



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### **Influencia de variables climáticas en el desarrollo vegetativo, rendimiento y calidad del tomate en función de número de tallos**

### **Influence of the climatic variables in the vegetative development, yield and quality of the tomato in function of number of stems**

**Mendoza-Pérez, C<sup>1</sup>., Ramírez-Ayala, C<sup>1</sup>., Ascencio-Hernández, R<sup>1</sup>., Ruelas-Islas, J.R<sup>2</sup>., Núñez-Ramírez, F.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, estado de México. C.P. 56230.

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. Calle 16 Avenida Japaraqui, Juan José Ríos, C.P. 81110 Ahome, Sinaloa.

<sup>3</sup> Instituto de Ciencias Agrícolas Universidad Autónoma de Baja California. Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. fidel.nunez@uabc.edu.mx

Autor para correspondencia: [mendoza.candido@colpos.mx](mailto:mendoza.candido@colpos.mx); [cara@colpos.mx](mailto:cara@colpos.mx); [ascenciohr@colpos.mx](mailto:ascenciohr@colpos.mx); [chuyitaruelas@favf.mx](mailto:chuyitaruelas@favf.mx); [fidel.nunez@uabc.edu.mx](mailto:fidel.nunez@uabc.edu.mx)

**Innovación Tecnológica:** Análisis de las variables climáticas y su influencia en el desarrollo del cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y el efecto de manejar diferentes números de tallos para mejorar las variables de calidad y el rendimiento de los frutos.

**Área de Aplicación Industrial:** Mejorar el control de las variables climáticas con el fin de alcanzar el desarrollo óptimo de las plantas para incrementar la calidad y rendimiento de frutos del tomate.

Enviado: 21 agosto 2019.

Aceptado: 27 febrero 2020.

### **Abstract**

The tomato is one of the most consumed vegetables in the world, its production, quality and size of the fruits are mainly influenced by weather conditions, irrigation, nutrition and number of stems. Agronomic Management and the architecture of the canopy are really important as well. The objective of this work was to measure and analyze the atmospheric variables and their influence on the development, quality and yield of tomato crop according to the number of stems. The experiment was carried out in a greenhouse in the period from April to September 2015. As a substrate, tezontle and drip irrigation were used. The experiment consisted of three treatments managed according to the number of stems. They were treatment one, it had one stem per plant (T1); treatment two (T2), two stems per plant and treatment three (T3) three stems per plant. An

atmospheric variable was recorded with a data acquisition system and the Foliar Area Index (IAF) was measured with an electronic meter; four repetitions per treatment were performed. The results indicated that atmospheric variables such as: photosynthetically active radiation (PAR), temperature, relative humidity, vapor pressure deficit (VPD) and, atmospheric water potential were essential for the optimal development of plants under greenhouse conditions. The index of foliar area and height of the plant were directly related to the development, water consumption, nutrients intake and an increase of capture radiation for photosynthesis. A yield of 6.5, 6.1 and 5.5 kg pl<sup>-1</sup> was obtained for T1, T2 and T3 respectively. Compared in the quality of fruits in the treatments, the T1 obtained an increase in the size of fruits of 34, 18, 9 and 1 of large, medium, small size and lags. The proper management of atmospheric variables in plants cultivated under greenhouse conditions are major issue related to the optimum development of plants, due this, an inappropriate management can affect the development, quality and yield of fruits. The results indicate that the number of stems per plant can be a strategy that defines the quality, quantity and yield opportunity of the bell pepper grown in the greenhouse.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L., development and growth, greenhouse cultivation

## Resumen

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo en todo el mundo, su producción, calidad y tamaño es afectada por condiciones de clima, riego, nutrición, manejo agronómico y arquitectura del dosel es muy importante. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de algunas variables climáticas y su influencia en el desarrollo, calidad y rendimiento del tomate en función al número de tallos por planta. El experimento se realizó en invernadero de abril a septiembre de 2015. Como sustrato se utilizó el tezontle y la irrigación se suministró con riego por goteo. El experimento consistió en tres tratamientos (T) a un tallo (T1), a dos tallos (T2) y a tres tallos (T3) por planta. Las variables climáticas se registraron con un sistema adquisición de datos y el área foliar (AF) se midió con un medidor electrónico teniendo cuatro repeticiones de cada tratamiento. Los resultados indican que las variables climáticas como: radiación fotosintéticamente activa, temperatura del ambiente, humedad relativa, déficit de presión de vapor y potencial hídrico atmosférico, son importantes para el desarrollo óptimo de las plantas bajo condiciones de invernadero. El índice de área foliar y la altura de la planta están directamente relacionadas en el desarrollo, consumo de agua y nutrimentos y captación de mayor cantidad de radiación para la fotosíntesis. Se obtuvo rendimiento de 6.5, 6.1 y 5.5 kg por planta para T1, T2 y T3, respectivamente. En comparación en el número y calidad de frutos en los tratamientos, el T1 se obtuvo un incremento en el tamaño de frutos de 34, 18, 9 y 1 de tamaño grande, mediano, pequeños y rezaga. El control adecuado de las variables climáticas en el invernadero es de vital importancia para un desarrollo óptimo de las plantas, un manejo inapropiado puede afectar el desarrollo, calidad y rendimiento de frutos. Los resultados indican que el número de tallos por planta puede ser una estrategia que define la calidad, cantidad y oportunidad de rendimiento de tomate cultivado en invernadero.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., desarrollo y crecimiento, cultivo en invernadero.

## Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más importantes en el mundo, constituye un importante componente en la producción hortícola, con alrededor de 4,7 millones de ha sembradas y 163,9 millones de toneladas de frutos cosechados, donde se destacan principalmente cuatro países productores; China, India, Turquía y Estados Unidos de América con una participación del 32.6, 11.4, 7.0 y 6.0 %, respectivamente (FAOSTAT, 2017). En México, el tomate es una de las hortalizas más importante debido al valor de su producción y la demanda de mano de obra que genera (Castellanos y Borbón, 2009). Es la segunda hortaliza más importante por su superficie sembrada y cosechada, y la primera en cuanto a su participación dentro del valor de la producción nacional de hortalizas.

Lamont (2005) menciona que por su alta demanda y con el objetivo a lograr producciones durante todo el año, ha exigido mejorar las prácticas de manejo, por lo cual se han desarrollado diferentes técnicas para su protección contra las condiciones ambientales adversas.

El rendimiento de un cultivo es el resultado de un proceso complejo, integrado por diferentes subprocesos cuyos cambios se manifiestan a corto plazo. La producción depende fundamentalmente de la disponibilidad de asimilados para la formación de materia seca, es decir del balance neto de carbono y, a largo plazo, de la acumulación de materia seca y la distribución de azúcares hacia los frutos (Challa *et al.*, 1995). Para asegurar un ambiente óptimo para el crecimiento y desarrollo de los cultivos; así como un mejor manejo y control de plagas y enfermedades se usan invernaderos o estructuras para reducir daños a los cultivos (López-López y Benavides-León, 2014). Tomando en cuenta

que para cada condición de invernadero o casa sombra existen diferentes rangos de intensidad lumínica, radiación, temperatura ambiental y humedad relativa durante el día y la noche en diferentes etapas fenológicas (Tesi, 2001).

De igual manera las variables climáticas, tales como la radiación solar, la temperatura del ambiente, la humedad relativa, déficit de presión de vapor, potencial hídrico ejercen una influencia sobre el balance fuente-demanda de las plantas, relación que determina el patrón de generación de asimilados y la influencia que tienen en el desarrollo, consumo de agua y nutrientes; así como la calidad y rendimiento de los cultivos (Lorenzo, 2012). Entre estos factores podemos mencionar la radiación solar ya que influye en los procesos relacionados con la fotosíntesis, balance de agua y energía y en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Hernández *et al.* (2001) mencionan que el control y manejo de la radiación solar en los invernaderos es una de las actividades más importantes en la agricultura protegida. Kittas *et al.* (2001) sugieren que la radiación solar es el principal factor que determina la temperatura del aire en invernadero. La temperatura se considera como un factor determinante de la actividad metabólica que influye en el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas, así como, en la cantidad y calidad de los frutos. De acuerdo con Heuvelink y Dorais (2005) la temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo del tomate en todo el ciclo oscila entre 18 y 25 °C.

Otro de los factores que intervienen en el crecimiento y desarrollo de un cultivo son la humedad relativa, que es proporcional a la temperatura. A mayor temperatura del ambiente, mayor volumen y mayor capacidad de retener vapor de agua y menor humedad relativa, para una masa constante de aire (Roy y Boulard, 2005). Los valores menores al 50

% aumentan la tasa de transpiración generando condiciones de estrés hídrico que limita la productividad de los cultivos y valores superiores al 90 % incrementan el riesgo de incidencia de plagas y enfermedades (Seniger, 2002). El déficit de presión de vapor (DPV) y el potencial hídrico atmosférico son otra de las variables importantes en el desarrollo de las plantas en invernadero y en campo abierto.

Las variables climáticas están directamente relacionadas con el desarrollo y en la calidad de frutos. Según Cockshull (1988) y Cockshull (1989) la producción potencial disminuye proporcionalmente a la reducción de iluminación ya que las reducciones del 1 % en la radiación reducen entre el 0.5 y el 3.1 % en el rendimiento del tomate. Por lo tanto, es conveniente conocer la respuesta de los cultivos ante las variaciones de las variables climáticas para optimizar la eficiencia de los procesos que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate en condiciones de invernadero.

El conocimiento de las variables climáticas permitirá mejorar la toma de decisiones en el manejo de control de las plagas y enfermedades y su influencia en la producción, calidad y rendimiento de frutos bajo condiciones de invernadero. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de algunas variables climáticas y su influencia en el desarrollo, calidad y rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en función al número de tallos por planta.

## **Materiales y métodos**

### **Descripción del experimento**

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, (19.46° de latitud Norte y 98.90° longitud Oeste a 2244 m de altitud). El invernadero utilizado fue

una nave con tres túneles con estructuras de metal y cubiertas de plástico de polietileno de alta densidad, con 75 % de transmisividad, equipado con un sistema de ventilación pasiva (ventilas laterales y cenitales de apertura manual) y provisto con una malla anti-insecto en las paredes laterales. Para el experimento se emplearon semillas del tomate tipo Saladette variedad Cid F1 de crecimiento indeterminado, las cuales fueron sembradas el 5 de marzo en charolas germinadoras con capacidad de 200 cavidades, trasplantadas el 20 de abril y cosechada el 20 de septiembre de 2015. Las plantas se mantuvieron con 1, 2 y 3 tallos haciendo poda de brotes laterales, y se despuntaron el 8 de julio de 2015, sobre el décimo racimo floral.

### **Marco de plantación**

El marco de plantación que se empleo fue tresbolillo, con separación de 40 cm entre plantas y 45 cm entre líneas, trasplantadas en bolsas polietileno de color negro de 35 x 35 cm conteniendo tezontle rojo como sustrato con densidad de plantación de 3 plantas m<sup>-2</sup>.

### **Descripción de los tratamientos**

Se establecieron tres tratamientos (T) con diferentes condiciones de manejo en función de número de tallos por planta, siendo el T1 a un tallo; el T2 con dos tallos y el T3 con tres tallos por planta. El área ocupada por cada tratamiento fue de 53 m<sup>2</sup> teniendo una superficie total de 159 m<sup>2</sup>.

### **Descripción de las variables climáticas**

#### **Temperatura, humedad relativa y la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)**

Las variables temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa (RFA) fueron registradas con un sistema adquisición

de datos (Data Logger Hobo U12-011) que se instaló dentro del invernadero en la parte central a 2 m de altura. Con estas variables se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) y el potencial hídrico atmosférico ( $\Psi_w$ ) desde la siembra hasta la cosecha al décimo racimo.

### Índice de área foliar (IAF)

Para determinar el área foliar se utilizó un método de evaluación destructivo que consistió en la extracción de la planta de la maceta, la separación de las hojas y posteriormente la medición del área foliar con el equipo (Área Meter Modelo LI-3100, Decagon Device, Inc. EE. UU). Para cada tratamiento se realizaron en cuatro repeticiones. Finalmente, se calculó el IAF de la planta con la Ecuación 1, descrita por (Reis *et al.*, 2013).

$$IAF = \frac{AF \times NP}{AT} \dots\dots\dots(\text{Ec. 1})$$

Dónde: IAF es el Índice de Área Foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ),  $AF$  es la superficie media de hoja de tres plantas ( $\text{m}^2$ ),  $NP$  es el número de plantas por  $\text{m}^2$  y  $AT$  es el área total considerada de  $1 \text{ m}^2$ .

### Variables de calidad

**El licopeno:** se determinó por colorimetría, empleando un colorímetro (Hunterlab) el cual se calibró al inicio para determinar mediciones de color L,  $a^*$  y  $b^*$  reportadas en el sistema internacional de color (CIELB). Una vez obtenidos los datos de color se estimó el contenido de licopeno con la (Ecuación 2) descrita por Arias *et al.* (2000).

$$\text{Licopeno (mg 100 g}^{-1}\text{)} = 11.848 \cdot (a^*/b^*) + 1.5471 \dots\dots\dots(\text{Ec. 2})$$

**Sólidos solubles totales:** se determinaron en el jugo del fruto mediante un refractómetro digital, marca Atago con escala de 0 hasta 32 % y los resultados se expresaron en °Brix.

**Firmeza:** se midió en la zona ecuatorial de los frutos, utilizando un texturómetro digital (Universal Fuerza Five), con escala de 0.1 hasta 0.32 % de fuerza y un puntal cónico de 0.8 mm, registrándose la lectura en Newton (N) de la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

**Rendimiento y número de frutos:** se seleccionaron ocho plantas por tratamiento y se contabilizaron los frutos de acuerdo a su maduración. Para determinar diferencias significativas entre las variables estudiadas fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey con  $p \leq 0,05$ , con el paquete estadístico MINITAB.

### Resultados y discusión

#### Influencia de la temperatura y humedad relativa del invernadero en el desarrollo de la planta

##### Temperatura

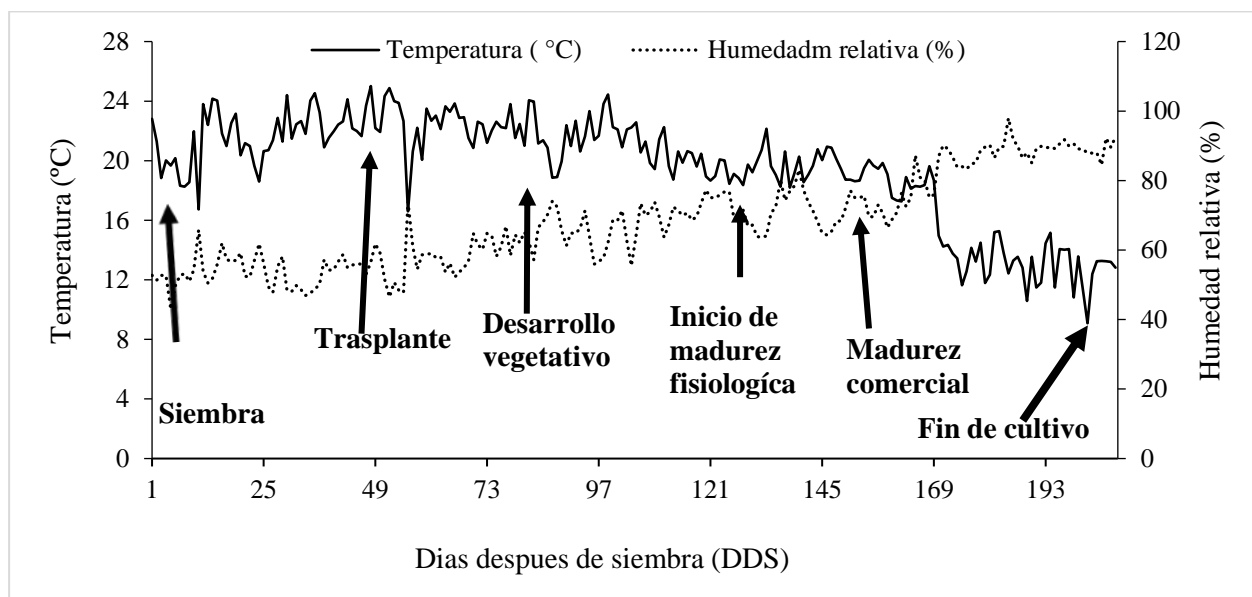
En la fase inicial de desarrollo (trasplante) se registró temperatura promedio de  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  y se mantuvo relativamente constante hasta los 100 días después de la siembra (DDS) que corresponde la etapa de desarrollo vegetativo, la cual coincidió con los meses más calurosos de la zona. En la etapa de maduración (madurez fisiológica) se observó un descenso en la temperatura promedio hasta alcanzar los  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  y se mantuvo constante hasta el inicio de madurez comercial, que coincidió con la época de lluvias. Finalmente, se registró otro descenso en la temperatura hasta llegar los  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  en la etapa final de cultivo, donde inició la época de frío en la zona de estudio (Figura 1). Cuellar-Murcia y Suarez-Salazar (2018) reportaron temperaturas de  $34 \text{ }^\circ\text{C}$  a los 94 días después de trasplante y  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  a los 102 días después de trasplante. Jaimez *et al.* (2005)

reportaron una tendencia similar de la temperatura del invernadero en el desarrollo del pimiento morrón cultivado en condiciones protegidas en Caracas, Venezuela.

### Humedad relativa

En etapa inicial se observa humedad relativa alrededor de 60 % y a medida que empieza a disminuir la temperatura empieza incrementar la humedad relativa hasta llegar 80 % en la etapa donde se inició de madurez

comercial y al final de cultivo se registró humedad de 90 % que puede ser dañina para el desarrollo óptimo de las plantas (Figura 1). Huertas (2008) menciona que, si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, si es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad relativa alta puede dificultar la polinización puesto que el polen húmedo puede quedar pegado en los órganos masculinos, además, puede favorecer el desarrollo de enfermedades (Huertas, 2008).



**Figura 1.** Tendencia de la temperatura y humedad relativa del invernadero en las tapas fenológicas durante todo el ciclo.

### Influencia de temperatura y humedad relativa en frutos

En este experimento se observó que en las plantas que se desarrollaron en la orilla del invernadero, los frutos presentaron síntomas de deficiencia de calcio debido a las temperaturas elevadas (Figura 2). Con respecto a nuestros resultados se encontró que los altos niveles de humedad (80 %) registrados fueron los más elevados, esto se debió a la condensación que se formó sobre

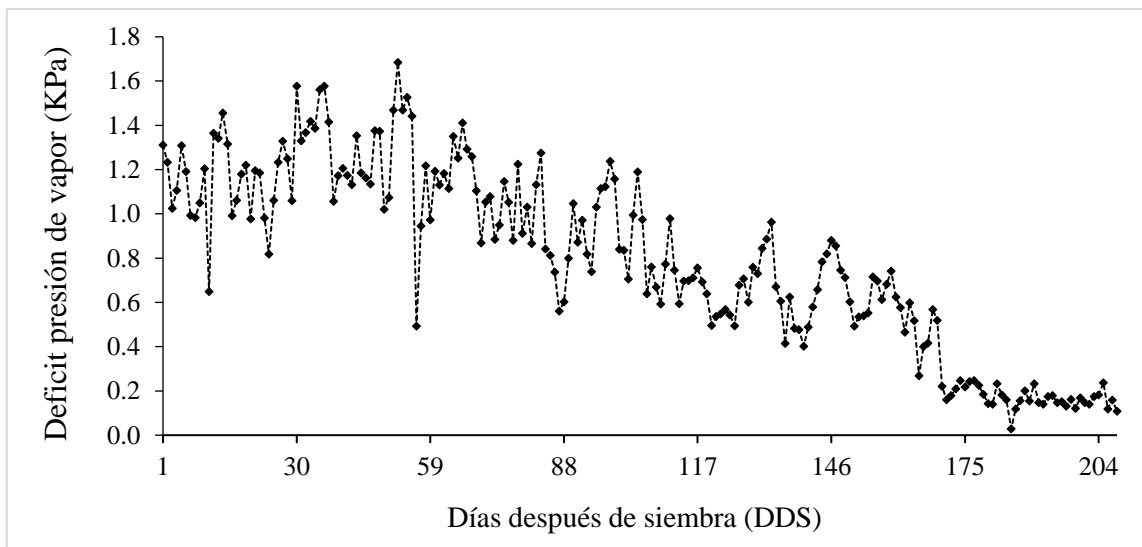
la cubierta del invernadero, en los frutos y en el follaje en las primeras horas de la mañana. Como sugerencia se recomienda la apertura de las ventilas laterales y cenitales por las mañanas para ventilar el invernadero con el fin de evitar condiciones que propicien el desarrollo de problemas fitosanitarios y emplear un plan de manejo adecuado para el cultivo.



**Figura 2.** Deficiencia de calcio en tomate por altos niveles de temperatura. Fuente: Mendoza, 2015.

Se registraron valores de déficit de presión de vapor de 1.3 KPa durante el día de la siembra y fue aumentando hasta alcanzar valor de 1.7 KPa el día de trasplante de plántulas a las bolas maceteras. El DPV en la etapa de desarrollo vegetativo fue de 1.7 KPa, después se registró una disminución de 1.0 KPa. Su valor se debió que, en la etapa inicial de desarrollo, su área foliar es pequeña que se traduce en reducido número de estomas. A pesar de que la velocidad de transpiración y la pérdida de vapor de agua es alto adentro del invernadero, ésta no alcanza satisfacer la demanda atmosférica. Este proceso implica mayor liberación de vapor de agua a través de los estomas de las hojas tratando de cubrir la demanda hídrica atmosférica (Figura 3). Por otra parte, Sánchez (2007) en el cultivo de vid observó que en ambientes con bajo DVP las plantas reducen considerablemente la tasa fotosintética debido al cierre estomático.

### Déficit de presión de vapor



**Figura 3.** Comportamiento de déficit de presión de vapor en invernadero.

Es importante mencionar que cuando el DPV es elevado, los estomas están completamente abiertas, por lo tanto, aumenta la demanda transpirativa, lo que contribuye al incremento de absorción de agua, elementos minerales disueltos y mayor actividad fotosintética que influye directamente en la cantidad de agua

acumulado en los tejidos vegetales que se transfiere al aire del invernadero para regular de temperatura de la planta. Sin embargo, en la fase final de cultivo se observa el DPV cercano a 0.1 KPa, dado que las plantas disminuyen la transpiración, debido a que la atmósfera se encuentra casi saturada de vapor

de agua, es decir la apertura estomática están prácticamente cerrada, por lo que, se reduce la fotosíntesis, lo que repercute en la disminución de número y calidad de los frutos (Mendoza-Pérez *et al.*, 2018) (Figura 3). Zhu *et al.* (2010) y Both *et al.* (2015) menciona que el DPV es una de las variables ambientales de mayor importancia a la hora de establecer cultivos en invernaderos, debido a que sus variaciones regulan la temperatura y la humedad relativa ambiental, siendo dos factores esenciales para mantener niveles adecuados de agua en el suelo y en la atmósfera.

A medida que aumenta el DPV, la planta necesita extraer más agua del sustrato a través de las raíces para satisfacer la demanda hídrica y nutrimental. Por esta razón, los valores adecuados para el DPV en invernadero son de 0.45 a 1.25 KPa, el óptimo es alrededor de 0.85 KPa. La mayoría de las plantas tienen un DPV óptimo entre 0.8 y 0.95 KPa (Prenger y Ling, 2000).

### Potencial hídrico atmosférico ( $\Psi_w$ )

En la (Figura 4) se presenta el potencial hídrico atmosférico ( $\Psi_w$ ), donde se observa que en la etapa inicial el potencial hídrico

atmosférico se encuentra en el orden de (-115 Mpa). Se puede inferir que la atmósfera requiere mayor cantidad de agua para saturar el ambiente y a medida que transcurre el tiempo aumenta el potencial hídrico, el cual después de los 175 DDS registró valores cercanos a cero. En la etapa final de ciclo se observa un incremento del  $\Psi_w$  ( $\pm$  -100 Mpa a  $\pm$  -20 Mpa) debido, a la disminución de la temperatura y a la alta humedad relativa en el ambiente (Figura 1), misma coincide con la época de lluvia con días nublados e inicio de temporada de frío en la zona de estudio. Un valor de humedad relativa del 100 % a cualquier temperatura significa que el potencial hídrico del aire es cercano a cero. Al aumentar la demanda atmosférica, las plantas evapotranspiran una mayor cantidad de agua y nutrimentos hasta un cierto límite, fijado por el potencial de agua de sus hojas.

Gil-Peigrín *et al.* (2005) encontraron comportamiento similar de potencial hídrico atmosférico al analizar el flujo de agua en los vegetales terrestres por medio del modelo integrador continuo suelo-planta-atmósfera (SPAC) y encontraron que el flujo de agua es como un proceso dinámico a lo largo de una serie de compartimientos, desde la fuente de suministro (suelo) hasta la demanda final (atmósfera).

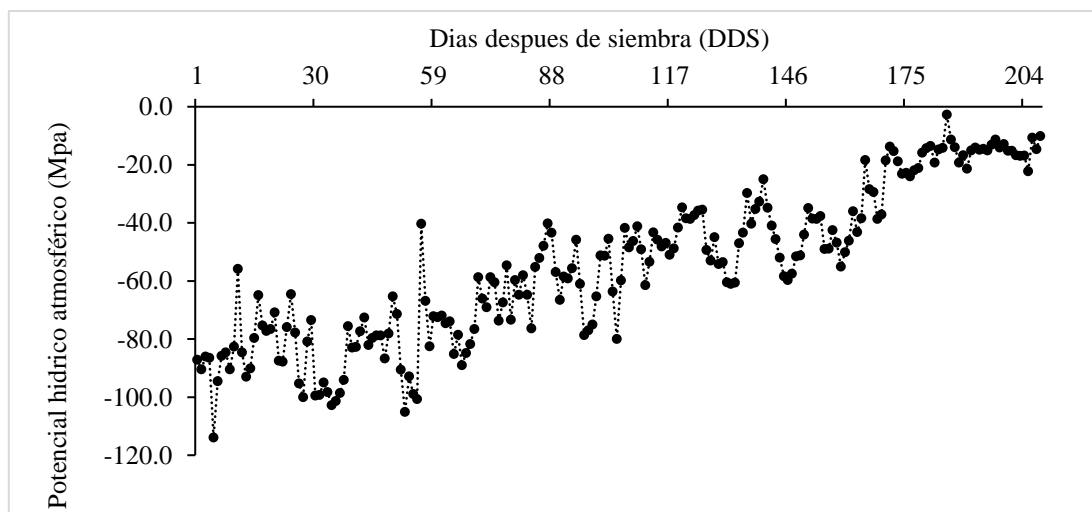


Figura 4. Tendencia del potencial hídrico atmosférico en invernadero.



### **Influencia de déficit de presión vapor y potencial hídrico atmosférico en la planta**

El DPV es una variable que nos puede indicar la susceptibilidad de la planta para desarrollar enfermedades por condiciones ambientales adversas o de ser susceptible para el inicio de desarrollo de una enfermedad (Huertas, 2008). Prenger y Ling (2000) mencionan que los patógenos fúngicos sobreviven mejor por debajo de 0.43 KPa. Además, la infección de la enfermedad es más detrimental por debajo

de 0.20 KPa. El clima del invernadero debe mantenerse por encima de 0.20 KPa, para prevenir enfermedades y daños a los cultivos. Por otra parte, la demanda atmosférica es sin duda un factor de gran importancia para determinar la cantidad de agua que requiere un cultivo para su crecimiento y desarrollo (Figura 5). Esta demanda dependerá de la radiación incidente, temperatura, humedad relativa, aire y el viento (Prenger y Ling, 2000).

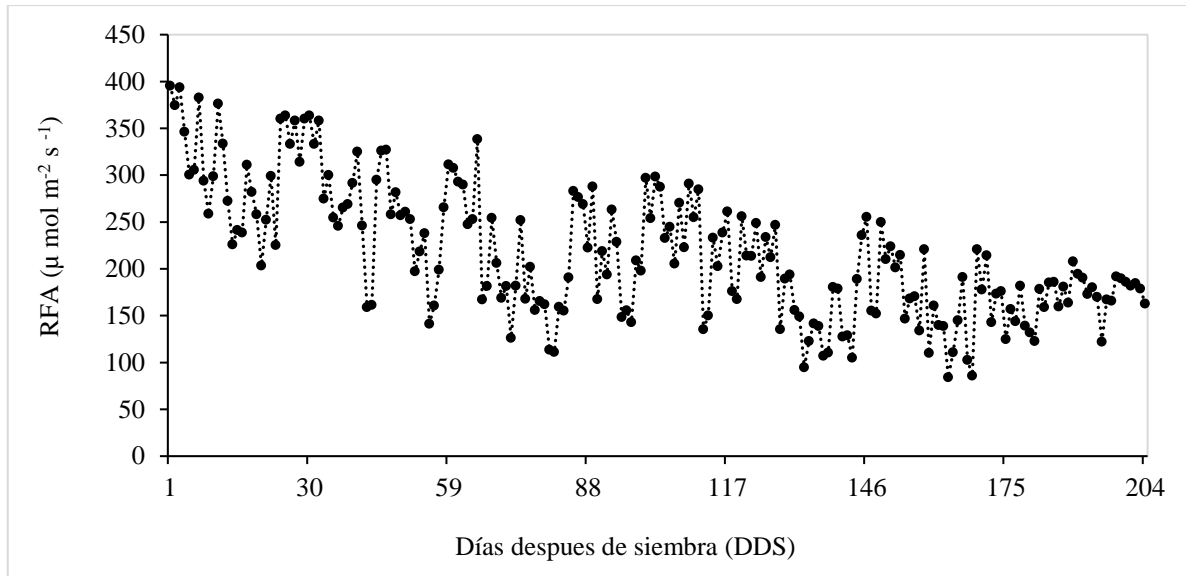


**Figura 5.** Pudrición del fruto causada por un bajo DPV (izquierda) y estrés hídrico de cultivo (derecha).

### **Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)**

En la (Figura 6) se puede observar la tendencia de la RFA medida diariamente en el interior del invernadero a una altura de 2 m sobre la superficie del suelo. Al momento de establecer el experimento, la cubierta del invernadero tenía 6 años de uso. Se pudo observar que en la etapa inicial de cultivo se registraron alrededor de 400 ( $\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) de RFA que coincidió con el mes más caluroso (abril), después fue disminuyendo.

Los picos bajos que se observaron a partir de los 80 DDS se debieron a los días nublados en la zona por presencia de lluvias. Rojas (2015) reportó valores más altos en otras estaciones del año, donde encontraron que al inicio de ciclo de cultivo la intensidad de la radiación fue menor de  $700 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en la estación otoño-invierno y a medida que transcurre el tiempo incrementa la intensidad de la radiación RFA hasta un llegar nivel máximo en la etapa final de  $1300 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 6.** Radiación fotosintéticamente activa (RFA) medida en el interior del invernadero.

Bermúdez *et al.* (2001) mencionan que, en los meses de otoño-invierno, la radiación solar es un recurso limitante en ciertas zonas para la producción agrícola ya que la intensidad con la que llega en estas épocas está por debajo de la exigencia de los cultivos hortícolas.

Dussi (2007) menciona que una reducción de la intensidad de la radiación fotosintéticamente activa afecta en la inducción floral, su diferenciación, cuajado, tamaño, color y calidad de los frutos y en menor grado el desarrollo de las plantas.

### Índice de Área Foliar (IAF)

Los resultados demostraron que el tratamiento de tres tallos por planta presentó el IAF más alto de  $6.16 \text{ m}^2$  (valor máximo), en la etapa de floración del séptimo racimo, que correspondió a los 89 días después de siembra (DDS), posteriormente empezó a disminuir. A partir de 50 DDS se empezó a diferenciar el IAF entre los tratamientos, ya que empieza a ser notoria la diferencia, con respecto al número de tallos entre los tratamientos. El máximo IAF se presentó a los 89 DDS de  $3.69$ ,  $5.27$  y  $6.16 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  para

los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente (Figura 7). Una vez llegando el máximo desarrollo, la planta presentó una disminución del IAF con valores de  $3.5$ ,  $5.0$  y  $6.0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  debido a la senescencia y caída de las hojas secas.

En este trabajo se encontró que al aumentar el número de tallos por planta se incrementa el IAF, número de frutos, altura de planta, ya que las plantas invierten la mayor parte de su energía metabólica en su desarrollo y crecimiento para alcanzar la mayor cantidad de RFA para la fotosíntesis. Vargas (2012) reportó valores similares en tomate de la variedad Rafaello encontrando que el máximo IAF se presentó a los 105 días después de trasplante con valores de  $4.0$ ,  $5.2$  y  $6.2$ , después disminuye gradualmente y coincide con el inicio de cosecha. Mendoza-Pérez *et al.* (2017) reportaron en chile poblano que a los 161 días después de trasplante se presentaron los valores máximos de  $0.93$ ,  $1.26$  y  $2.78$  para dos, tres tallos y sin poda para este cultivo producido en invernadero en función de número de tallos. Se encontraron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) de IAF entre los tratamientos con

desviación estándar agrupada de 0.1014 entre los tratamientos.

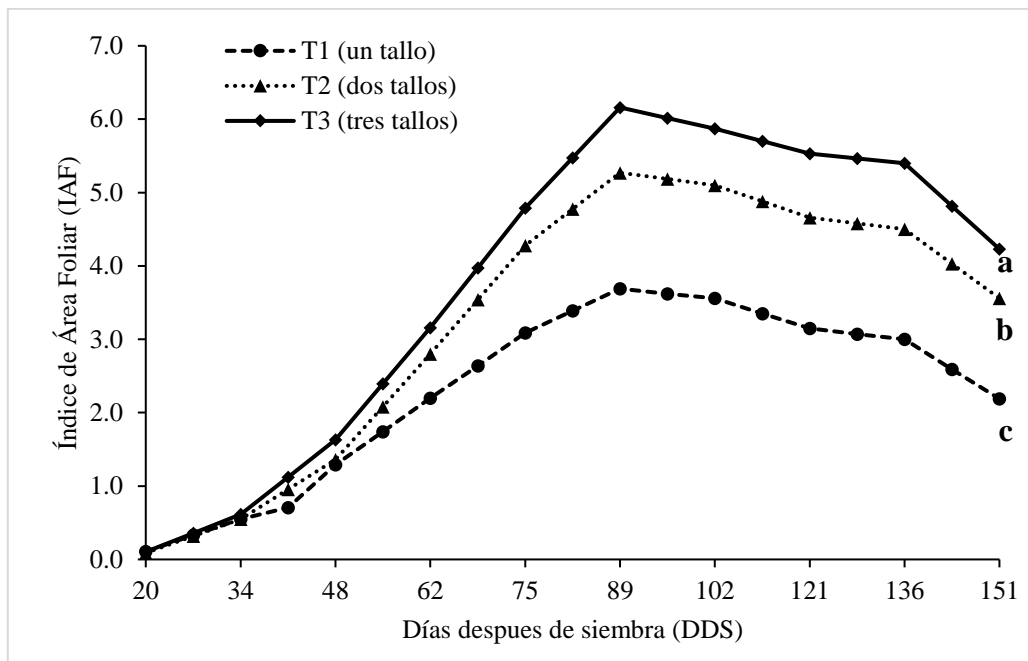


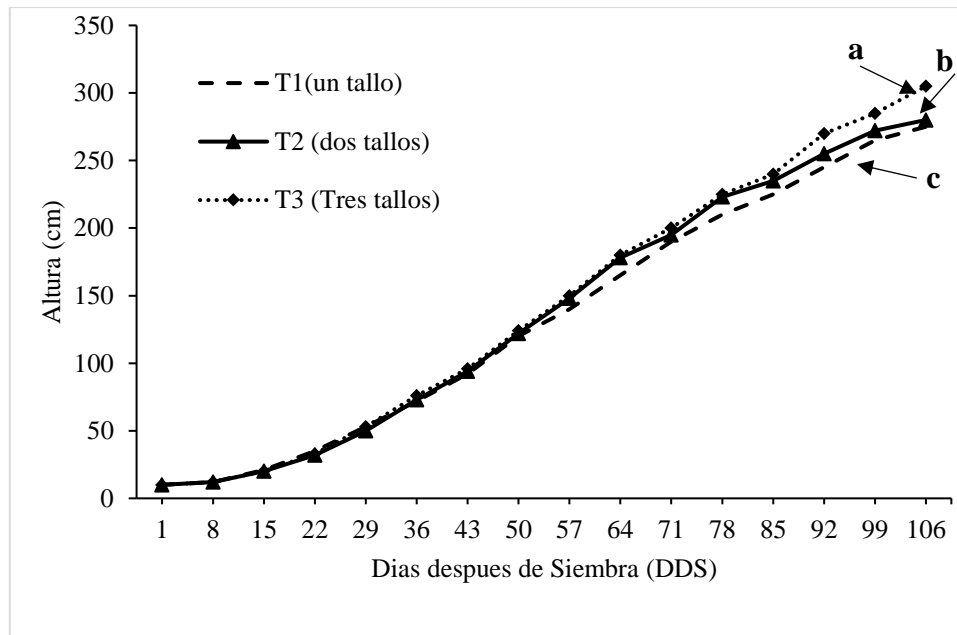
Figura 71. Índice de área foliar medido para los tres tratamientos.

Jarma *et al.* (1999) mencionan que las plantas con mayor área foliar y ambiente favorable, son capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente; situación que es favorable para un mayor rendimiento, manifestándose en una mayor tasa de translocación de fotoasimilados hacia los puntos de demanda que son principalmente los frutos.

### Altura de la planta

El crecimiento de la planta en altura inicia con cierta lentitud desde trasplante hasta 22

DDS. Posteriormente, a los 50 DDS incrementó de manera notoria el desarrollo hasta alcanzar alturas de 275, 280 y 305 cm para T1, T2 y T3, respectivamente (Figura 8). Una vez acumulados los diez racimos se realizó el despunte en la parte apical de la planta. Para todos los tratamientos, las curvas sugieren un crecimiento exponencial a partir de los 29 DDS. El comportamiento es similar a lo reportado por Baldomero (2007) en cultivo de tomate de 3 m de altura. Se encontraron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos de altura de la planta con desviación estándar agrupada de 3.99 entre los tratamientos.



**Figura 8.** Altura de planta de tomate en los tres tratamientos en todo el ciclo de cultivo.

### Rendimiento de fruto

Para la variable de rendimiento del fruto se encontró que en el tratamiento T1 (un tallo) se obtuvieron 6.55 kg/planta mientras que en el T2 (dos tallos) 5.91 kg/planta y 5.45 kg/planta para T3 (tres tallos) por planta. En la (Tabla 1) se puede observar la clasificación de número de frutos obtenidos para cada una de las categorías.

En la clasificación de número de frutos por su tamaño, el tratamiento de a un tallo por planta presentó mayor número de frutos de 34, 18, 9 y 1 de tamaño grande, mediano, pequeños y rezaga respectivamente, cosechando 62 frutos de diez racimos. Se observó que al incrementar el número de tallos por planta aumenta el número de frutos, sin embargo, disminuye su tamaño. Se encontró diferencia estadística significativa de tamaño de los frutos entre los tratamientos.

### Clasificación de número de frutos por su tamaño

**Tabla 1.** Clasificación de número de tamaño de frutos de acuerdo a su diámetro ecuatorial.

Tratamientos	Clasificación de número de frutos por su tamaño				
	Grande	Mediano	Pequeños	Rezaga	Total
T1 (un tallo)	34 a	18 c	9 c	1 c	62
T2 (dos tallos)	26 b	27 b	23 b	2 b	78
T3 (tres tallos)	13 c	32 a	30 a	8 a	83
<b>CV (%)</b>	<b>44</b>	<b>28</b>	<b>52</b>	<b>35</b>	<b>15</b>

**Nota:** Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

### Influencia de las variables climáticas en las variables calidad de frutos

**Licopeno.** La concentración de licopeno se relaciona con la maduración del fruto; debido al aumento de dicho carotenoide y disminución de la clorofila al pasar de color verde a rojo. En este experimento se encontró mayor concentración de licopeno en el T2 de 13.2 mg 100 g<sup>-1</sup> (Tabla 2). Esto se debe que a mayor número de racimos por planta los frutos absorben mayor calor, por lo tanto, favorecen mayor acumulación de licopeno. Luna-Guevara y Delgado-Alvarado (2014) reportaron que las condiciones ambientales como la temperatura e intensidad de luz, influyen directamente sobre la desnaturalización o acumulación de licopeno. Específicamente, los precursores del licopeno son inhibidos a temperaturas por debajo de 12 °C y por encima de 32 °C; el intervalo más favorable para la producción de licopeno se encuentra entre 22 y 25 °C. Adicionalmente, las condiciones extremas de temperatura y humedad relativa influyen reducción del contenido de licopeno en los frutos. Pérez *et al.* (2017) reportaron valor más alto de 18.5 mg 100 g<sup>-1</sup> en cultivo de tomate cultivado en hidroponía la variedad Cid F1.

**Sólidos solubles totales (°Brix).** Para esta variable el tratamiento de tres tallos por planta presentó el valor más alto de sólidos solubles totales de 5.51 de °Brix. Además, se observó que a medida que se aumenta el número de tallos por planta se logra mayor acumulación de sólidos solubles en los frutos de menor tamaño (Tabla 2). Navarro-López *et al.* (2012, Plana *et al.* (2011) reportaron valores similares de 4.7 y 4.4 °Brix. Por otro lado, Pérez *et al.* (2006) reportaron también valores de 5.1 y 5.0 °Brix para uno y dos tallos por planta específicamente.

Para la variable **Firmeza**, tratamiento de un tallo por planta presentó el valor más alto de

4.8 N comparado con el resto de los tratamientos. Se observó que este tratamiento fue el que presentó menor IAF, por lo tanto, los frutos estuvieron más expuestos a los rayos del sol, por eso, desarrollaron una cutícula más resistente (Tabla 2). Navarro-López *et al.* (2012) reportaron valores de 4.21 y 4.52 N de firmeza para tomate de la variedad reserva Cid F1 cultivado en hidroponía regados con agua residual y de pozo. No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de las variables de licopeno, °Brix y Firmeza.

**Tabla 2.** Contenido de licopeno, °Brix en el jugo y la firmeza del tomate.

Tratamientos	Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> )	°Brix	Firmeza (N)
T1 (un tallo)	12.7 a	4.62 a	4.8 a
T2 (dos tallos)	13.2 a	4.65 a	4.0 a
T3 (tres tallos)	12.9 a	5.51 a	3.8 a
<b>CV (%)</b>	<b>1.9</b>	<b>10.3</b>	<b>12.6</b>

**Nota:** Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

**Color.** Con relación en la coloración que es un parámetro que indica que un producto es de buena o mala calidad y que está directamente relacionado con la vida de postcosecha del fruto. No se encontró variación en la coloración en los frutos de tomate en relación al número de tallos (Tabla 3). De acuerdo con Nguyen y Schwartz (1999) el licopeno es susceptible a la oxidación por su exposición a la luz y niveles de altos de pH, por lo tanto, presenta mayor estabilidad en el matiz del tomate.

**Tabla 3.** Variación de color por efecto de número de tallos en tomate.

Tratamientos	L	Croma (A)	Hue (B)
T1 (un tallo)	32.5 a	22.9 a	62.9 a
T2 (dos tallos)	31.6 a	21.7 a	63.9 a
T3 (tres tallos)	32.8 a	22.1 a	64.2 a
CV (%)	2.0	2.7	1.0

Nota: Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ).

### Conclusiones

En el tratamiento de un tallo por planta con el menor índice de área foliar se obtuvieron mayor número de frutos de tamaño grande. Además, los frutos presentaron valores más altos de firmeza de 4.8 N, ya que los frutos desarrollaron cutícula más gruesa y resistente para protegerse de los daños de la radiación solar. Además de protección, la cutícula desarrollada sirvió para que los frutos alargaran su vida de anaquel.

En este trabajo se demuestra que el tamaño, calidad y rendimiento de los frutos están estrechamente relacionados con las variables climáticas como la radiación solar, el déficit de vapor de agua, la temperatura del ambiente, la humedad relativa y el potencial hídrico.

El control de estas variables en invernaderos es importante porque las plantas tienen poca capacidad de autorregular su temperatura interna, un control inapropiado puede afectar el desarrollo, producción y calidad de los frutos. Se recomienda abrir las ventilas laterales y cenitales para liberar el exceso de calor y humedad relativa acumulado en el interior del invernadero para un desarrollo óptimo del cultivo. El control adecuado de las variables climáticas en el invernadero es de vital importancia para un desarrollo óptimo de las plantas, un manejo inapropiado puede afectar el desarrollo, calidad y rendimiento de los frutos. Los resultados indican que el número

de tallos por planta puede ser una estrategia que define la calidad, cantidad y oportunidad de rendimiento de tomate cultivado en invernadero.

### Referencias

Arias R., Lee T. Ch, Logendra L. and Janes H. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L, a, b color Reading of a hidroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. USA. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48:1697-1702.

Baldomero H.Z.N. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), hidropónico con sustrato, bajo invernadero. Tesis de Maestría, Montecillo, Estado de México. Colegio de Postgraduados, 176 p.

Bermúdez, J. H., Escobar, I. y Prados, N. C. 2001. La radiación solar en invernaderos mediterráneos (I). Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores plantas, arboles ornamentales y viveros, 157:18-27.

Both A., Benjamin L., Franklin J., Holroyd G., Incoll L., Lefsrud M. and Pitkin G. 2015. Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses. Plant Methods 11:43-68.

Castellanos, J. Z., Borbón, C. M. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México, pp. 1-18. In: Manual de Producción de Tomate en Invernadero. Castellanos, J. Z. (ed.). Intagri. Guanajuato, México.

Cockshull K.E. 1988. The integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. Acta Hort. 229: 113-123.

Cockshull K.E. 1989. The influence of energy conservation on crop productivity. Acta Horticulturae 245: 530-536.

- Cuellar-Murcia C.A., Suarez-Salazar J.C. 2018. Flujo de savia y potencial hídrico en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12 (1): 104-112).
- Challa H., Heuvelink E., Meeteren O. 1995. Crop growth and development. pp. 62-83. In: *Greenhouse climate control and integrated approach*. Wageningen Press. Wageningen, The Netherlands.
- Dussi M. 2007. Intercepción y distribución lumínica en agro-ecosistemas frutícolas. In: G. Sozzi, ed., *Árboles frutales: ecofisiología del cultivo y aprovechamiento*, 1<sup>st</sup> ed. Buenos Aires, Argentina: Gabriel O. Sozzi, p.805.
- FAOSTAT. 2017. Production/yield quantities of tomatoes in world. En: FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>; consulta: octubre de 2019.
- Gil-Pelegrin E., Aranda I., Peguero-Pina J.J. and Vilagrosa A. 2005. El continuo suelo-planta-atmosfera como un modelo integrador de la ecofisiología forestal. *Sistema de Recursos Forestales*, 14(3): 358-370.
- Hernández J., Escobar I. y Castilla N. 2001. La Radiación Solar en Invernaderos Mediterráneos. *Revista Horticultura* 157: 18-26.
- Heuvelink E. and Dorais M. 2005. Crop growth and yield: 85-144. In *tomatoes*: Heuvelink, E. (ed). 85-44 Wallingford: CABI Publishing. London. 352 pp.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Revista horticultura*. 205:52-54.
- Jaimez E.R., Da-Silva R., Aubeterre A.D., Allende J., Rada F. y Figueiral R. 2005. Variaciones micro climáticas en invernadero: efecto sobre las relaciones hídricas e intercambio de gases en pimentón (*Capsicum annuum*). *Agrociencias* 39: 41-50.
- Jarma A., Buitrago C., Gutierrez S. 1999. Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. *Revista COMALFI* 26(1-3): 62-73.
- Kittas C., Katsoulas N. and Baille A. 2001. Influence of greenhouse ventilation regime on microclimate and energy partitioning of a rose canopy during summer conditions. *J. Agric. Engine. Res.* 79(3): 349–360.
- Lamont. W. J. 2005. Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 15(3):477-481.
- Lorenzo, P. M. 2012. El cultivo en invernadero y su relación con el clima. In: J. López and R. García Torrente, ed., *Innovación en estructuras productivas y manejo de cultivos en agricultura protegida*, 3rd ed. Almería, España: Fundación Cajamar, pp.23:24.
- López-López A. y Benavides-León C. 2014. Respuesta térmica del invernadero de la estación experimental Fabio Baudrit Moreno, Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 25(1): 121-132.
- Luna-Guevara M.L. y Delgado-Alvarado A. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria* 18(1): 51-66.
- Mendoza-Pérez C., Ramírez-Ayala C., Ojeda-Bustamante W. and Flores-Magdaleno H. 2017. Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 9 (1): 37-50.
- Mendoza-Pérez C., Ramírez-Ayala C., Martínez-Ruiz A., Rubiños-Panta J.E., Trejo C. y Vargas-Orozco A. 2018. Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista*

Mexicana de Ciencias Agrícolas 9 (2):355-366.

Navarro-López E.R., Nieto-Ángel R., Corrales-García J., García-Mateos M.R. and Ramírez-Arias A. 2012. Calidad postcosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. Rev. Chapingo Ser.Hortic 18 (3):263-277.

Nguyen M. L. and Schwartz S. J. 1999. Lycopene: chemical and biological properties. J. Food Technol. 53(2):38-45.

Plana D., Álvarez M., Dueñas F., Lara R. M., Moya C., Florido M., Álvarez I., Sam O. and Rodríguez J.L. 2011. Characterization of the sunspot in tomato (*Solanum lycopersicum*) grown in Cuba. Tropical Crops 32 (3): 36-41.

Prenger J.J., Ling P.P. 2000. "Greenhouse Condensation Control." Fact Sheet (Series) EX-800. Ohio State University Extension, Columbus, OH. 1.4.

Reis S.L., Azevedo A.V. C., Albuquerque W.A. and Junior F.S.J. 2013. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 17 (4): 386-391.

Rojas S.E.L. 2015. La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo de tomate.

Tesis de Maestría. Centro de Investigación de Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México. 88 p.

Roy J.C. and Boulard T. 2005. CFD prediction of the natural ventilation in tunnel-type greenhouses: influence of wind direction and sensibility to turbulence models. Acta Hort (ISHS) 691:457-464.

Sánchez M. P. 2007. Cambios en la respuesta fotosintética a la luz de las hojas de vid (*Vitis vinífera* L.) por factores biológicos ambientales y culturales. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid: 48-50.

Seniger I. 2002. The Penman-Monteith Evapotranspiration equation as an element in greenhouse ventilation desing. Byosystems Engineering 82(4): 423.439.

Tesi R. 2001. Medios de protección para la hortoflorofruticultura y el viverismo. 3 ed. MundiPrensa, Madrid, España.

Vargas C.J.M. 2012. Extracción nutrimental del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes mezclas de sustratos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 64 p.

Zhu X., Long S. and Ort D. 2010. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. Annu. Rev. Plant Biol. 61: 235-261.