> s)			Humedad Relativa (%)			Temperatura (°C)		
	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
Marzo	425	826	24	47	85	8	24	38	9
Abril	456	888	24	52	87	16	25	38	11
Mayo	484	944	25	52	87	17	28	41	14
Junio	442	856	29	56	88	25	26	37	15
Julio	504	984	24	62	87	37	21	27	15
Agosto	621	1220	22	63	90	37	21	28	15
Septiembre	421	824	18	69	91	47	20	26	14
Octubre	341	663	20	67	92	43	18	24	12
Noviembre	295	574	17	63	91	36	16	23	10

lita en proporción de 1:4 (v/v). Se colocaron dos plantas por bolsa y se tuvieron tres bolsas m<sup>-2</sup>, para una densidad de seis plantas m<sup>-2</sup>. Se establecieron en un diseño completamente al azar con 12 repeticiones, la unidad experimental consistió en dos plantas por bolsa. Se utilizó un sistema de riego por goteo para proporcionar tres riegos diarios de SN: se aplicó 0.5 L desde el trasplante hasta inicio de floración y de 2 a 4 L desde la floración hasta la cosecha y se mantuvo siempre un drenaje promedio del 30%, siendo un sistema abierto a solución perdida.

Para el T2 los carretes se fabricaron manualmente con fibra de vidrio y lámina PVC espumado (vitrocel) para formar la ceja del carrete (Figura 1a). Los carretes se colocaron sobre estructuras de metal (caballetes) para sostenerlos verticalmente con una separación de 30 cm entre uno y otro. El trasplante de las plántulas se realizó en la parte central más alta del carrete (Figura 1b), al momento del trasplante se removió el sustrato del cepellón dejando la raíz expuesta y se utilizó una malla de plástico sobre la base del carrete para su sostén, se colocaron 2 plantas por

carrete y se tuvieron tres carretes por m<sup>2</sup> para una densidad de seis plantas m<sup>-2</sup>. Se establecieron en un diseño completamente al azar con 12 repeticiones, la unidad experimental fue de dos plantas por carrete. La SN se aplicó constante (durante todo el día) en un sistema recirculante, que consistió en una bandeja de plástico de 80 L de capacidad con una bomba eléctrica sumergible de 600 galones por hora, conectada a una manguera para riego de media pulgada de diámetro, con cuatro goteros por carrete con un gasto de 3 L h<sup>-1</sup>, para su recolección se utilizó una lámina de fibra de vidrio colocada debajo de los carretes que recirculaba la SN a la bandeja de plástico. El sistema de riego permitió aplicar la SN desde la base de las plantas todo el tiempo por ambos lados del carrete. Los carretes se cubrieron con un plástico negro para evitar la exposición de raíces a los rayos del sol. Una vez que los tallos alcanzaron más de 2 m de longitud y los frutos fueron cosechados, se inició el enrollado de los mismos en el carrete. La parte del tallo enrollado, sin hojas y frutos, generó raíces adventicias (RA) en toda la parte del tallo expuesta a la solución



**Figura 1.** a. Representación esquemática del carrete utilizado en el sistema NFT. A: diámetro interno (60cm), B: diámetro externo (86 cm), C: base (15 cm), D: profundidad (13 cm). b. Trasplante de plántulas en el sistema NFT modificado-tipo carrete y en bolsa con sustrato. c. Tallos enrollados en el carrete y producción de raíces adventicias.

nutritiva (Figura 1c). Cuando el tallo completó una vuelta en el carrete, se cortó y eliminó la raíz principal, conforme avanzaba el cultivo los cortes se realizaban en el tallo con RA, esto se realizó continuamente manteniendo siempre un tallo productivo de 2 m.

### Variables evaluadas

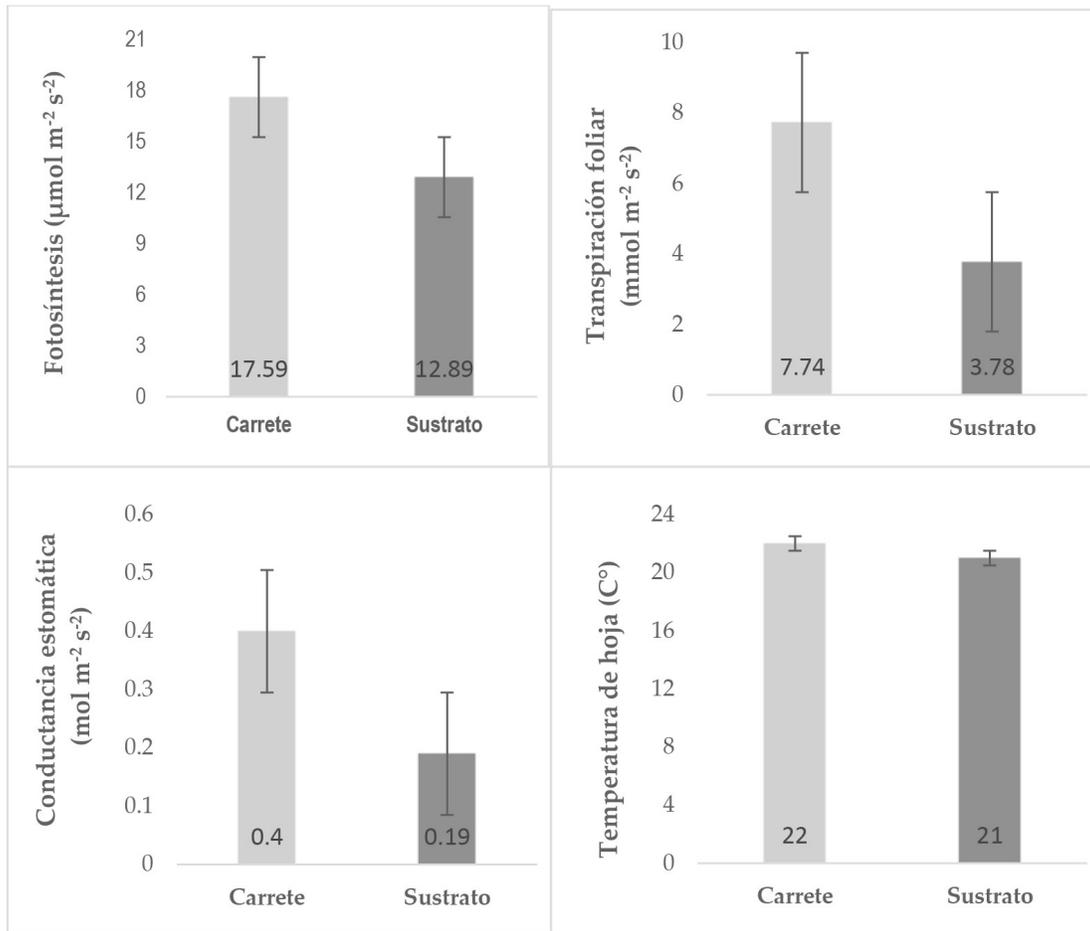
**Fisiológicas:** A los 245 DDT se midieron parámetros fisiológicos en 10 plantas: intercambio gaseoso determinando la asimilación neta de CO<sub>2</sub> (Fotosíntesis), transpiración foliar (Thoja), conductancia estomática, temperatura de la hoja, para medir estas variables se utilizó un equipo portátil marca LI-6800 (Li-COR, Lincon, Nebraska) que brinda los valores de forma automática; estos parámetros se midieron en hojas adultas, sanas, totalmente expandidas y expuestas a la radiación solar. La eficiencia intrínseca del agua se calculó mediante la división de la asimilación neta CO<sub>2</sub> entre transpiración foliar y la eficiencia cuántica fue calculada mediante la división de radiación fotosintéticamente activa absorbida (Li-6800) entre asimilación neta de CO<sub>2</sub>. Los frutos se cosecharon cuando presentaron un color rojo claro y se evaluó: el número de frutos por planta de forma manual, diámetro polar y ecuatorial utilizando un vernier digital marca Sunnimix, el peso de fruto se determinó utilizando una balanza digital marca Ohaus (precisión 0.01 g), el rendimiento se expresó en kilogramos por planta. Se manejaron 6 frutos por planta y la cosecha de ambos tratamientos inicio el 24 de junio (101 DDT) y finalizó el 30 de noviembre (253 DDT) de 2021. Las variables de crecimiento se evaluaban semanalmente en cada planta, para lo cual se marcaba el punto de crecimiento sobre el hilo rafia del tutoreo. Se midió la longitud de la hoja y de tallo utilizando un flexómetro marca Truper de 5.5 m y el diámetro de tallo con un vernier digital marca Sunnimix, ambas variables de midieron en la hoja y tallo cercano al punto de crecimiento semanal marcado en la rafia. Los datos recopilados en el experimento se analizaron mediante la prueba t de Welch ( $p \leq 0.05$ ) usando el programa estadístico Rstudio versión 1.3.1093.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables fisiológicas y de uso del agua

Las variables fisiológicas presentan diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de producción (Figura 2). La fotosíntesis en el sistema en carretes fue  $17.59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ , siendo un 36.4 % mayor que en las plantas en sustrato ( $p = 0.00023$ ); la tasa de transpiración foliar, en el sistema en carrete fue de  $7.74 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ , 104.7% mayor que en sustrato ( $p = 0.0000045$ ), con respecto a la conductancia estomática, esta fue 110.5% mayor que en el sistema en sustrato ( $p = 0.0001$ ) (Figura 2). El sistema en carrete favoreció mayor intercambio gaseoso y proceso fotosintético que el sistema en sustrato, lo cual está relacionado con la disponibilidad de agua y nutrientes, durante todo el día en el sistema en carrete, a diferencia del sistema en bolsa donde los riegos con aplicados en momentos específicos del día. Al respecto, Zegbe *et al.* (2007) indican que existe una fuerte relación entre la disponibilidad de agua y la tasa de fotosíntesis, ya que el intercambio gaseoso es más eficiente en términos de transpiración y conductancia estomática; en el sistema en sustrato, los valores de intercambio gaseoso fueron menores comparados con el sistema en carrete (Figura 2), al respecto Morales *et al.* (2013) indican que el cierre estomático y reducción en transpiración está ligado a una depresión en la conductividad hidráulica de las raíces causado por una disminución en la disponibilidad de agua.

El uso eficiente del agua (UEA) o eficiencia intrínseca del agua a escala foliar y a nivel de eficiencia de la transpiración (Figura 3), fue de 2.27 y  $3.42 \mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$  en el sistema en carrete y sustrato, respectivamente, valores que son diferentes estadísticamente entre tratamientos. El valor obtenido en la eficiencia intrínseca del sistema en sustrato, se debió a que el decremento en la tasa de transpiración de las plantas fue mayor que la reducción en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> de las mismas plantas, indicando que el sistema en sustrato tiene mayor intercambio de CO<sub>2</sub> por molécula de agua transpirada. En el sistema en carrete se tiene un menor valor de eficiencia intrínseca, ya que las plantas que crecieron en carrete

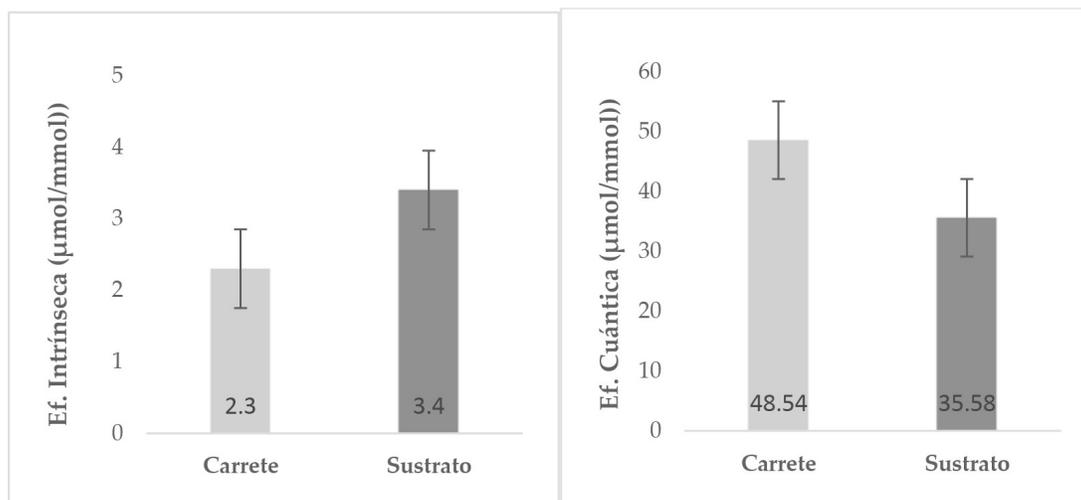


**Figura 2.** Tasa fotosintética, transpiración foliar, conductancia estomática y temperatura en la hoja en tomate variedad EL CID F1, en el sistema NFT tipo carrete y en bolsa en sustrato. (prueba t de Welch,  $\alpha \leq 0.05$ ).

tuvieron mayor asimilación de  $\text{CO}_2$  (36.4% más que en el sistema en sustrato), y tasa de transpiración (104.7% más que en el sistema sustrato), y la relación entre estas fue menor que la observada en las plantas que crecieron en sustrato. Sobre lo mismo Sun *et al.* (2013) indican que la eficiencia intrínseca se reduce con la apertura estomática, lo cual depende de la respuesta de las estomas a factores como la temperatura o condiciones hídricas de la planta. En este estudio la conductancia estomática fue mayor en el sistema en carrete (Figura 2), lo que explica una mayor transpiración y por ende menor eficiencia intrínseca. Al respecto Melendres *et al.* (2017) mencionan que la eficiencia intrínseca es usada como un indicador de la habilidad de las plantas para adaptarse al déficit hídrico; sobre lo mismo Sun *et al.* (2018)

reportan que a menor déficit hídrico, menor eficiencia intrínseca, lo que se observó en el sistema en carrete en comparación con el sistema en sustrato.

En la eficiencia fotosintética o eficiencia cuántica ( $F_v/F_m$ ) se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 2), presentando el sistema en carrete 36.4% mayor eficiencia comparado con el sistema en sustrato con 48.54 y 35.58  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ , respectivamente. La eficiencia cuántica refleja la eficiencia potencial del PSII y se utiliza como indicador de la eficiencia fotosintética o del aprovechamiento de la energía lumínica (DeEll y Toivonen 2003). Los resultados en este estudio indican que la diferencia entre el sistema en carrete y el sistema en sustrato fue 12.96  $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ , siendo mayor en las plantas en carrete, lo que



**Figura 3.** Eficiencia intrínseca y cuántica en tomate variedad EL CID F1, en el sistema NFT tipo carrete y en bolsa en sustrato. (prueba t de Welch,  $\alpha \leq 0.05$ ).

sugiere un mejor desempeño de los fotosistemas y aprovechamiento fotosintético. La disminución de la eficiencia cuántica, a nivel del sitio de oxidación del agua en el PSII, tiene relación con la disponibilidad de agua de la planta, se considera un indicador de alteraciones en el aparato fotosintético, a nivel de conversión cuántica y transporte de electrones, resultando en una reducción de la actividad fotosintética en la planta (Asseff *et al.* 2007, Medrano *et al.* 2007).

### Variabes de rendimiento

Para las variables relacionadas con el rendimiento (Tabla 3), solo para el diámetro polar del fruto no se tuvieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. El número de frutos por planta fue mayor en el sistema en carrete con 65 frutos en comparación con los 59 de las plantas en sistema en sustrato, esto representó un incremento del 10% en número de frutos por planta y de 1 kg por planta con el sistema en carrete. El rendimiento tuvo un incremento del 16.3% en el sistema en carrete con peso medio de fruto de 109.6 g siendo significativamente diferente al sistema en sustrato que fue de 103.9 g. Los resultados de rendimiento son similares a los reportados por Lycoskoufis y Mavrogianopoulos (2020), quienes evaluaron la producción de tomate en un sistema NFT y un sistema modificado de NFT en NDT (Nutrient Drip Technique) donde obtuvieron

un incremento en rendimiento del 24% en el sistema NFT modificado. Por otra parte, Rodríguez-Ortega *et al.* (2019), probaron diferentes sistemas hidropónicos de producción reportan que el sistema NFT las raíces siempre están sumergidos en SN y, por lo tanto, el agua y los nutrientes están fácilmente disponibles a diferencia del cultivo en sustrato, que aunque es un sistema de cultivo sin suelo, las raíces están en contacto con la SN en mayor proporción cuando se aplica el riego; en sustratos inertes como perlita, el contenido de agua como la concentración de sales pueden variar ampliamente entre cada evento de riego (Borowski y Nurzynski 2012, Voća *et al.* 2007). Sobre lo mismo Wang *et al.* (2018) menciona que el rendimiento de los frutos del tomate depende en gran medida de la disponibilidad de agua y nutrientes, ya que afectan la fase vegetativa y reproductiva del tomate, por lo que optimizando estos aspectos se puede mejorar significativamente el rendimiento.

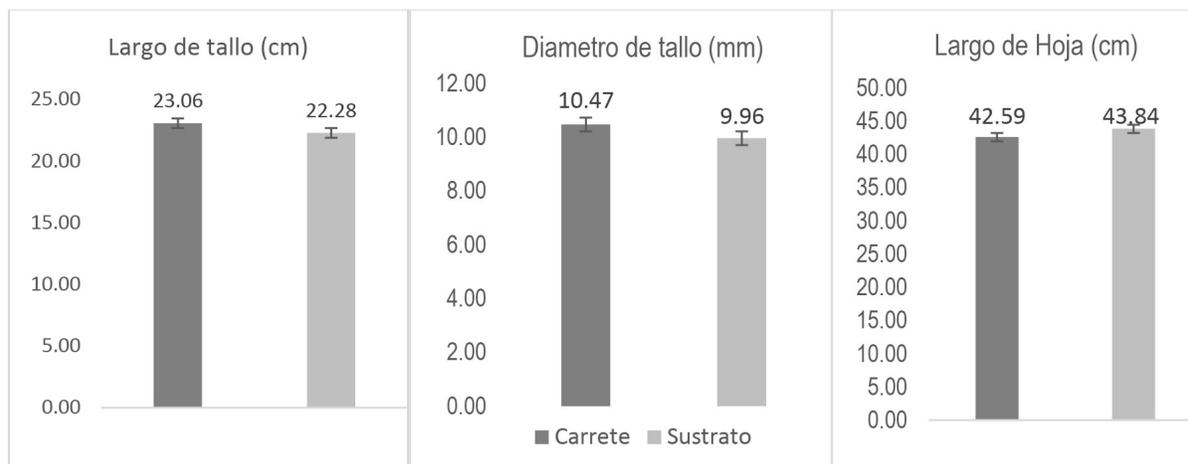
### Variabes de crecimiento

Las variables largo de hoja, largo de tallo y diámetro de tallo evaluadas en las plantas, durante el ciclo del cultivo (Figura 4) no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Los valores promedios semanales, obtenidos en el ciclo del cultivo, en largo de tallo fueron 23.06 y 22.28 cm en carrete y sustrato respectivamente, los cuales son

**Tabla 3.** Indicadores del rendimiento en tomate variedad EL CID F1, en el sistema NFT tipo carrete y el testigo en bolsa.

Sistema de Producción	Frutos por planta	Diámetro (mm)		Peso por fruto (g)	Rendimiento (kg planta <sup>-1</sup> )
		Polar	Ecuatorial		
Carrete	65.92	63.85	55.91	109.58	7.20
Sustrato	59.54	63.19	54.56	103.91	6.19
p-value	0.0246	0.333	0.0016	1.75E-05	0.0032
	*	ns	**	**	**

\*\* , \* y ns indican diferencias significativas a  $p \leq 0.01$ , 0.05 y no significativas, respectivamente. (prueba t de Welch,  $\alpha \leq 0.05$ ).



**Figura 4.** Parámetros de crecimiento en plantas de tomate variedad EL CID F1, en el sistema NFT modificado tipo carrete y en sustrato. (prueba t de Welch,  $\alpha \leq 0.05$ ).

considerados como una media de crecimiento normal ya que para el cultivo de tomate se han reportado valores de crecimiento semanal entre 18 y 27 cm, de igual manera en largo de hoja, los valores obtenidos son parámetros considerados normales para tomate 42.59 y 43.84 cm en carrete y sustrato, respectivamente (Juárez-Maldonado *et al.* 2015). Por otra parte, el diámetro de tallo presentó valores, 10.47 mm en carrete y 9.96 mm en sustrato, que están por debajo de los reportados para tomate que van de 11 a 12 mm; sin embargo, esta variable no representa un impacto importante en la producción de la planta (De la Rosa-Rodríguez *et al.* 2016); por otro lado, Flores-Pacheco *et al.* (2016) menciona que factores como la temperatura (mayor a 30 °C) y densidad o área foliar excesiva dan lugar a tallos delgados y débiles. Al

respecto, De la Rosa-Rodríguez *et al.* (2020) indican que el desarrollo de las plantas puede ser diferente dependiendo del sistema de producción que se emplee, lo que difiere con Mata-Vázquez *et al.* (2010) quienes indican que el desarrollo agronómico de las plantas está regulado por múltiples factores (ambientales y de manejo), así como los estímulos que estos factores generan en su desarrollo, por lo que el sistema de producción es únicamente una parte que influye en desarrollo de forma significativa.

Bajo las condiciones y sistemas estudiados en invernadero, el sistema NFT modificado en carrete es una alternativa para la producción comercial de tomate, ya que los resultados indican que puede ser comparable con un sistema en sustrato.

## LITERATURA CITADA

Alipio MI, Cruz AEMD, Doria JDA, Fruto RMS (2019) On the design of Nutrient Film Technique hydroponics farm for smart agriculture. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 12: 315-324.

- Arriaga-Frías A, de la Cruz-Guzmán GH, Mandujano-Piña M (2016) Conductividad hidráulica en tallos florales de rosa cv. Polo con diferente longitud. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39: 233-239.
- Asseff JMP, Salamanca EJP, González CT (2007) Efecto del nitrógeno y la irradiación en la eficiencia fotosintética del Anamú *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 31: 49-56.
- Borowski E, Nurzynski J (2012) Effect of different growing substrates on the plant water relations and marketable fruit yield greenhouse-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta Agrobotanica* 65: 49-56.
- DeEll JR, Toivonen P (2003) Use of chlorophyll fluorescence in postharvest quality assessments of fruits and vegetables. In: DeEll JR, Toivonen PMA (eds) *Practical applications of Chlorophyll fluorescence in plant biology*. Springer. Boston, MA. pp: 203-242.
- De la Rosa-Rodríguez R, Lara-Herrera A, Trejo-Téllez LI, Padilla-Bernal LE, Solís-Sánchez LO, Ortiz-Rodríguez M (2020) Water and fertilizers use efficiency in two hydroponic systems for tomato production. *Horticultura Brasileira* 38: 47-52.
- De la Rosa-Rodríguez R, Lara-Herrera A, Lozano-Gutiérrez J, Padilla-Bernal LE, Avelar-Mejía JJ, Castañeda-Miranda R (2016) Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17: 3439-3452.
- Flores-Pacheco JA, Murillo Y, Oporta R, Pacheco C F, Alemán Y (2016) Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chiltoma (*Capsicum annuum*) con sustratos inertes. *Revista Científica de FAREM-Estelí* 20: 73-81.
- Gabriel J, Angulo A, Velasco J, Guzmán R (2016) Adaptación de híbridos de tomate indeterminado (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de invernadero. *Journal of the Selva Andina Research Society* 7: 47-65.
- García-Sánchez EI, Vargas-Canales JM, Palacios-Rangel MI, Aguilar-Ávila J (2018) Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 15: 93-116.
- Juárez-Maldonado A, de Alba-Romenus K, Zermeño González A, Ramírez H, Benavides-Mendoza A (2015) Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 943-954.
- Lycoskoufis I, Mavrogianopoulos G (2020) NDT, a new soilless growing system without substrate suitable for Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 48: 1292-1305.
- Mata-Vázquez H, Anguiano-Aguilar RA, Vázquez-García E, Gázano-Izquierdo I, González-Flores D, Ramírez-Meraz M, Cervantes-Martínez JE (2010) Producción de tomate sistema hidropónico con solución nutritiva reciclable en sustrato de Tezontle. *CienciaUAT* 4: 50-54.
- Medrano H, Bota J, Cifre J, Flexas J, Ribas-Carbó M, Gulías J (2007) Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84.
- Melendres AI, Zermeño A, Ramírez H, Cárdenas JO, Cadena M (2017) Eficiencia del uso del agua de un viñedo y su relación con porosidad del suelo. *Tecnología y Ciencias del Agua* 8: 57-69.
- Mendoza-Pérez C, Ramírez-Ayala C, Martínez-Ruiz A, Rubiños-Panta JE, Trejo C, Vargas-Orozco AG (2018) Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 355-366.

- Morales D, Rodriguez J A, Dell Amico J A, Torrecillas A, Sánchez-Blanco M J (2013) Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. CV. AMALIA). Cultivos tropicales 27: 45-48.
- Mundo M, Jaramillo Villanueva J L, Morales Jimenez J (2019) Rentabilidad financiera y económica de las unidades de producción de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo invernadero en Puebla, México. Agro Productividad 12: 47-52.
- Pire R, Pereira A, Díez J, Fereres E (2010) Influence of rootstock and irrigation level on water relations of grapevines grown under tropical conditions. Journal of Food Agriculture & Environment 8: 703-709.
- Sánchez del Castillo SD, Moreno-Pérez EDC, Pineda-Pineda J, Osuna JM, Rodríguez-Pérez JE, Osuna-Encino T (2014) Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. Agrociencia 48: 185-197.
- Sun Q, Wang Y, Chen G, Yang H, Du T (2018) Water use efficiency was improved at leaf and yield levels of tomato plants by continuous irrigation using semipermeable membrane. Agricultural Water Management 203: 430-437.
- Sun XP, Yan HL, Kang XY, Ma FW (2013) Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. Photosynthetica 51: 404-410.
- Voća S, Dobričević N, Šindrak Z, Borošić J, Benko B (2007) Quality of tomatoes grown on different substrates and harvested in three harvest periods. Deutsche Lebensmittel Rundschau 9: 431-437.
- Wang X, Yun J, Shi P, Li Z, Li P, Xing Y (2018) Root growth, fruit yield and water use efficiency of greenhouse grown tomato under different irrigation regimes and nitrogen levels. Journal of Plant Growth Regulation 38: 400-415.
- Zarza H, Huespe C, Mayeregger M, Trabuco M, Guillén Ó, Rodas M, López F (2018) Manual básico de cultivos sin suelo para producción de tomate en invernadero. Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Caacupé, Paraguay. 60p.
- Zegbe JA, Behboudian MH, Clothier BE (2007) Respuesta del tomate para proceso al riego parcial de la raíz. Terra Latinoamericana 25: 61-67.