

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



**SUSTRATOS, SOLUCIONES NUTRITIVAS E INTENSIDAD DE RALEO
DE FRUTOS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY
EN HIDROPONÍA**

JONAS ALAN LUNA FLETES

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

XALISCO, NAYARIT, JULIO 2017

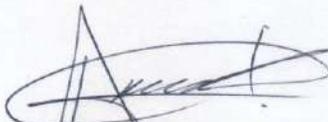
Xalisco, Nayarit, 27 de junio del 2017

DR. JUAN DIEGO GARCÍA PAREDES
COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)
P R E S E N T E

Los que suscriben, el Cuerpo Tutorial asesor de la Tesis titulada: Sustratos, soluciones nutritivas e intensidad de raleo de frutos en la producción y calidad de tomate cherry en hidroponía, que presenta el C. **JONÁS ALAN LUNA FLETES** para obtener el grado de Maestro en Ciencias con opción terminal en Ciencias Agrícolas, después de haber revisado en contenido y formato damos nuestra aprobación para que continúe con los tramites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE



DR. ÁLVARO CAN CHULIM
DIRECTOR



DRA. ELIA CRUZ CRESPO
CO-DIRECTOR



DR. RUBÉN BUGARÍN MONTOYA
ASESOR



DR. HÉCTOR MANUEL ORTEGA ESCOBAR
ASESOR



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/114/17.

Xalisco, Nayarit; 06 de julio de 2017.

ING. JOSÉ ERNESTO VILLANUEVA TREJO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 27 de junio del presente, enviado por los **CC. Dr. Álvaro Can Chulim, Dra. Elia Cruz Crespo, Dr. Rubén Bugarín Montoya y Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar**, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza al **C. Jonás Alan Luna Fletes**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado del Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente

&mfem

Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. C.P. 63780. Xalisco,
Nayarit. Tels. (311)2-11-01-28 y 2-11-11-63 Posgrado (CBAP) 2-11-24 78.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento para realizar mis estudios de maestría.

Al posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias por darme la oportunidad de iniciar, continuar y concluir mi maestría satisfactoriamente.

A los integrantes de mi cuerpo tutorial, Dr. Álvaro Can Chulim, Dra. Elia Cruz Crespo, Dr. Rubén Bugarin Montoya y Dr. Héctor Manuel Ortega Escobar, por su valiosa enseñanza, apoyo y motivación durante mis estudios de maestría, cada uno de ustedes fue parte fundamental para mi formación, MUCHÍSIMAS GRACIAS.

A la M.C. María Goreti Valdivia Reynoso e Ing. Azucena Benavides Langarica (Susy) por su apoyo en las determinaciones de calidad de fruto, parte fundamental en mi trabajo de investigación, además por su amistad y gratas charlas después de un arduo trabajo en laboratorio.

A los maestros con los que tuve la fortuna de llevar clases, gracias por sus grandes enseñanzas y conocimientos compartidos, por impulsarme a seguir adelante en mi formación.

A mis compañeros, Ing. Fabiola Cinco García e Ing. Juan Carlos Avilez Martínez por su amistad y apoyo en todo el proceso de mi maestría. Ha sido una dicha estudiar a su lado.

A Anahí Monserrat Ruvalcaba Inda y su familia, por ser una fuente de apoyo incondicional, por sus consejos, sus palabras de aliento y por estar presentes en mi vida.

A mis Amigos, ya que nuestros amigos son los hermanos que Dios olvidó darnos.

A TODOS, MUCHAS GRACIAS

DEDICATORIAS

A MI MARAVILLOSA MADRE GLORIA FLETES LÓPEZ[†] que puede escucharme y verme desde el cielo, a quien le dedico todos mis logros hoy y siempre, ya que su gran cariño y su estímulo fue mi impulso para llegar al final.

A MI PADRE RAMÓN LUNA LÓPEZ, con quien quiero compartir este logro, gracias por creer en mí, por su confianza y apoyo incondicional en todo momento, por ser el mejor papá.

A MIS HERMANOS, RAMÓN, HAYDEE Y NERINA, por acompañarme en todo momento de la vida y estar conmigo en las buenas y en las malas, pero sobre todo por preocuparse por su hermano menor.

SUSTRATOS, SOLUCIONES NUTRITIVAS E INTENSIDAD DE RALEO DE FRUTOS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY EN HIDROPONÍA

Jonas Alan Luna Fletes, M.C.

Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, 2017.

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en México es uno de los principales cultivos que se produce en hidroponía e invernadero. Actualmente se buscan tipos o variedades que proporcionen utilidades superiores, entre éstas una buena alternativa es el tomate cherry, ya que se ha posicionado como una hortaliza apreciable por los consumidores. Sin embargo, el tomate hidropónico requiere de sustratos adecuados y soluciones nutritivas específicas, además de alternativas en el manejo de la fructificación, con la finalidad de mejorar la producción y calidad del producto. Por ello, los objetivos de este trabajo de investigación fueron: 1) evaluar los sustratos pumita y tezontle del estado de Nayarit en combinación con dos soluciones nutritivas, sobre el crecimiento y producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero y 2) evaluar dos soluciones nutritivas en combinación con dos intensidades de raleo de fruto sobre la producción y calidad poscosecha de tomate cherry. Este trabajo de investigación se realizó en la Unidad Académica de Agricultura en dos fases. En la primera fase, se evaluó el crecimiento y producción de tomate cherry, los tratamientos se formaron con un arreglo factorial 2 x 2 que correspondieron a dos soluciones nutritivas y dos sustratos. Los resultados mostraron que la solución nutritiva de Steiner incrementó la producción y crecimiento de tomate cherry, respecto a la solución de Castellanos. Además, se encontró que las plantas cultivadas en el sustrato pumita obtuvieron la mayor producción de fruto y crecimiento en relación a las plantas en tezontle. En la segunda fase, se evaluó la producción y calidad del fruto de tomate cherry con dos soluciones nutritivas y dos intensidades de raleo de fruto en un arreglo factorial 2 x 2. Se encontró que las plantas regadas con la solución nutritiva de Steiner presentaron mayor tamaño y producción de fruto, y también mejoraron variables de calidad de fruto. Las plantas manejadas con 12 frutos por racimo mejoraron todos los atributos de calidad, sin embargo, al manejar plantas con 16 frutos lograron una mayor producción de frutos.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, pumita, solución de Steiner, raleo de frutos.

SUBSTRATES, NUTRITIVE SOLUTIONS AND FRUIT THINNING INTENSITIES IN THE PRODUCTION AND QUALITY OF CHERRY TOMATO IN HYDROPONY

Jonas Alan Luna Fletes, M.C.

Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, 2017.

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Mexico is one of the main crops that is produced in hydroponics and greenhouse, currently looking for types or varieties that achieve higher profits, a good alternative is the cherry tomato, since it has been positioned as a vegetables appreciable by consumers. However, the hydroponic tomato requires adequate substrates and specific nutrient solutions, as well as alternatives in the management of fruiting, in order to improve the production and quality of the crop. Therefore, the objectives of this research were: 1) evaluate the pumita and tezontle substrates of the state Nayarit in combination with two nutrient solutions, on the growth and production of 'Sweet Treats' cherry tomatoes in greenhouse and 2) evaluate Two nutrient solutions in combination with two fruit thinning intensities on production and quality of cherry tomato. This research work was carried out in the Unidad Académica de Agricultura in two stages. In the first stage, the growth and production of cherry tomatoes were evaluated, treatments were formed with a 2 x 2 factorial arrangement corresponding to two nutrient solutions and two substrates. The results showed that the nutrient solution of Steiner increased the production and growth of cherry tomato, with respect to the Castellanos solution. In addition, it was found that the plants cultivated in the pumita substrate obtained the highest production of fruit and growth in relation to the plants in tezontle. In the second stage, the production and quality of the cherry tomato fruit were evaluated with two nutrient solutions and two intensities of fruit thinning in a 2 x 2 factorial arrangement. It was found that the plants irrigated with the nutrient solution of Steiner presented larger size and fruit production, and also improved fruit quality variables. However, plants managed with 12 fruits per cluster improved all quality attributes, however. The managing plants with 16 fruits, a greater number and fruit production were achieved.

Index words: *Solanum lycopersicum*, pumita, Steiner solution, fruit thinning.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	14
2. OBJETIVO GENERAL.....	15
3. HIPÓTESIS GENERAL.....	15
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
4.1 Generalidades del tomate.....	16
4.1.1 Descripción taxonómica y morfológica.....	16
4.1.2 Importancia mundial.....	17
4.1.3 Importancia nacional.....	17
4.1.4 Tipos de tomate.....	18
4.2 Importancia del tomate cherry en México.....	19
4.3 La cosecha del tomate.....	20
4.4 Calidad de tomate.....	20
4.4.1 Tamaño.....	20
4.4.2 Forma.....	21
4.4.3 Color.....	21
4.4.4 Firmeza.....	22
4.4.5 Sólidos solubles totales.....	23
4.4.6 pH.....	23
4.4.7 Acidez titulable.....	24
4.5 Generalidades del raleo de frutos.....	24

4.5.1 Raleo de frutos en tomate.....	25
4.6 Sustratos.....	25
4.6.1 Ventajas y desventajas de los sustratos.....	26
4.6.2 Tezontle.....	27
4.6.3 Pumita.....	27
4.7 Solución nutritiva.....	28
4.7.1 pH de la solución nutritiva.....	29
4.7.2 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	29
4.7.3 Relación mutua entre aniones y cationes.....	30
5. LITERATURA CITADA.....	30
6. CAPÍTULO I. SUSTRATOS MINERALES Y SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE TOMATE CHERRY EN INVERNADERO.....	39
RESUMEN.....	39
SUMMARY.....	39
6.1 INTRODUCCIÓN.....	40
6.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
6.3.1 Interacción de la solución nutritiva x sustrato.....	45
6.3.2 Efecto de la solución nutritiva en el crecimiento y producción de fruto.....	46
6.3.3 Efecto de sustratos en el crecimiento y producción de fruto.....	50
6.3.4 Efecto de la solución nutritiva en lecturas SPAD.....	53
6.3.5 Efecto del sustrato en lecturas SPAD.....	54
6.4 CONCLUSIONES.....	55
6.5 LITERATURA CITADA.....	55

7. CAPÍTULO II. INTENSIDAD DE RALEO DE FRUTO Y SOLUCIONES NUTRITIVAS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY.....	60
RESUMEN.....	60
SUMMARY.....	60
7.1 INTRODUCCIÓN.....	61
7.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	62
7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
7.3.1 Interacción de la solución nutritiva x raleo de fruto.....	66
7.3.2 Efecto de la solución nutritiva en variables de tamaño y producción de fruto.....	67
7.3.3 Efecto del raleo de fruto en variables de tamaño y producción de fruto.....	68
7.3.4 Efecto de la solución nutritiva en variables de calidad de fruto.....	69
7.3.5 Efecto del raleo de fruto en variables de calidad de fruto.....	74
7.4 CONCLUSIONES.....	76
7.5 LITERATURA CITADA.....	77
CONCLUSIONES GENERALES.....	82
ANEXOS.....	83

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Color en el proceso de maduración de tomate fresco para comercialización.....	22
Cuadro 2. Formulación de soluciones nutritivas utilizadas en la producción de tomate.....	28
Cuadro 3. Propiedades físicas de los sustratos utilizados en la producción de tomate cherry Sweet Treats.....	43
Cuadro 4. Composición química de las soluciones nutritivas al 100 % utilizadas para la producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	43
Cuadro 5. Altura de planta y diámetro de tallo de cultivo de tomate cherry Sweet Treats a diferentes días después de trasplante en invernadero.....	48
Cuadro 6. Número de hojas, área foliar y producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	50
Cuadro 7. Acumulación de biomasa fresca y biomasa seca de parte aérea de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	51
Cuadro 8. Acumulación de biomasa fresca y biomasa seca de raíz de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	52
Cuadro 9. Correlaciones entre las variables de crecimiento y producción de fruto evaluadas en el cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	53
Cuadro 10. Lecturas SPAD en hojas del cultivo de tomate cherry Sweet Treats a diferentes fechas de muestreo en invernadero.....	54
Cuadro 11. Composición química de las soluciones nutritivas al 100 % utilizadas para la producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	64
Cuadro 12. Diámetro ecuatorial, diámetro distal, peso medio de fruto y producción total de fruto de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.....	68

Cuadro 13. Correlaciones entre las variables de tamaño y producción de fruto evaluadas en el cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	69
Cuadro 14. pH, sólidos solubles totales y acidez titulable de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.....	71
Cuadro 15. Firmeza y vida de anaquel de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.....	72
Cuadro 16. Pérdida de peso de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.....	73
Cuadro 17. Luminosidad, hue y croma de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.....	75
Cuadro 18. Correlaciones entre las variables de calidad de fruto evaluadas en el cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	76

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Temperatura y humedad relativa durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	42
Figura 2. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	42
Figura 3. Interacciones del efecto de la solución nutritiva x sustrato. A= altura de planta (AP); B= diámetro de tallo (DT); C= biomasa fresca de parte aérea (BFP); D= producción de fruto por planta (PFP).....	46
Figura 4. Temperatura y humedad relativa durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	63
Figura 5. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.....	63

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción en invernadero a nivel mundial ha aumentado de forma constante, y se estima que la superficie cultivada en invernadero en el mundo es alrededor de 750 000 ha (Jouet, 2005). También en México este sistema de producción está en constante crecimiento, al igual que el uso de sistemas de cultivo en hidroponía (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011). Por lo tanto, en combinación con los invernaderos, el cultivo hidropónico es hoy en día el método más intensivo de producción de hortalizas, el cual surge como una alternativa a la agricultura tradicional (Velasco *et al.*, 2011). Sin embargo, uno de los principales factores que determinan el éxito en el manejo de estos sistemas es el sustrato o medio de crecimiento (Ocampo *et al.*, 2005). Existen diversos tipos de sustratos; no obstante, las tendencias actuales es el uso de los sustratos regionales dada la disponibilidad, menor costo y cuidado del ambiente (Cruz-Crespo *et al.*, 2012). En Nayarit se pueden encontrar materiales como la roca volcánica basáltica roja o negra comúnmente denominada tezontle y la pumita, conocida localmente como jal, que se pueden utilizar como sustratos, ya que presentan características favorables para la producción como la buena aireación, químicamente inertes, accesibles en costo, y se pueden reutilizar por largo tiempo.

En hidroponía, las necesidades nutrimentales de las plantas son satisfechas por la adición de nutrimentos al agua (Juárez-Hernandez *et al.*, 2006). Cada especie vegetal requiere de una solución con características específicas (Gómez-Hernández y Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2003). Por lo tanto, se deben buscar formulaciones que contribuyan a la expresión del mayor potencial de la producción para cada especie.

Por otra parte, la calidad de fruto es importante para el consumidor y esta se evalúa por la apariencia, color, textura, composición en madurez de consumo, sanidad, sabor y aroma (San Martín-Hernández *et al.*, 2012). Estas características son afectadas por diversos factores, tales como la nutrición, edad de la planta y manejo. Como ejemplo de este último se señala al número de frutos por racimo de tomate, ya que al eliminar flores o frutos de las partes distales, los asimilados se reparten entre menos frutos y así se pueden mejorar las características organolépticas y tamaño de frutos (Ucan-Chan *et al.*, 2005). En estudios donde se han evaluado intensidades de raleo en tomate no especifican el número de frutos por racimo para tipo cherry, ya que de manera práctica, en el manejo que se le otorga a estas plantas, la

cantidad de frutos que se dejan es a su máxima capacidad de producción, generando frutos pequeños y de mala calidad o frutos que no cumplen con las características específicas de calidad para su comercialización.

En los sistemas de producción protegidos se buscan cultivos con un margen de utilidad superior a los obtenidos en los sistemas tradicionales o convencionales. Los estudios han demostrado que variedades como el tomate tipo cherry tienen un valor comercial superior a los demás (Márquez-Hernández *et al.*, 2006), debido a que este tipo de tomate se está convirtiendo en una hortaliza de consumo cotidiano y muy apreciada en los mercados internacionales. Por ejemplo, en el periodo 2009 - 2010 se exportaron 23 134 t de tomate cherry, el 65 % del total de la producción del país, de los cuales el 96 % se exportó a Estados Unidos (Steta, 2011).

Ante estos antecedentes, se planteó la presente investigación, la cual se realizó en dos fases: 1) Sustratos minerales y soluciones nutritivas en el crecimiento y producción de tomate cherry en invernadero. 2) Intensidad de raleo de fruto y soluciones nutritivas en la producción y calidad de tomate cherry. Los objetivos fueron, aportar una alternativa de sustratos, que tienen disponibilidad regional y son económicamente accesibles comparados con otros sustratos comerciales; y también de evaluar soluciones nutritivas que ayuden a expresar el mayor potencial de producción de tomate tipo cherry, y a su vez darle un manejo a diferente número de frutos por racimo para obtener mejor calidad.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar dos sustratos regionales en combinación con dos soluciones nutritivas, en la producción y calidad de tomate cherry hidropónico, manejado con diferente número de frutos por racimo y tratamiento.

3. HIPÓTESIS GENERAL

La producción y calidad de tomate cherry tendrá diferente patrón de comportamiento, debido a la variación de la composición química de las soluciones nutritivas, los diferentes sustratos y las distintas intensidades de raleo de frutos.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Generalidades del tomate

El tomate es originario de América y de manera más precisa de la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú), donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres, el cual se origina en las Islas Galápagos. Sin embargo, existen evidencias de que fue domesticado en México (Rodríguez *et al.*, 2001).

En países como Portugal, España e Italia el tomate se utilizó desde un principio para la alimentación humana, mientras que en otros países solo era utilizado como planta ornamental debido a la coloración de sus flores y frutos, fue hasta el siglo XVIII cuando se utilizó como hortaliza (Coronel y Castillo, 2009).

La difusión del cultivo de tomate en el resto del mundo fue por parte de los españoles y portugueses, quienes llevaron sus costumbres alimenticias, existiendo indicios de la presencia de tomate en Filipinas y China a mediados del siglo XVII y en África en el siglo XVIII. A partir del siglo XIX, las últimas regiones en adoptar el tomate como alimento en su dieta fueron los ingleses como Estados Unidos y Australia (Hernández, 2012).

4.1.1 Descripción taxonómica y morfológica

El tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia de las solanáceas del género y especie *Solanum lycopersicum* (Cueto, 2010). La planta presenta una raíz principal que crece 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad, simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. El sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad, y se estima que un 75 % del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm superiores del terreno (Rodríguez *et al.*, 2001).

El tallo es erguido y cilíndrico en planta joven, a medida que ésta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Presenta tricomas en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática (Rodríguez *et al.*, 2001). Las hojas son cortas, de tamaño medio o largas (George, 1999), son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos (Huerres y Caraballo, 2000). La flor se presenta formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50

flores por racimo, estas aparecen entre los 50 y 60 días después de la siembra. Cuando las inflorescencias se producen alternando con cada hoja o dos hojas se dice que la planta es de crecimiento determinado, si la alternancia es más espaciada la planta se dice de crecimiento indeterminado. Normalmente entre las primeras predomina la precocidad y el porte bajo, y las segundas son más tardías y de porte alto (Rodríguez *et al.*, 2001).

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene una proporción del 33% del peso fresco del fruto (Curtis, 1996). Botánicamente, un tomate está compuesto de varios lóculos, consistente de semillas dentro de un pericarpio carnoso desarrollado de un ovario. Su forma puede ser redonda, achatada o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada. Una variedad comercial contiene alrededor de 150 a 300 semillas por fruto (Desai *et al.*, 1997).

4.1.2 Importancia mundial

El tomate a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia después de la papa (*Solanum tuberosum* L.) (FAOSTAT, 2013). En el año 2010 la producción de tomate fue de 124 548 597 toneladas, siendo los cuatro países con mayor producción China (33.63 %), Estados Unidos (10.36 %), India (9.62 %) y Turquía (8.07 %). La superficie cosechada en el mundo ha tenido modificaciones, China ha incrementado su producción y superficie; en el caso de México se han incrementado los rendimientos y disminuido la superficie cosechada (FAO, 2013). La FAO reporta que la producción mundial se ha incrementado en un 26 % en el periodo 2000-2008 (FAOSTAT, 2013).

4.1.3 Importancia nacional

El tomate en México, es la segunda especie hortícola con mayor importancia económica y social dado que en el 2004 ocupó el 16 % del valor total de las exportaciones agropecuarias y el 30 % del total del sector hortícola (INEGI, 2005). Además, el tomate es el producto hortícola de mayor exportación (Muñoz *et al.*, 2003). La cosecha y comercialización de tomate son actividades que generan 72 mil empleos directos y aproximadamente 10.7 millones de empleos indirectos (SAGARPA, 2009).

Por otra parte, la superficie del cultivo en invernadero ha tenido un crecimiento en los últimos años lo cual ha permitido alcanzar mayores rendimientos en condiciones que difícilmente se lograrían a campo abierto (García-Martínez *et al.*, 2010). Para el año 2009 se estimó un

crecimiento de 2.7 % en la producción, ubicándola en 2.4 millones de toneladas, siendo el principal productor el estado de Sinaloa, cuya producción representó el 35 % del total nacional, por el segundo lugar Baja California con 9 %, siguiendo en la lista los estados de Michoacán, San Luis Potosí y Jalisco con 8 %, 6 % y 5 %, respectivamente (SIACON, 2009).

En el estado de Nayarit, la superficie sembrada de tomate fue de 1 535 hectáreas, con una producción de 48 192 t (SIAP, 2013).

4.1.4 Tipos de tomate

El tomate tiene una gran diversidad en tipos, existen variedades con distinta forma, tamaño y color, desde el punto de vista exterior y con distinto sabor, textura y firmeza desde el interior. Los atributos más apreciados por el consumidor son el color y el sabor, los cuales deben ser atractivos (Fooland, 2007). De manera general, los tipos de tomate se pueden clasificar por el hábito de crecimiento de la planta y por la forma del fruto.

Por el hábito de crecimiento de la planta. De acuerdo con Atherton y Rudish (1986), los tipos de crecimiento de las plantas de tomate puede ser determinado o indeterminado. En las plantas de hábito determinado hay una fuerte brotación de yemas axilares y se producen menos hojas y el crecimiento es pequeño, a la cual también se le llama planta de hábito arbustivo. Las plantas de crecimiento indeterminado poseen una yema apical, la cual se encarga del crecimiento de la planta e inhibe la brotación de otras yemas, por un determinado tiempo. Esta yema crece y mueve a la hoja más joven a una posición por encima de la inflorescencia, la cual es desplazada hacia el costado, dando el crecimiento continuo al tallo principal.

Por la forma del fruto. Al respecto, Costa y Heuvelink (2005) clasifican los tipos de tomate de mayor consumo, según la forma del fruto, los cuales son:

Saladette: este se caracteriza por tener una forma alargada, un color rojo intenso y brillante y por tener tres lóculos.

Bola: es una variedad muy buscada por los consumidores, tiene una forma redonda y grande, tiene un peso promedio entre 70 y 100 g y posee de cuatro a seis lóculos.

Uva: son frutos pequeños alargados, de color rojo intenso, su tamaño es de 2.7 cm de largo por 1.8 cm. Este tomate es un híbrido con un sabor dulce, es de consistencia firme y una excelente forma.

Acostillado: son frutos grandes con un peso de 70 a 80 g, de color rojo intenso, con piel gruesa y sabor dulce, tiene de seis a ocho lobulos irregulares lo cual le da la forma acostillada.

Cherry: son frutos pequeños, de color rojo, con un peso de 10 a 30 g y un diámetro de 1.6 a 3.5 cm y tiene de dos a cuatro lóculos. El componente que tiene en mayor cantidad es agua, por lo tanto este tipo de tomate es un alimento de muy bajo aporte de calorías. Después del agua el componente que más contiene son los azúcares, los cuales proporcionan un sabor dulce más parecido a las frutas que al resto de las hortalizas, también un alto contenido de vitaminas C y E, así como presencia de carotenos, por lo que es una importante fuente de antioxidantes (Fernández-Ruiz *et al.*, 2004).

4.2 Importancia del tomate cherry en México

La producción nacional de tomate cherry se concentra en los estados de Sinaloa (31.14 %), Tamaulipas (27.76 %), Sonora (18.64 %), Jalisco (11.27 %), Baja California Sur (5.48 %), Colima (4.85 %) y Baja California (0.82 %), que en conjunto aportan el 99.96 % de la producción del país (SIACON, 2009). Los estados en los que se ha incrementado la producción de tomate cherry son: Sinaloa, Tamaulipas, Sonora y Jalisco.

Para Nayarit no existen reportes en cuanto a la producción de tomate cherry, sin embargo lo más destacado de este cultivo en el estado, de acuerdo a Juárez-López *et al.* (2011), es la empresa NatureSweet que tiene la mayor superficie de invernaderos dedicados a la producción de tomate cherry en el Continente Americano, con alrededor de 500 ha distribuidos en los estados de Jalisco, Colima y Nayarit.

La superficie sembrada de tomate cherry en México fue de 1 544 ha, con un rendimiento promedio de 27.48 t ha⁻¹ en condiciones de campo abierto (SIAP, 2013). En tanto que, bajo invernadero se reportó un rendimiento promedio de 68.32 t ha⁻¹ (Márquez-Hernández *et al.*, 2006).

Este tipo de tomate es importante, ya que se consume tanto en fresco como para cocinar, se usa en la repostería, ensaladas, botanas y salsas. Este tomate se puede encontrar durante todo

el año y por lo general los frutos que están a la venta suelen ser tomates ya maduros y limpios listos para su consumo. Los tomates cherry aportan un toque de color y aroma a platos de todo tipo como pastas, arroz, legumbre, carne y pescado. En ocasiones se presentan partidos por la mitad como decoración en platillos ofreciendo una apariencia muy agradable (Rodríguez, 2011).

4.3 La cosecha del tomate

El tomate se debe cosechar en un momento óptimo, el cual depende de la variedad, la distancia del mercado donde será comercializado o la cercanía del consumidor. En general, el tomate se debe cosechar en estado verde maduro para los mercados más lejanos y en estado de color maduro para los que estén más cerca de la producción (Sangiaco *et al.*, 2002).

Existen normas y procedimientos generales que se deben seguir para la cosecha de tomate, como proteger al producto de la deshidratación en épocas calurosas, no cosechar los frutos húmedos por el rocío o mientras se registren altas temperaturas, se deben cosechar los frutos con cuidado para evitar daños mecánicos y hacer una clasificación y separar aquellos frutos que presenten daños por plagas, enfermedades y deformaciones (Jaramillo *et al.*, 2007).

4.4 Calidad de tomate

La calidad de un fruto se relaciona con la percepción de cada persona para comparar una cosa con otra de la misma especie. La calidad se define como la suma de todas las características o atributos que combinados hacen a las frutas o vegetales aceptables y deseables para los consumidores (Darwin, 2005).

En los frutos de tomate los porcentajes de carbohidratos, lípidos, proteínas, fibras y vitaminas no son altos, debido a la gran cantidad de agua que contienen. Considerando lo que busca el consumidor y las necesidades del mercado, la calidad se ha centrado en las características organolépticas (Sortino *et al.*, 2013). La calidad de tomate fresco está determinada no solamente por la apariencia, tamaño, forma, firmeza, textura o el sabor de los frutos, sino también por otros factores como el color, el aroma, la composición química de metabolitos primarios como azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos, y secundarios como los compuestos fenólicos, carotenoides, flavonoides (Thybo *et al.*, 2006). Por lo tanto, el color, el sabor y la firmeza de los frutos son características importantes, ya que son atributos críticos para la primera percepción de los consumidores a la hora de seleccionar el producto.

4.4.1 Tamaño

El tamaño es un criterio importante de calidad que se puede determinar fácilmente, ya sea mediante la medición del diámetro, la longitud y el peso. Existen distintos estándares, dependiendo del destino del producto (Willis *et al.*, 2004). Por lo tanto, la aceptación del tamaño del fruto lo determina el mercado al cual va dirigido.

En el caso de los frutos de tomate el tamaño y la calidad están genéticamente condicionados por la variedad, fisiológicamente por la actividad fotosintética de la planta, el número de frutos, posición del fruto en el racimo y posición del racimo en la planta, lo cual repercute sobre el crecimiento de los frutos (Fernández-Ruiz *et al.*, 2004).

4.4.2 Forma

La forma de los frutos es un criterio que nos permite distinguir entre diversos cultivares de una misma especie. El consumidor exige un producto de una forma determinada y rechaza los frutos que no lo posean (Wills *et al.*, 2004).

La gran variedad de tipos de tomate son diferentes en la forma del fruto, estos pueden ser ovalados, esféricos y alargados. Por tanto, los defectos en la forma se relacionan con una pobre polinización y el desarrollo irregular del fruto, que pueden afectar la apariencia, firmeza, susceptibilidad a la pudrición y disminuir el contenido de azúcares (Kader, 1986).

4.4.3 Color

El color es una medida de calidad en frutos y en muchas ocasiones es la más importante a considerar (Nuez, 1995). El tomate es un fruto climatérico, su maduración es acompañada por un cambio de color y otras propiedades, este parámetro es un buen indicador de la madurez del tomate y de la mayoría de productos hortícolas (Nunoo *et al.*, 2014). El color característico del tomate es debido a los carotenos, de los cuales el licopeno es el principal, comprende 83 % de los pigmentos totales que se encuentran presentes, el resto son: fitoeno, luteína, β -caroteno, neurosporeno, fitoflueno que constituyen de 3 a 7 % del total de carotenoides contenidos en el fruto de tomate (Thakur *et al.*, 1996).

Para consumo en fresco a nivel comercial los tomates son cosechados cuando están firmes y presentan una coloración verde y estos son almacenados a temperaturas de 5 a 7 °C, son

expuestos a etileno de manera exógena para inducir su maduración antes de llegar a los puntos de venta (Zhang *et al.*, 2013).

Anteriormente, para medir la coloración de frutos de tomate se realizaban cartas que proporcionaban una interpretación subjetiva del color de los frutos. Actualmente, se utilizan instrumentos portátiles que miden el color con mayor precisión, por medio de la reflexión de la luz mediante la escala Hunter (L, a, b) y CIE (L*, a*, b*). En el Cuadro 1 se presentan algunas características sobre la madurez de tomate que se encuentran en el mercado, tomando de referencia el color del fruto.

Cuadro 1. Color en el proceso de maduración de tomate fresco para comercialización

Clase	Número	Hue (°)	Descripción
Verde maduro (Mature Green)	1	115.0 a 109.2	Fruto bien desarrollado, completamente verde; 2 a 5 días antes de completar maduración.
Verde quebrante (Breaker).	2	109.1 a 93.3	Primer color externo rosa o amarillo.
Pintón (Turning)	3	93.2 a 78.2	Entre 10 y 30% de la superficie color rosado a rojo
Rosa (Pink)	4	78.1 a 65.0	Entre 30 y 60% de la superficie color rosa.
Rojo claro (Ligh red)	5	64.9 a 59.3	Más de 60% color rojo-rosado
Rojo (Red)	6	59.2 a 37.1	Más de 90% color rojo

Fuente: López y Gómez, 2004; Cantwell, 2006.

4.4.4 Firmeza

La firmeza en tomate es un parámetro que mide la resistencia de penetración de los tejidos del fruto, y es importante, porque se relaciona con la sanidad, la cantidad de azúcares, el pH, el sabor y el aroma del fruto, sobre todo cuando el fruto tiene la madurez de consumo (Riquelme, 1995). Este atributo es uno de los componentes importantes para el empaclado y transporte de

los frutos frescos, y es afectada de manera directa por muchos factores como la nutrición, la interacción entre la cantidad de agua y el contenido de calcio en el fruto (Taylor *et al.*, 2002).

Un factor importante en la pérdida de la firmeza o el ablandamiento del fruto es la temperatura a la que son sometidos. Como reportan Znidarcic *et al.* (2010) los frutos sometido a altas temperaturas presentan mayor ablandamiento de tejido, debido a una mayor actividad respiratoria y transpiración, los cual promueve la maduración y por lo tanto una pérdida en firmeza.

4.4.5 Sólidos solubles totales

Se refiere a la cantidad de compuestos que son solubles en agua. Para tomate y la mayoría de las frutas los sólidos solubles están constituidos principalmente por azúcares tales como glucosa, fructosa y sacarosa, y en menor grado por ácidos orgánicos como el ácido cítrico, málico y ascórbico, y algunas proteínas. El contenido de sólidos solubles se mide con un refractómetro, expresando su resultado en % o °Brix (Lizama, 2000).

En el caso de los tomates este parámetro depende de la variedad, la nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la solución nutritiva, estrés hídrico, factores ambientales (alta densidad de luz, fotoperiodos largos y tiempo seco en cosecha) y genéticos (fruto pequeño, hábito determinado) (González *et al.*, 2004). En diversas variedades los sólidos solubles totales oscilan en 4.5 y 5.5 °Brix (Nuez, 1995).

4.4.6 pH

Este concepto de manera general se refiere a la cantidad de iones H^+ presentes en una solución y se indica como carácter básico o ácido, y se expresa dependiendo de la concentración de iones H^+ afirmando que el pH con valor de 7 es neutro, 6 es ácido y 8 es básico (Ansorena, 1994).

En los frutos de tomate, el pH es una característica que se relaciona con los cambios que sufren las frutas durante la maduración y la senescencia. Para un buen sabor en los frutos de tomate, se consideran valores de pH inferiores a 4.4 y contenido de azúcares superiores a 4.0 y 4.5 °Brix (Nisen *et al.*, 1990). Por lo tanto el grado de maduración afecta el pH del fruto el cual oscila entre 4 y 4.8 (Jones, 1999). Para ser industrializado, el tomate debe tener pH de 4.4, aunque este puede aumentar con el tiempo de conservación (San Martín-Hernández *et al.*,

2012). Por lo tanto, existe una correlación entre el pH y el contenido de ácidos en el fruto de tomate, ésta puede observarse al analizar los ácidos constituyentes de varios tipos de tomate y tejidos del fruto (Rezende-Fontes *et al.*, 2000).

4.4.7 Acidez titulable

La acidez titulable es una medida del contenido de ácidos orgánicos, mide la cantidad de protones que pueden ser neutralizados. Los frutos de tomate principalmente contienen, ácido cítrico (9 %) ácido málico (4 %) y ácido ascórbico (2 %). La acidez en tomate en estado de madurez de consumo se debe encontrar en un rango de 0.25 a 1.1 % de ácido cítrico en base a su peso fresco (Darwin, 2005). Los ácidos orgánicos en la maduración son convertidos en azúcares, estos pueden ser considerados como una reserva energética, por lo tanto, al madurar el fruto de tomate estos ácidos disminuyen en el periodo de actividad metabólica máxima durante el curso de la maduración (Wills *et al.*, 2004).

El ácido que se encuentra en mayor cantidad en el fruto de tomate es el ácido cítrico, seguido del málico, éstos se encuentran en la cavidad locular y en baja proporción en el mesocarpio externo (Nuez, 1995). La máxima acidez de los frutos de tomate se encuentra en la aparición del color rosado, después se empieza a reducir con la maduración (Winsor *et al.*, 1962). La salinidad incrementa el contenido de ácido cítrico en tomate, al disminuir la cantidad de agua (Flores *et al.*, 2003).

4.5 Generalidades del raleo de frutos

En general la producción de un gran número de flores asegura la reproducción de la especie, pero desde el punto de vista de la fructificación, la floración excesiva no se desea, pues significa una competencia por nutrientes y por lo tanto quedan frutos pequeños, de mala calidad y de escaso valor comercial, por lo cual se utiliza la técnica de raleo de frutos (Chamorro, 2000).

El número de frutos por inflorescencia está determinado por el amarre, y tiene también un efecto sobre el tamaño final del fruto, se ha mostrado que disminuye cuando el número de inflorescencias por planta aumenta. Por estas razones, el número de frutos por inflorescencia es un componente importante del rendimiento del fruto (Bertin, 1995).

Cuando el número de frutos es reducido mediante raleo, los asimilados que estaban destinados a los frutos removidos serán atraídos y asimilados por los frutos que quedaron en el racimo, como resultado el racimo aumentara su rendimiento y el rendimiento por planta será compensado por un mayor tamaño de fruto (Heuvelink, 1997). Mediante la reducción del número de frutos distales de los racimos, se puede aumentar la proporción de fruta de tamaños deseados. El raleo de frutos induce un aumento en el peso de los frutos que permanecen en los racimos, pero el rendimiento por unidad de superficie disminuye (Ucan-Chan *et al.*, 2005).

4.5.1 Raleo de frutos en tomate

El número de frutos por racimo en tomate depende del tipo y de la variedad con que se esté trabajando, lo cual influye en el tamaño final de los mismos. Las inflorescencias con un gran número de flores es necesario despuntarlas, para que los frutos crezcan de buen tamaño y para evitar que se desprenda el racimo. Por lo tanto el raleo de frutos debe ser tan oportuno como sea posible (Berenguer, 2003).

Esta técnica puede aumentar el peso de los mismos en un 50-60 % y se pueden obtener frutos de mayor tamaño, además se reflejan cambios en el vigor general de la planta, con las plantas raleadas teniendo los tallos y hojas más gruesas (Ehret *et al.*, 1993). Al remover cerca del 30 % de los frutos de la parte distal de cada racimo el peso fresco promedio de cada uno de los frutos restantes aumenta considerablemente, compensado parte del rendimiento que se pierde al cortar flores o frutos de cada planta (Cockshull y Ho, 1995).

Ucan-Chan *et al.* (2005) evaluaron el efecto de diferentes densidades de población y raleo de frutos de tomate tipo bola sobre el rendimiento y tamaño de fruto. Ellos combinaron cuatro densidades (6, 8, 9 y 12 plantas/m²) y tres intensidades de raleo de frutos (sin raleo, raleo a tres y raleo a cuatro frutos por racimo). En el cual concluyeron que el mayor número de frutos grandes y el mayor rendimiento se obtuvo con la mayor densidad, y que el raleo de frutos indujo a un aumento en el peso de los frutos, pero el rendimiento fue menor. Por lo tanto, la mejor combinación que encontraron en cuanto a rendimiento y número de frutos grandes, fue la densidad de 12 plantas/m² y sin raleo de frutos.

4.6 Sustratos

En los últimos años se han realizado un gran número de investigaciones en relación a la utilización de sustratos para la producción de cultivos sin suelo. Existen una infinidad de

sustratos, estos se pueden usar solos o mezclas, o bien darles un proceso de transformación de modo que se obtengan materiales con propiedades físico-químicas adecuadas para la producción de cultivos.

El sustrato se define como todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno, agua suficiente y en algunos casos nutrientes para el óptimo desarrollo de las plantas, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales son colocados en un contenedor (Cruz-Crespo *et al.*, 2012). Abad *et al.* (2004) señalan que el sustrato es todo material sólido distinto del suelo, el cual puede ser de origen mineral, orgánico, de síntesis o residual, que colocado en un contenedor permite el anclaje de la raíz y sirve como soporte para la planta. Por lo tanto, el medio de crecimiento tiene la función de proporcionar las condiciones para que las plantas se sostengan, absorban el agua y los nutrientes y permitan el intercambio de gases en el sistema radicular.

La presencia de suelos inadecuados para la producción por sobreexplotación, heterogeneidad, así como por no tener características físicas y químicas apropiadas para la producción de cultivos, ha llevado a desarrollar las técnicas de cultivo de plantas en contenedor (Cruz-Crespo *et al.*, 2012).

4.6.1 Ventajas y desventajas de los sustratos

La principal ventaja del uso de sustratos lo compone el mejor control de plagas y enfermedades de la raíz de un gran número de plantas hortícolas, las cuales son comunes cuando se utiliza el suelo como medio de crecimiento (Chávez-Aguilera *et al.*, 2009). Con el uso de sustratos se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, lo que favorece el desarrollo del cultivo, en este sistema se tiene un control más adecuado de la nutrición en comparación al producir en suelo. Además, con la utilización de medios de crecimiento se pueden realizar mezclas de diferentes materiales, que permiten mejorar las propiedades para un óptimo desarrollo y crecimiento de los cultivos (Garbanzo-León y Vargas-Gutiérrez, 2014).

Las desventajas que presenta la utilización de sustratos son: 1) no amortigua la falta temporal de agua y nutrientes, por lo tanto la interrupción de estas puede afectar drásticamente el desarrollo del cultivo. Además el cultivo en sustrato necesita de un 20 a 30 % más de agua para permitir el drenado y por ende evitar la acumulación de sales en el medio, 2) los

materiales que son empleados como sustrato por lo regular son importados de otros países por lo que adquirirlos es complicado, además el precio es muy elevado por lo que aumentan los costos de producción (Ojodeagua-Arredondo *et al.*, 2008).

En México, de la actividad minera se obtienen de manera natural materiales que se utilizan en la construcción, que pueden ser utilizados como medios de crecimiento, por ejemplo la grava, pumita (conocida localmente con jal), arena y el tezontle (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2013).

4.6.2 Tezontle

El tezontle es una roca ígnea, constituida por silicatos de aluminio los cuales son formados por fragmentos y partículas de lava. Este mineral es el sustrato más usado en el centro de México. Es un material que puede ser usado en los sistemas hidropónicos debido a sus características (Bastida, 1999). Es un material químicamente inerte, tiene un pH cercano al neutro, su capacidad de intercambio catiónico es muy bajo, tiene buena aireación, presenta una proporción variable de porosidad interna, que incluye a los poros cerrados, por lo que este tipo de porosidad facilita el traslado, cribado y llenado de contenedores al disminuir su densidad aparente (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2013). Además, es un material barato que se encuentra en grandes depósitos presentes en aquellos lugares donde existen volcanes.

Existen tipos de tezontle que se diferencian entre sí por su color y contenido de Fe, Mn, Ca y Mg, estas diferencias se relacionan con el contenido de sílicio presente en la roca y la temperatura de erupción, por lo que sus características físicas son determinadas principalmente por su composición mineralógica (Anicua-Sánchez, 2008).

4.6.3 Pumita

La pumita es una roca magmática efusiva, su componente principal es vidrio volcánico y sus componentes secundarios son hornblenda y piroxeno, es de color blanco a gris claro, tiene numerosas cavidades y es muy ligera. Se origina a partir de proyecciones volcánicas muy ricas en gases, encontrándose en capas producidas por lavas ricas en ácido silícico, lo que explica su composición química, ya que más del 50 % de su composición es SiO₂, el aspecto de estas rocas se debe a que se han consolidado con gran rapidez en la superficie terrestre, de modo que los minerales no han dispuesto de tiempo suficiente para la creación de grandes cristales (Larraz *et al.*, 1998).

La pumita presenta partículas de varios tamaños, porosidad interna alta, retención de humedad y aireación buena, drenaje apropiado, pH cercano al neutro y buena estabilidad, por lo tanto se puede utilizar en la producción de cultivos hidropónicos (Bastida, 1999).

4.7 Solución nutritiva

La solución nutritiva es agua y nutrimentos esenciales en forma iónica. Para que la solución nutritiva tenga disponibles los nutrimentos que contiene debe ser una solución verdadera, por lo tanto todos los iones se deben encontrar disueltos (Steiner, 1968). La composición de la solución nutritiva determina el éxito en la producción de cultivos hidropónicos. Por tanto las soluciones deben contener todos los elementos necesarios para las plantas, en las debidas condiciones y en las dosis convenientes, estas dosis dependen de la especie, la variedad y la etapa fenológica de la planta (Carpena *et al.*, 1987).

Cuadro 2. Formulación de soluciones nutritivas utilizadas en la producción de tomate

Solución	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
Relación porcentual en mol _c m ⁻³							
	-----Aniones-----			-----Cationes-----			
-							
Knop (1865)	79	10	11	23	66	11	-
Robbins (1946)	74	5	21	26	53	21	-
Hoagland y arnon (1950)	74	5	21	32	42	21	5
Steiner (1984)	60	5	35	35	45	20	-
Resh (1991)	44	8	48	40	40	12	8
Graves (1983)	50	6	44	40	44	16	-

Fuente: Asher y Edwards, 1983; Steiner, 1984; Jensen y Collins, 1985; Resh, 1991.

En los sistemas hidroponicos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo fertilizantes en agua, de tal manera que la selección de los fertilizantes está en función de diversos factores tales como, la proporción relativa de iones que se deben de añadir

a la solución, la solubilidad del fertilizante, su costo y su disponibilidad en el mercado (Parra-Terraza, 2004). En el Cuadro 2 se muestran algunas soluciones nutritivas que se han utilizado en la producción de tomate.

4.7.1 pH de la solución nutritiva

El pH de la solución nutritiva se determina por la concentración de los ácidos y de las bases, este se define una vez que se establece la proporción relativa de los aniones y los cationes, y la concentración total de ellos en meq L⁻¹, lo cual significa que el pH es una propiedad inherente de la composición química de la solución y no puede cambiar independientemente (De Rijck y Schrevens, 1998). El pH es importante para determinar la disponibilidad de los nutrientes, por eso es recomendable mantenerlo dentro de un rango que va de 6.0 a 6.5 (Steiner, 1984). Sin embargo, el pH de la solución no es estático, por lo cual se recomienda un constante monitoreo (Urrestarazu, 2004). De acuerdo con Favela-Chávez *et al.* (2006) el pH de la solución se controla con el fin de neutralizar la presencia de los bicarbonatos en el agua de riego, ya que estos iones producen un elevado pH, y un alto contenido de ellos en la zona radical provoca la inmovilización del P, Mn y Fe.

4.7.2 Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

Existe una relación entre la concentración de nutrimentos y la Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, ya que al aumentar la CE, la planta debe destinar mayor energía para absorber agua y nutrimentos (Ehret y Ho, 1986). La CE de la solución influye en la composición química de las plantas, al aumentar la CE aumenta la concentración de K⁺ en las plantas y disminuye el Ca²⁺, también se incrementa la concentración de P y en menor medida la de NO₃⁻, ambos a costa de SO₄²⁻ (Steiner, 1984).

El rango de conductividad eléctrica para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre 1.5 a 2.5 dS m⁻¹ (Urrestarazu, 2004). Si la solución nutritiva supera el rango óptimo de CE se debe agregar agua o en caso contrario si se encuentra por debajo del rango óptimo deberá renovarse totalmente. La medición de este parámetro se puede realizar con un conductímetro (Lara-Herrera, 2000).

4.7.3 Relación mutua entre aniones y cationes

Esta relación se basa en que la solución nutritiva debe estar balanceada en sus macronutrientes NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} para el caso de los aniones y K^+ , Ca^{2+} Mg^{2+} y NH_4^+ para cationes, el balance no es sólo en la cantidad de cada uno de ellos sino también en la relación numérica que se establece entre los cationes y los aniones (Steiner, 1961). Además, en la concentración de un ion, el problema más importante es la relación que tiene respecto a los otros dos iones de su misma carga eléctrica, una inadecuada relación entre los iones puede generar desbalances nutrimentales y por ende disminuir el rendimiento (Steiner, 1968).

Los nutrientes que demandan las plantas en la relación mutua entre aniones y cationes, dependen de la etapa fenológica, ya que la absorción de los macronutrientes no son lineales durante el desarrollo de la planta. De acuerdo a Gertsson (1995), el paso de una etapa fenológica a otra se caracteriza por cambios en la actividad metabólica. Estos cambios influyen en toda la planta y en la composición química de sus órganos en cada etapa.

5. LITERATURA CITADA

- Abad B. M., M. P Noguera y B. C. Carrión (2004) Los sustratos en los cultivos sin suelo: *En: Urrestarazu-Gavilán. Cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España 168 p.*
- Anicua-Sánchez R. (2008) Caracterización física y micromorfológica de materiales orgánicos e inorgánicos para la generación de mezclas de sustratos en la producción de *lisianthus (Eustoma grandiflorum)*. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 198 p.
- Ansorena J. (1994) Sustratos: propiedades y caracterización. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España 172 p.
- Atherton J. G. y J. Rudish (1986) The tomato crop. Ed. Chapman and Hall. New York, USA. 239 p.
- Asher C. J. y D. G. Edwards (1983) Modern solution culture techniques: *In: A. Pirson y M.H. Zimmermann. Ed. Encyclopedia of Plant Physiology. Springer- Verlag, Berlin. 119 p.*

- Bastida T. (1999) El medio de cultivo de las plantas. Sustratos para hidroponía y producción de planta ornamental. Serie de publicaciones AGRIBOT No.4. UACH. Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. 27 p.
- Berenguer J. (2003) Manejo del cultivo de tomate en invernadero: *En: Curso Internacional de Producción de Hortalizas en Invernadero*. Celaya, Guanajuato, México. pp:147-174.
- Bertin N. (1995) Competition for assimilates and fruit position affect fruit set in indeterminate greenhouse tomato. *Annals of Botany* 75:55-65.
- Cantwell M., S. Stoddard M. Lestrangle J. Mickler R. Mullen X. Nie E. Gutierrez H. Ermen and G. Argueta (2006) Report to the California tomato commission. Tomato Variety Trials: Postharvest Evaluations for 2005. UCCE Fresh Market Statewide Report. 14 p.
- Carpena O., A. M. Rodríguez, y M. J. Sarro (1987) Evaluación de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. *Anales Edafología y Agrobiología* 46:117-127.
- Chamorro J. (2000) Anatomía y fisiología de la planta en el cultivo de tomate. Ed. Mundiprensa, Bilbao, España. pp:94-129.
- Chávez-Aguilera N., E. Romantchik-Kriuchkova, C. Gracia-López y M. Velázquez-Borja (2009) Diseño y construcción de un equipo tipo remolque para desinfección en estático con calor de sustratos. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 2:127-136.
- Cockshull K. E. and L. C. Ho (1995) Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. *Journal of Horticultural Science* 3:395-407.
- Coronel J. y P. Castillo (2009) Alternativas de mejora en el manejo postcosecha de tomate riñón cultivado en la provincia de Santa Elena. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. 136 p.
- Costa J. M. and E. Heuvelink (2005) Introduction: the tomato crop and industry: *In: production science in horticulture* 13. Heuvelink E. Ed. CABI publishing. London. pp:1-19.

- Cruz-Crespo E., A. Can-Chulim, M. Sandoval-Villa, R. Bugarin-Montoya, A. Robles-Bermúdez, y P. Juárez-López (2012) Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2:17-26.
- Cueto M. (2010) Determinación del efecto inhibitorio del aceite esencial y diferentes extractos de oregano (*Lippia berlandieri schauer*) sobre el crecimiento de *Fusarium oxysporum* tanto in Vitro como en plántula de tomate. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, México D.F. 192 p.
- Curtis P. (1996) Aspectos de la morfología de angiospermas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. 134 p.
- Darwin H. P. (2005) Postharvest physiology of fresh-cut tomato slices. University of Queensland, Australia. 182 p.
- De Rijck G. and E. Schrevens (1998) Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. *Journal of Plant Nutrition* 21:861-870.
- Desai B., M. Kotecho, y D. Salunkhe (1997) Seeds handbook. Biology, production, processing and storage. The composition of nutrient solutions for hydroponic cropping: practical use. Ed. Marcel Dekker New York, U.S.A. 627 p.
- Ehret D. L., T. Helmer and J. W. Hall (1993) Cuticle cracking in tomato fruit. *Journal of Horticultural Science* 68:195-201.
- Ehret D. L. y L. C. Ho (1986) Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany* 58:679-688.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura () (2013) Datos estadísticos de producción. Disponible en: <http://www.fao.org/statistics/es/> (Enero 2017).
- FAOSTAT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (2012) <http://faostat.Fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor> (Febrero 2016).

- Favela-Chávez E., P. Preciado-Rangel y A. Benavides-Mendoza (2006) Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. 134 p.
- Fernández-Ruiz V. M. C. Sánchez-Mata, M. Cámara and M. E. Torija (2004) Internal quality characterization of fresh tomato fruits. *HortScience* 39:339-345.
- Flores P., J. M. Navarro, M. Carvajal, A. Cerdá y V. Martínez (2003) Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23:249-256.
- Fooland M. R. (2007) Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics* 7:1-52.
- Garbanzo-León G. y M. Vargas-Gutiérrez (2014) Determinación fisicoquímicas de diez mezclas de sustratos para la producción de almácigos, Guanacaste, Costa Rica. *Revista InterSedes* 15:151-168.
- García-Martínez M. C., S. Balasch, F. Alcon and M. A. Fernández-Zamudio (2010) Characterization of technological levels in Mediterranean horticultural greenhouses. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:509-525.
- George R. (1999) Vegetable seed production. Ed. CABI Publishing. UK at the University Press, Cambridge. 328 p.
- Gertsson U. E. (1995) Nutrient uptake by tomatoes grown in hydroponics. *Acta Horticulturae* 401:351-356.
- Gómez-Hernández T. y F. Sánchez-Del Castillo (2003) Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. *Revista Terra Latinoamericana* 21:57-63.
- González N. J. (2004) Avanzan los sistemas hidropónicos en México. Hortalizas, Frutas y Flores. Ed. Agro Sinaloa. México. 89 p.
- San Martín-Hernández C., V. M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, M. T. Beryl Colinas-León y L. Borges-Gomez (2012) Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46:30-56.

- Heuvelink E. (1997) Effect of fruit load on dry matter partitioning in tomato. *Scientia Horticulturae* 69:51-59.
- Huerres P. y N. Caraballo (2000) Horticultura. Ed. Pueblo y educación. La Habana, Cuba. 4-16 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2005) Banco de información económica. <http://dgenesyp.inegi.gob.mx/?c=72> (Enero 2017)
- Jaramillo J., V. Rodríguez, M. Guzmán, M. Zapata y T. Rengifo (2007) Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas. Manual Técnico. Tampillo, México. 122 p.
- Jensen M. H. y W. L. Collins. (1985) Hydroponic vegetable production. *Horticulture* 5:483-559.
- Jones C. (1999) Effect of Soil Texture on Critical Bulk Density for Root Growth. *Soil Science Society of America Journal* 12:23-54.
- Jouet J. P. (2005) The Situation of Plasticulture in the World. *Plasticulture* 123:48-57.
- Juárez-Hernandez M., G. A. Baca-Castillo, L. A. Aceves-Navarro, P. Sanchez-Garcia, J. L. Tirado-Torres, J. Sahagún-Castellanos y M. T. Colinas-De Leon (2006) Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31:246-253.
- Juárez-López P., R. Bugarín-Montoya, A. L. Sánchez-Monteón, R. Balois-Morales, C. R. Juárez-Rosete y E. Cruz-Crespo (2011) Horticultura protegida en Nayarit, México: situación actual y perspectivas. *Revista Bio Ciencias* 1:16-24.
- Kader A. A. (1986) Effects of posharvest handling procedures on tomato quality. *Horticulturae* 190:209-217.
- Lara-Herrera A. (2000) Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Revista Terra Latinoamericana* 17:221-229.
- Larraz R. (1998) "Unidades Claus. La pumita como catalizador de la reacción de Claus". Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica, Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna. 303 p.

- Lizama L. (2000) Madurez óptima y manejo de postcosecha de ciruelas japonesas para exportación. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 252 p.
- López C. A. y P. A. Gómez (2004) Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira* 22:534-537.
- Márquez-Hernández C., P. Cano-Ríos, Y. I. Chew-Madinaveitia, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas (2006) Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12:183-89.
- Moreno-Reséndez A., J. Aguilar-Durón y A. Luévano-González (2011) Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 15:763-774.
- Muñoz J. J. (2003) La producción de hortalizas bajo invernadero en México: *En: Manual de Producción Hortícola en Invernadero*. Ed. J.Z. Castellanos y J.J. Muñoz R. pp:14-16.
- Nisen A., M. Grafiadellis, R. Jiménez, G. La malfa, G. P. Martínez, A. Monteiro, H. Verlodt, O. Villele, C. H. Zabeltitz, I. U. Denis and W. O. Baudoin, (1990) Protected cultivation in the Mediterranean climate. FAO. Plant production and protection paper. Rome, Italy. 90 p.
- Nuez F. (1995) El cultivo de tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Nunoo J., E. Quartey, H. Amoatey and G. Klu (2014) Effect of recurrent irradiation in the improvement of a variant line of wild tomato (*Solanum pimpinellifolium*). *Journal of radiation research and applied science* 7:377-383.
- Ocampo M., M. Caballero y C. Tornero (2005) Los sustratos en cultivos hortícolas y ornamentales. En agricultura, ganadería, ambiente y desarrollo sustentable. Publicación especial de la benemérita universidad autónoma del estado de Puebla. pp:55- 74.
- Ojodeagua-Arredondo J. L., J. Z. Castellanos-Ramos, J. J. Muñoz-Ramos, G. Alcántar-González, L. Tijerina-Chávez, P. Vargas-Tapia, y S. Enríquez-Reyes (2008) Eficiencia del suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:367-374.

- Parra-Terraza S., G. A. Baca-Castillo, R. Carrillo-González, J. Kohashi-Shibata, A. Martínez-Garza y C. Trejo-López (2004) Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *Revista Terra Latinoamericana* 22:467-473.
- Resh H. M. (1991) Hydroponic food production. 4th edition. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbara, USA. 45 p.
- Rezende-Fontes P., R. Arruda-Sampaio, and F. Luiz-Finger (2000) Fruit size, mineral composition and quality of trickle-irrigated tomatoes as affected by potassium rates. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35:21-25.
- Riquelme F. (1995) Poscosecha. En: El Cultivo del tomate. Nuez, F. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Rodríguez J. (2011) El cherry: la conquista del más pequeño y dulce de los tomates. <http://www.interempresas.net/Distribucion-Hortofruticola/Articulos/53020-El-Cherry-la-conquista-del-mas-pequeno-y-dulce-de-los-tomates.html> (Junio 2017).
- Rodríguez-Díaz E., E. Salcedo-Perez, R. Rodríguez-Macias, D. R. Gonzáles-Eguiarte y S. Mena-Munguía (2013) Reuso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Revista Terra Latinoamericana* 31:275-284.
- Rodríguez R., R. Tavares y F. Medina (2001) Cultivo Moderno del Tomate. Ed Mundi-Prensa. España. 255 p.
- SAGARPA, Secretaría de Ganadería Agricultura Pesca y Alimentación (2009) Programa de Ejecución Directa de Agricultura Protegida. <http://www.amhpac.org/contenido/plan%20nacional%20de%20agricultura%20protegida%202009.pdf> (Enero 2017).
- Sangiaco M., M. Garbi y M. Del Pino (2002) Manual de Producción de Hortalizas. U. N. Luján, Argentina. 87 p.
- SIACON, Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (2009) Estadística básica. www.siea.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon/SIACON.html (Febrero 2016).

- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (2013) Estadística básica. www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado (Febrero 2016).
- Sortino O., M. Dipasquale, E. Montoreni, L. Tomasso, D. G. Perrone, D. Vindrona, M. Negre and G. Piccone (2013) Refuse derived soluble bio-organics enhancing tomato growth and productivity. *Waste Management* 32:1792-1801.
- Steiner A. A. (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15:134-154.
- Steiner A. A. (1968) Soilles culture. In: Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy. pp:324-341.
- Steiner A. A. (1984) The universal nutrient solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture. Wageningen, The Netherlands pp:633-650.
- Steta G. M. (2011) Panorama de la Horticultura en México. Memorias. 4° Congreso Internacional. Producción de Hortalizas en Invernadero. 123 p.
- Taylor M. D., S. J. Locascio and M. R. Alligood (2002) Incidence of blossom-end rot and fruit firmness of tomato affected by irrigation quantity and calcium source. *Florida State Horticultural Society* 115:211-214.
- Thakur B. R., R. K. Singh, and P. E. Nelson (1996) Quality attributes of processed tomato products. *Food Reviews International* 12:275-401.
- Thybo, A. K. M. Edelenbos, L. P. Christensen, J. N. Sorensen y K. Thorup (2006) Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. *Swiss Society of Food Science and Technology* 39:835-843.
- Ucan-Chan I., F. Sánchez-Del Castillo, E. Contreras-Magaña y T. Corona-Sáez (2005) Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:33-38.
- Urrestarazu G. M. (2004) Tratado de cultivo sin suelo. 3ª ed. Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España. 914 p.
- Velasco H. E., A. R. Nieto y L. E. Navarro (2011) Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Ed. BBA. México, D.F. 125 p.

- Wills R. H., T. H. Lee, W. B. Mcglasson, E. G. Hall and D. Graham (2004) Introducción a la fisiología y manipulación de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 240 p.
- Winsor G. W., J. N. Davies and D. M. Massey (1962) Composition of tomato fruit. III. Juices from whole fruit and locules at different stages of ripeness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13:108-115.
- Zhang Y., E. Butelli, R. De Stefano, H. Schoonbeek and A. Magusin (2013) Anthocyanins doubled the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Current Biology* 23:1094-1100.
- Znidarcic D., D. ban, M. oplanic, L. Karic and T. Pozrl (2010) Influence of postharvest, temperaturas on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Journal of food, Agriculture & Enviroment* 8:21-25.

6. CAPÍTULO I. SUSTRATOS MINERALES Y SOLUCIONES NUTRITIVAS EN EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE TOMATE CHERRY EN INVERNADERO

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los sustratos pumita y tezontle del estado de Nayarit en combinación con dos soluciones nutritivas, sobre el crecimiento y producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cherry variedad Sweet Treats en invernadero. Se evaluó, altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, biomasa fresca y seca de parte aérea, biomasa fresca y seca de raíz, producción de fruto por planta y lecturas SPAD. Los tratamientos se formaron con un arreglo factorial 2 x 2; se utilizó un diseño experimental completamente al azar con once repeticiones. Los resultados mostraron que la solución nutritiva de Steiner obtuvo la mayor producción de fruto, altura de planta, diámetro de tallo, biomasa fresca y seca de raíz, respecto a las plantas regadas con la solución de Castellanos. Además, se encontró que las plantas cultivadas en el sustrato pumita obtuvieron la más alta producción de fruto y el mayor crecimiento en relación a las plantas producidas en tezontle. Se concluyó que el sustrato pumita en combinación con la solución nutritiva de Steiner fue viable dado que se obtuvo la mayor producción de fruto y el mejor crecimiento de tomate cherry.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, crecimiento, producción, pumita, solución de Steiner.

SUMMARY

The present investigation aimed to evaluate the substrates pumita and tezontle of the state of Nayarit in combination with two nutrient solutions on the growth and production of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cherry 'Sweet Treats' variety in the greenhouse. It was evaluated, plant height, stem diameter, number of leaves, leaf area, fresh and dry biomass of aerial part, fresh and dry biomass of root fruit, production and SPAD readings. The treatments were formed with a 2 x 2 factorial arrangement; a completely randomized experimental design with fifteen replicates was used. The results showed that Steiner nutrient solution obtained the highest production of fruit, plant height, stem diameter, fresh biomass and root dry matter,

with respect the plants irrigated with the Castellanos solution. In addition, it was found that the plants grown in the pumita substrate obtained the highest production of fruit and the highest growth in relation to the plants produced in tezontle. It was concluded that the pumita substrate in combination with Steiner nutrient solution was viable since the highest production of fruit and the best growth of cherry tomato.

Index words: *Solanum lycopersicum*, growth, production, pumita, Steiner solution.

6.1 INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza más cultivada y consumida a nivel nacional e internacional. Para el 2013, la superficie sembrada en el mundo fue de 4 762 457 ha, con una producción de 164 492 970 t de tomate (FAO, 2013). En México es el producto hortícola de mayor exportación, siendo Sinaloa el principal estado productor (SAGARPA, 2010). Con tomate cherry la superficie sembrada en el país fue de 1 544 ha con una tasa de crecimiento anual de 51 % (SIAP, 2013), esto se asocia a que tiene un valor comercial y demanda internacional superior a otros tipos de tomate considerándose una hortaliza de consumo cotidiano de excelentes características organolépticas aceptables al consumidor (Márquez-Hernández *et al.*, 2006; Jaramillo *et al.*, 2007).

En México la producción de tomate en condiciones protegidas y con uso de sustratos es relativamente nuevo, más ha generado impacto en los últimos años, por incremento en la productividad, rentabilidad y calidad del producto (Jaramillo *et al.*, 2007). Lo anterior, se atribuye a las características físicas y químicas de los sustratos que contribuyen a maximizar el potencial de producción de los cultivos (Morel *et al.*, 2002). Sin embargo, una desventaja es que varios de los sustratos utilizados son de otros países o de otras regiones, lo que implica un aumento en los costos de producción. Por ejemplo, la turba “peat moss” y vermiculita alcanzaron los 450 y 230 pesos por 0.1 m³, respectivamente (Cruz-Crespo *et al.*, 2014). Esta es una de las razones por la que se recomienda utilizar materiales locales de bajo costo. En Nayarit existen minas de pumita y tezontle en diferentes zonas del estado, pero estos materiales son utilizados principalmente en la construcción, mas no son explotados como sustratos, y además con relación a reportes científicos sobre el uso de pumita es escaso.

Por otra parte, para cubrir las necesidades nutrimentales de las plantas cultivadas en sustratos se han utilizado diferentes soluciones nutritivas, con todos los elementos esenciales para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas, por ejemplo la de Hoagland y Arnon (1950), Steiner (1984) y Castellanos (2009). No obstante, la composición de las soluciones que requieren las plantas no sólo depende de la especie a cultivar, sino también, de la variedad, la etapa fenológica y las condiciones ambientales. Por lo tanto, se requiere evaluar las diferentes formulaciones de soluciones nutritivas en cada región, para lograr obtener el mayor potencial de producción.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar los sustratos tezontle y pumita de la zona de Nayarit en combinación con dos soluciones nutritivas, sobre el crecimiento y producción de tomate cherry en invernadero.

6.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en un invernadero tipo cenital con polietileno blanco lechoso y ventanas laterales con malla antiáfidos, ubicado en Xalisco, Nayarit, México a 21° 25' 40" N, 104° 53' 30" O y 984 m de altitud. La temperatura mínima y máxima promedio fueron de 19 % y 29 °C, respectivamente (Figura 1), con humedad relativa promedio de 79 % y una radiación fotosintéticamente activa promedio de 475 $\mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 2).

El 10 de agosto de 2015 se sembró semilla de tomate tipo cherry de crecimiento indeterminado Sweet Treats en charolas de unicel de 200 cavidades, utilizando como medio de crecimiento peat-moss[®]. Se aplicaron de uno a dos riegos diarios de 300 mL cada uno con la solución nutritiva de Steiner (1984) o Castellanos (2009) al 25%, esto en función del crecimiento de la plántula y las condiciones climáticas.

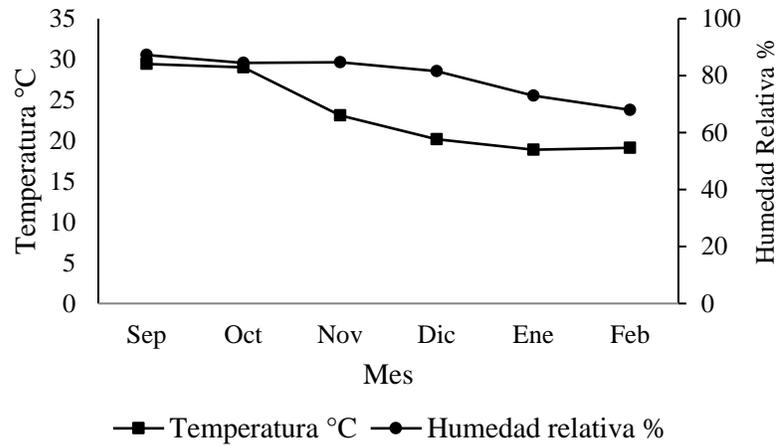


Figura 1. Temperatura y humedad relativa durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

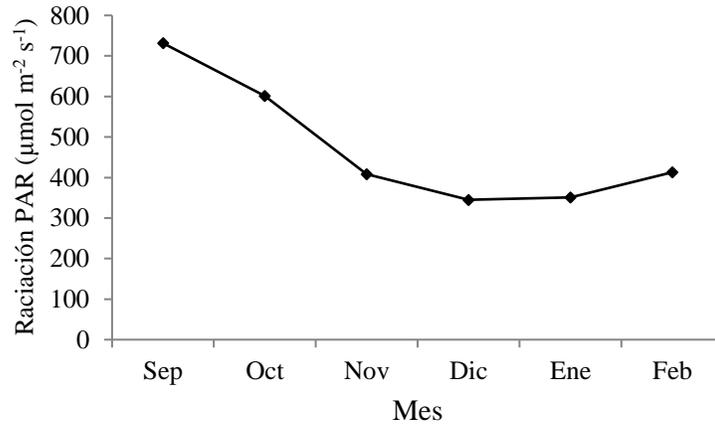


Figura 2. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

A los 21 días después de la siembra se llevó a cabo el trasplante colocando una planta por maceta de polietileno negro de 35 x 35 con capacidad de 15 L, rellena con el sustrato tezontle o pumita, con un tamaño de partícula entre 3 a 8 mm. Las propiedades de los sustratos fueron determinadas por el método de De Boodt *et al.* (1974), y los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3. Las macetas se acomodaron con distancia de 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.

Cuadro 3. Propiedades físicas de los sustratos utilizados en la producción de tomate cherry Sweet Treats.

Sustrato	Tamaño de partícula (mm)	EPT	CA	CRA	AFD	AR	ADD
Pumita	3 a 8	24.04	16.91	7.10	2.49	0.68	3.93
Tezontle	3 a 8	36.70	32.14	4.55	1.45	0.95	2.15

EPT= espacio poroso total; CA= capacidad de aireación; CRA= capacidad de retención de agua; AFD= agua fácilmente disponible; AR= agua de reserva; ADD= agua difícilmente disponible.

Posterior al trasplante se inició el riego con las soluciones nutritivas de Steiner (1984) y Castellanos (2009) al 50 % de concentración, después se fue aumentando en función de la etapa fenológica del cultivo, hasta llegar al 100% de concentración. La CE fue de 2.22 dS m⁻¹ y pH de 6.4 para Steiner, y 3.64 dS m⁻¹ y pH 6.1 para Castellanos. En la preparación de las soluciones nutritivas se consideró el análisis de agua, y los fertilizantes utilizados fueron Ca(NO₃)₂·4H₂O, KNO₃, MgSO₄·7H₂O, K₂SO₄ y KH₂PO₄, incluyendo NH₄NO₃ sólo para Castellanos (2009). Los micronutrientes 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, esto para ambas soluciones nutritivas. La composición química de las soluciones nutritivas se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Composición química de las soluciones nutritivas al 100 % utilizadas para la producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Solución	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
	meq·L ⁻¹						
Steiner (1984)	12	1	7	7	9	4	-
Castellanos (2009)	12	1.5	8.5	8.5	9	4	0.5

El riego fue por goteo, se inició aplicando 250 mL por planta con cinco riegos por día para los dos sustratos; el volumen y la frecuencia de riego fue aumentando en función del sustrato utilizado, la etapa fenológica y las condiciones climáticas, por lo que se llegó hasta 3 L en las plantas cultivadas en tezontle y 3.5 L en las plantas cultivadas en pumita con quince y diecisiete riegos por día respectivamente, y una fracción de lixiviado del 20 % para los dos sustratos.

Se presentó incidencia de mosquita blanca, para su control se aplicó insecticida Imidacloprid® a una dosis de 1 mL·L⁻¹ de agua.

Las variables evaluadas 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®. Ambas variables se evaluaron a los 40, 80 y 120 días después del trasplante (ddt). Las variables siguientes se evaluaron a los 40 y 120 ddt tal como número de hojas, se contó el número total de hojas por planta; área foliar, se cortaron las hojas de la planta y se introdujeron en un integrador de área foliar Li-COR Li-3100®; biomasa fresca de parte aérea, se cortó la planta a nivel de sustrato y se pesó en una balanza digital A&D GX-2000®; biomasa seca de parte aérea, las plantas que se tomaron para la obtención de biomasa fresca se secaron a 60 °C hasta peso constante (72 h) en estufa con circulación de aire FELISA FE-294A® y después se pesó en una en una balanza digital A&D GX-2000®; biomasa fresca de raíz, se tomó la raíz eliminando con cuidado restos de sustrato y se pesó en una balanza digital A&D GX-2000®; biomasa seca de raíz, las raíces que se utilizaron para lo obtención de biomasa fresca, se secaron a 60°C hasta peso constante (72 h) en una estufa con circulación de aire FELISA FE-294A® y posteriormente se pesó en una balanza digital A&D GX-2000®; para obtener la producción de fruto por planta se llevó acabo el corte a partir de los 55 ddt hasta los 180 ddt, cosechado cuando presentó una coloración rosada (hue de 70.34°, croma de 14.11 y luminosidad de 48.77), después se pesó con una balanza digital TORREY EQ-5/10®; lecturas SPAD, se leyeron a los 20, 40, 60, 80, 100 y 120 ddt en hojas de la parte media de la planta con un equipo Minolta SPAD 502 plus®.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2, los factores y sus niveles fueron dos tipos de sustratos (tezontle y pumita) y dos soluciones nutritivas (Steiner y Castellanos), con once repeticiones. La unidad experimental fue una

planta a dos tallos. A los datos se les aplicó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); también, un análisis de correlación de Pearson mediante el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999).

6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.3.1 Interacción de la solución nutritiva x sustrato

Se encontraron interacciones importantes para algunas variables del crecimiento, lecturas SPAD y producción. El aporte de la interacción a la suma de cuadrados de tratamientos para la altura de planta fue del 80 y 55 % para los 40 y 80 ddt; en el diámetro de tallo fue del 50 % solo para 120 ddt y del 19 % para los 80 ddt. Para las variables biomasa fresca y seca de parte aérea, también se encontró interacción para los 40 y 120 ddt con un valor entre 5 y 14 %, y del 13 % para la biomasa seca de raíz. Para el caso de lecturas SPAD el aporte fue de 21 y 7 % a los 60 y 100 ddt. En producción de fruto la interacción aportó el 16 % de la suma de cuadrados de tratamientos. Las demás variables evaluadas se explicaron sólo en función de cada factor estudiado.

En la Figura 3 se muestra que al combinar el sustrato pumita con la solución nutritiva de Steiner se obtuvo la mayor altura de planta y el mayor diámetro de tallo, en cambio al regar las plantas con la solución de Castellanos en tezontle la altura y el diámetro disminuyó. Para el caso de la biomasa fresca de parte aérea, esta fue menor con la interacción del sustrato tezontle con la solución de Steiner, en cambio la pumita en combinación con Castellanos influyó para obtener la mayor biomasa fresca aérea. No obstante, producción de fruto por planta al cultivar en el sustrato pumita e irrigar con la solución nutritiva de Steiner se obtuvo la mayor producción de fruto.

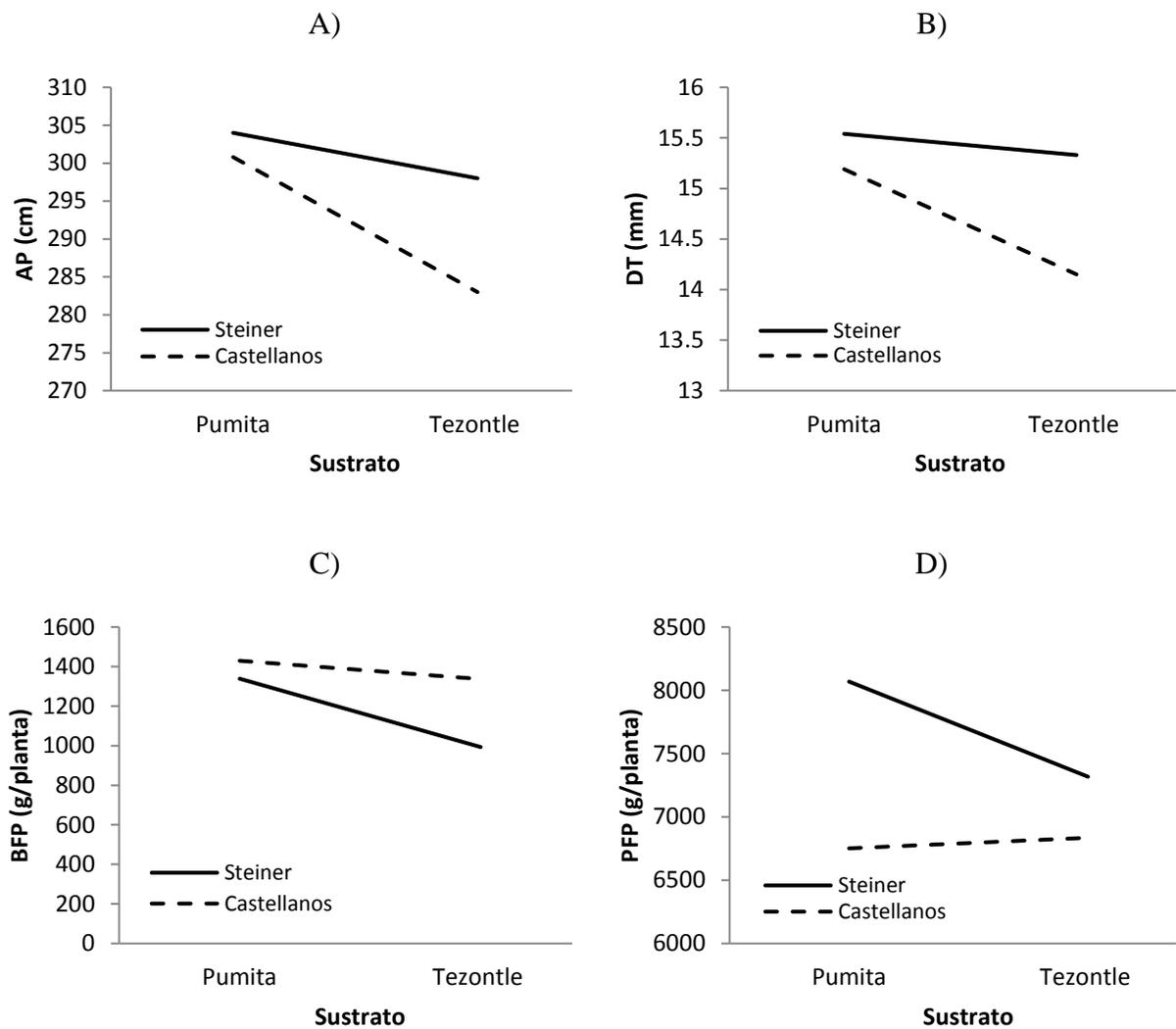


Figura 3. Interacciones del efecto de la solución nutritiva x sustrato. A= altura de planta (AP); B= diámetro de tallo (DT); C= biomasa fresca de parte aérea (BFP); D= producción de fruto por planta (PFP).

6.3.2 Efecto de la solución nutritiva en el crecimiento y producción de fruto

Por el factor solución nutritiva se encontró efecto sobre todas las variables de crecimiento excepto en el número de hojas (Cuadro 5, 6, 7 y 8). Los valores de altura de planta y diámetro de tallo fueron mayores del 3 a 5 % con la solución nutritiva de Steiner; en cambio el área foliar, biomasa fresca y seca de parte aérea los valores fueron superiores con la solución

nutritiva de Castellanos entre 12 a 38 %. Para las variables biomasa fresca y seca de raíz fue mayor de 11 a 16 % con la solución nutritiva de Steiner, lo mismo ocurrió con la producción de fruto con un 12 % (900 g) con respecto a las plantas en la solución de Castellanos. Las diferencias en área foliar, biomasa fresca y seca de parte aérea se atribuyen en parte a la diferente composición química de las soluciones nutritivas, dado que en la solución nutritiva de Castellanos el suministro de H_2PO_4^+ , SO_4^{2-} y K^+ fue mayor en un 33, 18 y 18 %, respectivamente, con respecto a la solución de Steiner; además la solución nutritiva de Castellanos incluyó NH_4^+ como fuente de N a las plantas (Cuadro 4). En relación al NH_4^+ , se ha demostrado que en bajas cantidades en combinación con NO_3^- produjo mayor crecimiento vegetativo en diversos cultivos (González-García *et al.*, 2009), esto por el sinergismo entre NO_3^- y NH_4^+ , ya que estos iones actúan como una señal que estimula u optimiza una variedad de respuestas bioquímicas en las plantas (Tischner, 2000). De acuerdo con Britto y Kronzucker (2002), indican que esto se debe a la mayor síntesis de citocinina cuando NO_3^- y NH_4^+ son abastecidos en forma simultánea. Lo cual coincide con González-García *et al.* (2009) quienes reportan que el rendimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) aumentó 15 % con la adición de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en una relación 20/80, comparado con plantas tratadas con solución nutritiva con sólo NH_4^+ o NO_3^- . Sin embargo en el presente trabajo de investigación, el mayor crecimiento vegetativo, no se vio reflejado en una mayor producción de fruto, al igual que lo encontrado por Bialczyk *et al.* (2007) quienes al trabajar con cultivo hidropónico de tomate en invernadero, demostraron que las plantas cultivadas en un medio con NH_4^+ aumentaron la acumulación de biomasa seca, pero disminuyó su producción de fruto, comparadas con las plantas que se desarrollaron en un medio con NO_3^- .

Como otro ejemplo por la diferente composición de la solución nutritiva, Flores-Ruvalcaba *et al.* (2005) en crisantemo (*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura) en estudio de diferentes presiones osmóticas de la solución nutritiva (0.018, 0.027, 0.036 y 0.045 MPa), con diferente composición iónica, encontraron que al aumentar la presión osmótica (0.045 MPa) se obtuvo mayor biomasa seca de tallo, biomasa seca de hoja, biomasa seca de raíz, biomasa seca total de planta, altura de planta, diámetro de tallo y área foliar por planta, sin embargo el tamaño de la inflorescencia fue menor por la mayor concentración de sales. Por otra parte, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación muestran tendencias similares para las variables altura de planta, diámetro de tallo, biomasa fresca y seca de planta con otros estudios

donde han utilizado diferente fertilización química en diferentes cultivos (De Grazia *et al.*, 2007; Grigatti *et al.*, 2007; Bachman and Metzger, 2008).

Cuadro 5. Altura de planta y diámetro de tallo de cultivo de tomate cherry Sweet Treats a diferentes días después de trasplante en invernadero.

Factor	AP	DT	AP	DT	AP	DT
	(cm)	(mm)	(cm)	(mm)	(cm)	(mm)
	40 ddt		80 ddt		120 ddt	
Solución (SOL)						
Steiner	119.70 a	8.65 a	301.20 a	13.67 a	346.80 a	15.26 a
Castellanos	119.30 a	8.38 b	291.90 b	12.92 b	332.70 b	14.84 b
Sustrato (SUS)						
Pumita	121.20 a	9.45 a	299.40 a	13.77 a	341.40 a	15.36 a
Tezontle	117.80 b	7.59 b	293.70 b	12.82 b	338.10 b	14.74 b
SOL X SUS	**	ns	**	**	ns	**

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 1%; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; ddt= días después del trasplante.

En cuanto a la menor acumulación de biomasa fresca y seca de raíz, con la solución nutritiva de Castellanos, se atribuye a la mayor conductividad eléctrica (CE) con 3.64 dS m^{-1} , en comparación con la solución de Steiner con 2.22 dS m^{-1} . Por lo tanto, se infiere que la mayor CE inhibió el crecimiento de raíz (Munns, 2005). La raíz también 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 por condiciones salinas (Pratap y Sharma, 2010). Resultados similares fueron reportados en *Phaseolus vulgaris* L. por Can-Chulim *et al.* (2014), quienes encontraron que la biomasa de la raíz disminuyó a mayor concentración salina. Otro factor que pudo contribuir a estos resultados es el NH_4^+ en la solución de Castellanos, 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 (Bloom *et al.*, 2003). Al respecto, Guo *et al.* (2001) al realizar un estudio en *Phaseolus vulgaris* L., utilizando en la solución nutritiva 5 mM de N (NO_3^- o NH_4^+ como fuentes), encontraron que las raíces crecidas en la porción con solución de NO_3^- presentaron mayor acumulación de biomasa en raíz comparadas con las que fueron abastecidas con NH_4^+ , situación similar a la que se observó en este estudio con tomate cherry, ya que la solución de Steiner con un aporte de NO_3^- presentó mayor acumulación de biomasa en la raíz, la cual además estuvo asociada con la mayor producción de fruto. Al respecto, Ontiveros-Cortés *et al.* (2005) mencionan que la raíz es uno de los órganos más importantes de la planta, su crecimiento y ramificación son cruciales para la absorción de agua y nutrimentos. Por ello la eficiencia del sistema radical en la absorción de agua y minerales depende de su longitud, densidad y ramificación para un buen crecimiento, desarrollo y producción de las plantas.

Por otra parte, se detectaron correlaciones entre las diferentes variables de crecimiento y producción de fruto (Cuadro 9), donde la altura de planta presentó correlación negativa con área foliar ($r = -0.87^{**}$), biomasa fresca y seca de parte aérea ($r = -0.71^{**}$ y 0.69^*), en cambio el diámetro de tallo presentó correlación positiva con la biomasa fresca y seca de raíz ($r = 0.63^*$ y 0.74^*); el área foliar con la biomasa fresca y seca de parte aérea ($r = 0.93^{**}$ y 0.95^{**}), la biomasa fresca de parte aérea con la biomasa seca de parte aérea ($r = 0.97^{**}$) y la biomasa fresca de raíz con la biomasa seca de raíz ($r = 0.91^{**}$). La producción de fruto, presentó correlación positiva con altura de planta, biomasa fresca y seca de raíz ($r = 0.67^*$, 0.68^* 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*), quienes reportaron correlaciones positivas entre la variable altura de planta con el diámetro de tallo ($r = 0.59^*$) y el número de hojas ($r = 0.94^{**}$), no encontraron correlaciones para las variables área foliar y producción de fruto.

Cuadro 6. Número de hojas, área foliar y producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Factor	NH	AF (cm ² /planta)	NH	AF (cm ² /planta)	Producción total (g/planta)
	40 ddt		120 ddt		
Solución (SOL)					
Steiner	10.81 a	390.50 b	31.87 a	1571.67 b	7693.10 a
Castellanos	10.50 a	465.50 a	31.56 a	1796.67 a	6793.50 b
Sustrato (SUS)					
Pumita	10.56 a	453.16 a	31.62 a	1759.83 a	7410.20 a
Tezontle	10.75 a	402.83 b	31.81 a	1608.50 b	7076.40 b
SOL X SUS	ns	**	ns	**	**

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 1%; NH= número de hojas; AF= área foliar; ddt= días después del trasplante.

6.3.3 Efecto de sustratos en el crecimiento y producción de fruto

El efecto del sustrato fue significativo en todas las variables de crecimiento con excepción del número de hojas (Cuadro 5, 6, 7 y 8). Las plantas que se cultivaron en sustrato pumita presentaron mayor altura de planta y diámetro de tallo hasta del 20 %, con respecto a las plantas producidas en tezontle; al igual que mayor área foliar, biomasa fresca y seca de parte aérea, y biomasa fresca y seca de raíz en 6 a 44 %. Con el sustrato pumita se logró mayor producción de fruto en un 5 % (334 g), con respecto al sustrato tezontle. Esto explica las correlaciones observadas entre las diferentes variables de crecimiento y producción con valores ≥ 0.61 (Cuadro 9). Los sustratos utilizados presentaron diferentes propiedades físicas (Cuadro 3); la pumita presentó mayor capacidad de retención de humedad y agua fácilmente disponible lo cual permitió que las plantas tuvieran una mayor disponibilidad de agua y nutrientes, así favoreciendo el crecimiento y producción de tomate como señala Ortega-Martínez *et al.* (2010). Caso contrario con tezontle, el cual presentó menor disponibilidad de

agua y nutrientes, esto pudo haber inhibido el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas de tomate (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2013). Trejo-Téllez *et al.* (2013) indican que en la producción de tulipán (*Tulipa gesneriana*) en sustrato tezontle con diámetro de partícula 3-5 mm, agua fácilmente disponible de 3 %, capacidad de aire de 44 % y espacio poroso total de 67 % encontraron menor altura de planta, menor concentración foliar de K, Ca y Mg y producción en comparación al sustrato ProMix® donde el agua fácilmente disponible fue de 24 %, capacidad de aire de 29 % y espacio poroso total de 93 %. Concluyeron que la capacidad de retención de humedad y agua fácilmente disponible influyeron para obtener los mejores resultados. Por lo tanto, se puede inferir que la mayor capacidad de retención de humedad y agua fácilmente disponible que presentó el sustrato pumita, contribuyó para incrementar el crecimiento y producción del cultivo de tomate cherry en el presente trabajo de investigación.

Cuadro 7. Acumulación de biomasa fresca y biomasa seca de parte aérea de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Factor	40 ddt		120 ddt	
	BFP (g/planta)	BSP (g/planta)	BFP (g/planta)	BSP (g/planta)
Solución (SOL)				
Steiner	452.00 b	65.22 b	1165.83 b	202.83 b
Castellanos	727.50 a	102.40 a	1383.14 a	241.10 a
Sustrato (SUS)				
Pumita	757.00 a	102.92 a	1384.09 a	243.75 a
Tezontle	422.50 b	64.69 b	1164.88 b	200.17 b
SOL X SUS	**	**	**	**

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%; BFP= biomasa fresca de parte aérea; BSP= biomasa seca de parte aérea; ddt=días después del trasplante.

En Chile serrano, Cruz-Crespo *et al.* (2014) encontraron diferencias significativas entre los sustratos tezontle y tezontle/lombricomposta (4:1 v/v) para diámetro de tallo y biomasa seca de planta, sin embargo no encontraron diferencias para producción de fruto. De la misma

forma, López *et al.* (2015) no encontraron diferencias entre los sustratos tezontle/lombricomposta, tezontle y suelo/lombricomposta para producción de fruto de tomate. En cambio, Ortega-Martínez *et al.* (2010) reportaron diferencias en altura de planta, diámetro de tallo y producción de fruto de tomate, entre los sustratos aserrín compostado de pino (*Abies religiosa*), composta de estiércol de ovino, suelo local (tierra agrícola), tezontle rojo y la mezcla entre estos a un volumen proporcional 1:1.

Por lo anterior se deduce que los resultados de las variables de crecimiento y su relación con la producción de fruto es diferente entre las especies cultivadas, por ello se recomienda más investigación al respecto.

Cuadro 8. Acumulación de biomasa fresca y biomasa seca de raíz de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Factor	BFR (g/planta)	BSR (g/planta)	BFR (g/planta)	BSR (g/planta)
	40 ddt		120 ddt	
Solución (SOL)				
Steiner	26.44 a	5.35 a	79.32 a	16.07 a
Castellanos	22.10 b	4.76 b	66.31 b	14.28 b
Sustrato (SUS)				
Pumita	30.65 a	5.83 a	91.95 a	17.50 a
Tezontle	17.89 b	4.28 b	53.68 b	12.85 b
SOL X SUS	ns	**	ns	**

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 1%; BFR= biomasa fresca de raíz; BSR= biomasa seca de raíz; ddt=días después del trasplante.

Cuadro 9. Correlaciones entre las variables de crecimiento y producción de fruto evaluadas en el cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Variable	AP	DT	NH	AF	BFP	BSP	BFR	BSR	PPF
AP	1.000	0.134	0.098	-0.871**	-0.713**	-0.697*	0.166	0.228	0.677*
DT		1.000	-0.534	0.044	0.035	0.160	0.637*	0.740**	0.489
NH			1.000	-0.203	-0.028	-0.211	-0.368	-0.577*	0.054
AF				1.000	0.930**	0.951**	0.253	0.147	-0.391
BFP					1.000	0.972**	0.401	0.204	-0.180
BSP						1.000	0.480	0.327	-0.161
BFR							1.000	0.912**	0.682*
BSR								1.000	0.619*
PPF									1.000

*= significancia estadística a 5%; **= significancia estadística a 1%; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; NH= número de hojas; AF= área foliar; BFR= biomasa seca de raíz; BSR= biomasa seca de raíz; BFP= biomasa fresca de parte aérea; BSP= biomasa seca de parte aérea; PFP= producción de frutos por planta.

6.3.4 Efecto de la solución nutritiva en lecturas SPAD

Se encontró efecto de la solución nutritiva para lecturas SPAD en las diferentes fechas de muestreo (Cuadro 10). Estas fueron mayores con la solución nutritiva de Castellanos de 10 a 14 %, con respecto a las plantas que se regaron con la solución de Steiner, lo que muestra que el cultivo de tomate cherry, respondió a la diferente composición química de las soluciones nutritivas. En relación a esto Fang *et al.* (2010) y Hossain *et al.*, (2010) indican que las lecturas SPAD pueden ser relacionadas con el contenido de nitrógeno presente en las hojas y por lo tanto existe mayor fotosíntesis. Se observó también que las lecturas SPAD fueron en aumento hasta los 80 ddt, después estas disminuyeron (Cuadro 10). Esto coincide con el trabajo realizado en tomate por Cruz-Crespo *et al.* (2012).

Preciado-Rangel *et al.* (2011), con un estudio de diferentes soluciones nutritivas en tomate, obtuvieron con la solución de Steiner al 100 % lecturas de 54 SPAD, comparado con los

resultados de esta investigación se obtuvieron lecturas SPAD superiores hasta en un 8 %, con la solución de Steiner desde los 80 ddt y con la solución de Castellanos a partir de los 60 ddt entre 7 a 16 %.

Cuadro 10. Lecturas SPAD en hojas del cultivo de tomate cherry Sweet Treats a diferentes fechas de muestreo en invernadero.

Factor	Lecturas SPAD					
	20 ddt	40 ddt	60 ddt	80 ddt	100 ddt	120 ddt
Solución (SOL)						
Steiner	43.15 a	48.80 b	50.61 b	58.78 b	55.26 b	54.60 b
Castellanos	41.71 b	49.35 a	58.31 a	65.03 a	64.51 a	61.41 a
Sustrato (SUS)						
Pumita	42.55 a	49.95 a	55.30 a	61.63 a	59.59 a	58.11 a
Tezontle	42.31 a	49.20 a	53.46 a	62.18 a	60.21 a	57.90 a
SOL X SUS	ns	ns	**	ns	**	ns

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 1%; ddt=días después del trasplante.

6.3.5 Efecto del sustrato en lecturas SPAD

No se encontraron diferencias para unidades SPAD por efecto de los sustratos evaluados (Cuadro 10). Esto coincide con el trabajo realizado por Valenzuela-López *et al.* (2014), quienes no encontraron diferencias en lecturas SPAD en tomate tipo bola utilizando sustratos orgánicos constituidos por la mezcla de humus de lombriz y fibra de coco en proporciones volumen (v:v): 25:75, 50:50 y 75:25. En cambio, Gómez-Merino *et al.* (2013) mostraron que para lulo (*Solanum quiroense* Lamarck.) hubo incremento significativo de unidades SPAD al utilizar la mezclas de turba y composta de cachaza en la proporción 60:40 % (v/v), con respecto a la proporción 40:60 % (v/v) y 20:80 % (v/v).

6.4 CONCLUSIONES

La interacción del sustrato pumita con la solución nutritiva de Steiner favoreció la producción de fruto, y también el crecimiento en plantas de tomate cherry Sweet Treats evaluado en altura de planta, diámetro de tallo, biomasa fresca y seca de raíz, con respecto a las plantas producidas en tezontle combinado con la solución de Castellanos.

Las plantas de tomate cherry regadas con la solución nutritiva de Steiner expresaron la más alta producción de fruto, y también la mayor altura de planta, diámetro de tallo, biomasa fresca y seca de raíz en comparación con la solución de Castellanos.

Al utilizar el sustrato pumita las plantas de tomate cherry expresaron mayor producción de fruto y crecimiento con respecto a las plantas cultivadas en tezontle.

6.5 LITERATURA CITADA

- Bachman G. and J. Metzger (2008) Growth of bedding plants in comercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology* 99:3155-3161.
- 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. *Journal of Plant Nutrition* 30:149-161.
- 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. *Journal of Plant Growth Regulation* 21:416-431.
- Britto D. and H. kronzucker (2002) NH_4^+ toxicity in higher plants a critical review. *Journal of Plant Physiology* 159:567-584.
- Can-Chulim A., L. G. Ramírez-Guerrero, H. M. Ortega-Escobar, E. Cruz-Crespo, D. Flores-Román, E. I. Sánchez-Bernal y A. Madueño-Molina (2014) Germinación y crecimiento de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de salinidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:753-763.
- Castellanos J. (2009) Manual de producción de tomate. Ed. Intagri, S.C. Celaya, Mexico. 459 p.

- Cruz-Crespo E., M. Sandoval-Villa, V. H. Volke-Haller, A. Can-Chulim y J. Sánchez-Escudero (2012) Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1361-1373.
- Cruz-Crespo. E., A. Can-Chulim, R. Bugarín-Montoya, J. Pineda-Pineda, R. Flores-Canales, P. Juárez-López y G. Alejo-Santiago (2014) Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia mexicana* 37:289-295.
- De Boodt M., O. Verdonck and I. Cappaert (1974) Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37:2054-2062.
- De Grazia J., P. Tiftonell y A. Chiesa (2007) Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). *Ciencia e Investigación Agraria* 34:195-204.
- Fang L., L. Feng, Q. Song, D. Yuan, C. Su and K. Wang (2010) Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. *Computers and Electronics in Agriculture* 715:560-565.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013) Área cosechada, producción y rendimiento de tomate. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (Enero 2017).
- Flores-Ruvalcaba J. S., A. E. Becerril-Román, V. A. González-Hernández, L. Tijerina-Chávez, T. Vásquez-Rojas (2005) Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11:241-249.
- González-García J., M. Rodríguez-Mendoza, P. Sánchez-García y E. Gaytán-Acuña (2009) Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura Técnica en México* 35:5-11.
- Grigatti M., M. Giorgioni, and C. Ciavatta (2007) Compost-based growing media: influence on growth and nutrient use of bedding plants. *Bioresource Technology* 98:3526-3534.

- Gómez-Merino F. C., L. I. Trejo-Téllez, J. C. García-Alvarado y V. Morales-Ramos (2013) Lulo (*Solanum quiroense* Lamarck.) como nuevo elemento del paisaje en México: germinación y crecimiento en sustratos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:877-887.
- Guo S., H. Brück, J. Gerendás and B. Sattelmacher (2001) Effect of nitrogen form on water, N, and K uptake of *Phaseolus vulgaris* L. grown in a split-root system, In: Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems Through Basic and Applied Research. Ed. Kluwer Academic Publishers. USA. pp:220- 221.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:41-47.
- Hoagland D. and R. Arnon (1950) The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station. 347 p.
- Hossain M., M. Musa, J. Talib, and H. Jol (2010) Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution. *Agricultural Science* 2:49-57.
- Jaramillo J., M. Rodríguez, A. Guzmán y M. Zapata (2007) El cultivo de tomate bajo invernadero. La selva y Minagricultura. 64 p.
- López A., C. 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:967-975.
- Márquez-Hernández C., P. Cano-Ríos, Y. Chew-Madinaveitia, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas (2006) Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12:183-189.
- Morel P., L. Poncet and L. Riviére (2002) Les supports de cultura horticoles. Les Matériaux Complémentaires Ternatifs a la tourbe. Inra. Paris. Francia. 87 p.
- Munns R. (2005) Genes and salt tolerance: ringing them together. *New Phytologist* 167:645-660.

- Ontiveros-Cortés A., J. Kohashi-Shibata, P. Yáñez-Jiménez, J. Acosta-Galleros, E. Martínez-Villegas y A. García-Esteva (2005) Crecimiento de la raíz del frijol con diferentes velocidades de secado del suelo. *Revista Terra Latinoamericana* 23:311-320.
- Ortega-Martínez L., J. Sánchez-Olarte, J. Ocampo-Mendoza, E. Sandoval-Castro, B. Salcido-Ramos y F. Manzo-Ramos (2010) Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6:339-346.
- 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30:145-149.
- Pratap V. y Y. K. Sharma (2010) Impact of osmotic stress on seed germination and seedling growth in black gram (*Phaseolus mungo*). *Journal of Environmental Biology* 31:721-726.
- Preciado-Rangel P., M. Fortis-Hernández, J. García-Hernández, E. Rueda-Puente, J. Esparza-Rivera, A. Lara-Herrera, M. Segura-Castruita y J. Orozco-Vidal (2011) Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36:689-693.
- Rodríguez-Díaz E., E. Salcedo-Pérez, R. Rodríguez-Macias, D. Gonzáles-Eguiarte y S. Mena-Munguia (2013) Reuso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Revista Terra Latinoamericana* 31:275-284.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2010) Monografía de cultivos: tomate. www.sagarpa.gob.mx (Enero 2017).
- SAS Institute (1999) Statistical Analysis System (SAS) Versión 9 User's guide. Cary, N. C. USA. 584 p.
- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (2013) Estadística básica. www.siap.gob.mx (Septiembre 2016).

- Steiner A. A. (1984) The Universal Nutrient Solution. Proceeding Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands. pp:633-650.
- Tischner R. (2000) Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. *Plant, Cell and Environment* 23:1005-1024.
- 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:863-876.
- 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:807-818.

7. CAPÍTULO II. INTENSIDAD DE RALEO DE FRUTO Y SOLUCIONES NUTRITIVAS EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY

RESUMEN

La práctica de raleo de fruto y la nutrición son factores que pueden contribuir en el incremento de la producción y calidad de fruto, tal como en el tomate cherry. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las soluciones nutritivas de Steiner y Castellanos en combinación con dos intensidades de raleo de fruto (12 y 16 frutos por racimo) en la producción y calidad de tomate cherry Sweet Treats en invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2. Se determinaron las variables diámetro ecuatorial, diámetro distal, peso medio de fruto, número de frutos y producción de frutos por planta, también sólidos solubles totales, acidez titulable, firmeza, pérdida de peso, vida de anaquel y color (luminosidad, hue y croma). Se encontró que las plantas regadas con la solución nutritiva de Steiner presentaron mayor diámetro ecuatorial en 3 %, peso medio en 5 % y producción de fruto en 14 %, también incrementó el pH, firmeza y vida de anaquel en 3 a 25 %, y registraron las menores pérdidas de peso, con respecto a las plantas con la solución de Castellanos; sin embargo, con la solución de Castellanos se obtuvo un aumento entre 6 a 15 % en sólidos solubles totales, acidez titulable, luminosidad y croma. En relación al raleo de frutos, las plantas manejadas a 12 frutos obtuvieron mayor diámetro ecuatorial, diámetro distal, peso medio de fruto, pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, firmeza, vida de anaquel, luminosidad, hue y croma, hasta en un 16 %; en tanto que con 16 frutos se logró un mayor número de frutos y mayor producción en 11 %.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, calidad, producción, solución de Steiner.

SUMMARY

The practice of fruit thinning and nutrition are factors that can contribute to increase the production and quality of fruit, such as the cherry tomato. Therefore, the objective of this research was to evaluate nutritive solutions of Steiner and Castellanos in combination with two intensities of thinning of fruit (12 and 16 fruits per cluster) in the production and quality

of Sweet Treats cherry tomato in greenhouse. A completely randomized experimental design with 2 x 2 factorial arrangement was used. Were determined the variables equatorial diameter, distal diameter, average fruit weight, number of fruits and fruit production per plant, also total soluble solids, titratable acidity, firmness, weight loss, shelf life and color (luminosity, hue and croma). It was found that the plants irrigated with the nutrient solution of Steiner presented greater equatorial diameter in 3 %, average weight in 5 %, fruit production in 14 %, it also increased pH, firmness, shelf life in 3 a 25 %, and registered the smaller weight losses with respect to the plants with the Castellanos solution; however, with Castellanos solution was increased from 6 to 15% in total soluble solids, titratable acidity, luminosity and croma. In relation to fruit thinning, the plants managed with 12 fruits obtained greater equatorial diameter, distal diameter, average fruit weight, pH, total soluble solids, titratable acidity, firmness, shelf life, luminosity, hue and croma, superiority up to in 16 %; while with 16 fruits reach a higher number of fruits and a higher production in 11 %.

Index words: *Solanum lycopersicum*, production, quality, Steiner solution.

7.1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el tomate es una hortaliza de las más producidos con gran variedad de usos, ya sea el consumo en fresco o industrializado, y se produce tanto en cielo abierto como en condiciones protegidas (Ruiz-Martínez., 2012). En México, la mayor parte de la producción de hortalizas en invernadero se dedica al cultivo de tomate, debido a las ventajas agronómicas que presenta tal como el aumento en rendimiento y calidad de los frutos, y por la oportunidad de negocio que representa para los productores de hortalizas como un sistema rentable (Moreno-Reséndez *et al.*, 2011).

Durante el cultivo de tomate el raleo de frutos es una técnica útil que se utiliza para regular la carga del mismo, y así favorecer el desarrollo y calidad comercial de estos, ya que se obtiene fruto de tamaño homogéneo y con mayor contenido de azúcares, acidez, firmeza, color, tamaño y antioxidantes como licopeno y ácido ascórbico (King *et al.*, 2010; Beckles, 2012). Esta práctica es más frecuente en los tomates de tamaño pequeño como el tipo cherry, ya que crecen en racimos muy densos y ramificados, pudiendo dar un elevado número de frutos de baja calidad y calibre (Velasco-Hernández *et al.*, 2011). Otro aspecto importante en la

producción y calidad de tomate, es la nutrición del cultivo durante el ciclo, pues la nutrición de la planta está relacionada directamente con la calidad de frutos, en términos de tamaño, apariencia, textura, sabor, aroma, valor nutritivo, constituyentes químicos y propiedades funcionales (Preciado-Rangel *et al.*, 2011; López-Martínez *et al.*, 2016). En relación a esto Coutinho *et al.* (2014) mencionan que la mayor fertilización con P y K mejoran el pH y el contenido de sólidos solubles del fruto, por la participación de estos nutrientes en la síntesis, el transporte y el metabolismo de los azúcares de la planta, mientras que Ruiz-Sánchez (2008) indica que plantas con mayor aporte de K registraron los valores más altos en sólidos solubles totales, azúcares, ácidos, carotenos y licopeno en frutos. Por ello, para cubrir las necesidades nutrimentales de las plantas cultivadas en sustratos se utilizan soluciones nutritivas, las cuales deben contener todos los elementos esenciales; no obstante, existen diferentes formulaciones de estas, que se utilizan con la finalidad de mejorar la producción y calidad de los cultivos hortícolas (Moreno-Velázquez *et al.*, 2015). Esto debido a que la demanda nutrimental difiere de acuerdo con la especie (Cruz-Crespo *et al.*, 2017). Por lo tanto, no puede haber una solución nutritiva única para obtener resultados satisfactorios en todos los cultivos. Por tanto se deben buscar alternativas que ayuden a mejorar la producción y calidad de los productos. La solución nutritiva de Steiner (1984) ha sido ampliamente usada y considerada suficientemente útil en las investigaciones realizadas, lo que ha limitado ampliar las investigaciones con otras soluciones nutritivas.

Con base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar dos soluciones nutritivas en combinación con dos intensidades de raleo de fruto sobre la producción y calidad poscosecha de tomate cherry en invernadero.

7.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en un invernadero con ventana cenital, techo de polietileno blanco lechoso y ventanas laterales con malla antiáfidos, ubicado en Xalisco, Nayarit, México a 21° 25' 40" N, 104° 53' 30" O y 984 m de altitud. La temperatura promedio máxima y mínima fue de 29 y 19 °C con humedad relativa promedio de 79 % y una radiación fotosintéticamente activa promedio de 475 $\mu\text{mol fotón m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 7 y 8).

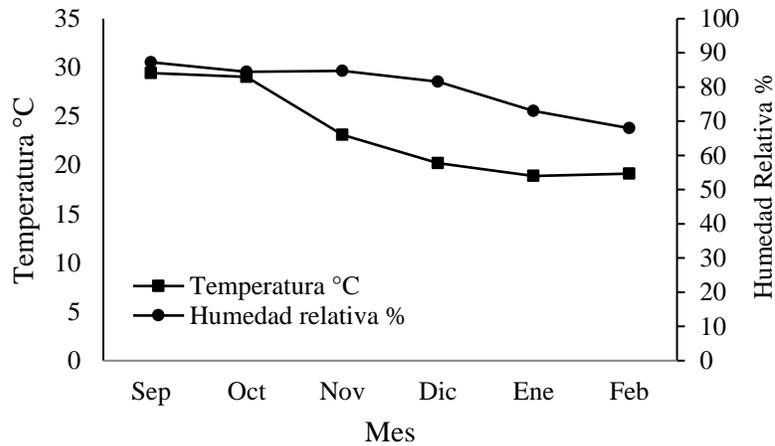


Figura 4. Temperatura y humedad relativa durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

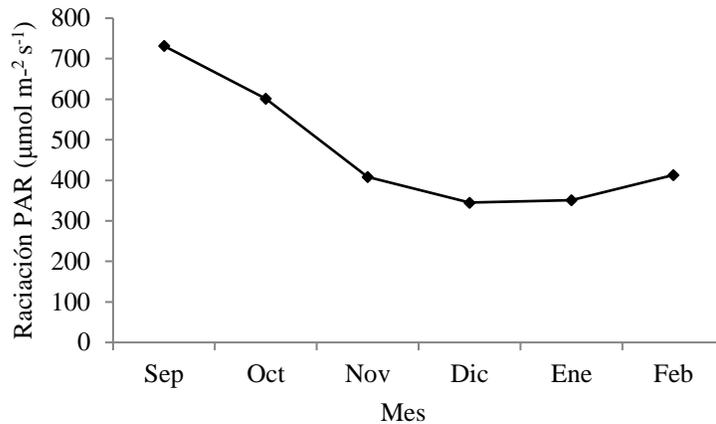


Figura 5. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) durante el ciclo del cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Se utilizó semilla de tomate tipo cherry de crecimiento indeterminado ‘Sweet Treats’, la cual se sembró el 10 de agosto del 2015 en charolas de unicel de 200 cavidades, utilizando como medio de crecimiento peat-moss[®]. Se aplicaron de uno a dos riegos diarios de 300 mL cada uno con la solución nutritiva de Steiner (1984) o Castellanos (2009) al 25 %, según el crecimiento de la plántula y las condiciones de clima.

El trasplante se realizó a los 21 días después de la siembra, colocando una plántula por maceta de polietileno negro de 35 x 35 con capacidad de 15 L, rellena con el sustrato pumita de

tamaño de partícula entre 3 a 8 mm. Las macetas se acomodaron con distancia de 1.5 m entre hileras y 0.5 m entre plantas, con una densidad de plantación de 1.33 plantas m⁻², cada planta se manejó a dos tallos.

Posterior al trasplante se inició el riego con las soluciones nutritivas de Steiner (1984) y Castellanos (2009) al 50 % de concentración, después se fue aumentando en función de la etapa fenológica del cultivo, hasta llegar al 100% de concentración. La CE fue de 2.22 dS m⁻¹ y pH de 6.4 para Steiner, y 3.64 dS m⁻¹ y pH 6.1 para Castellanos. En la preparación de las soluciones nutritivas se consideró el análisis de agua, y los fertilizantes utilizados fueron Ca(NO₃)₂·4H₂O, KNO₃, MgSO₄·7H₂O, K₂SO₄ y KH₂PO₄, incluyendo NH₄NO₃ sólo para Castellanos. Los micronutrientes 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, esto para ambas soluciones nutritivas. La composición química de las soluciones nutritivas se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Composición química de las soluciones nutritivas al 100 % utilizadas para la producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Solución	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
	meq L ⁻¹						
Steiner (1984)	12	1	7	7	9	4	-
Castellanos (2009)	12	1.5	8.5	8.5	9	4	0.5

El riego fue por goteo, se inició aplicando 250 mL por planta con cinco riego por día, el volumen y la frecuencia de riego varió en todo el ciclo del cultivo, ya que este fue aumentando en función de la etapa fenológica de la planta y las condiciones climáticas, por lo que se llegó hasta 3.5 L por planta, con diecisiete riegos por día, con una fracción de lixiviado del 20 %.

El raleo de frutos se realizó cuando se formaron las inflorescencias e inició el amarre de frutos, se cortaron las flores terminales o frutos pequeños de cada racimo, dejando un determinado número de frutos en función del tratamiento.

Se presentó incidencia de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* (Gennadius)), la que se controló con aplicaciones del insecticida Imidacloprid[®] a una dosis de 1 mL·L⁻¹ de agua.

Los frutos fueron cosechados en coloración rosa entre 10 y 30 % en la superficie, después fueron transportados a la planta agroindustrial de la Unidad Académica de Agricultura donde se realizaron todas las determinaciones, con una temperatura promedio de 23 °C y una humedad relativa promedio de 83 %.

VARIABLES DE TAMAÑO Y PRODUCCIÓN DE FRUTO. Diámetro ecuatorial, se determinó en la parte media del fruto con un vernier digital marca TRUPER CALDI-6MP®; diámetro distal, se midió desde la zona del pedúnculo a la zona apical con un vernier digital TRUPER CALDI-6MP®; peso medio de fruto, se pesó cada fruto del racimo con una balanza digital A&D GX-2000®. Estas tres variables se evaluaron en todos los frutos del racimo 1, 3 y 5, y se promediaron. Número de frutos, se registraron los frutos por corte y al final se sumó el total por planta; producción de fruto por planta, se llevó a cabo el corte a partir de los 55 ddt hasta los 180 ddt, se pesó con una balanza digital TORREY EQ-5/10®.

VARIABLES DE CALIDAD DE FRUTO. Las siguientes variables se evaluaron en frutos completamente maduros del racimo 1, 3 y 5, excepto la pérdida de peso y vida de anaquel las cuales se evaluaron en frutos del racimo 1. Sólidos solubles totales (°Brix), se extrajo una gota de jugo de tomate y se tomó la lectura con un refractómetro digital ATAGO PR-101α® (0-32 %); pH, se trituró todo el fruto, después se tomaron 3 g de muestra y se licuaron con 50 mL de H₂O destilada, se realizaron las mediciones con un potenciómetro CORNING PH ANALYZER 350®; acidez titulable, se utilizaron los mismos frutos a los que se les midió pH, se tomaron 10 mL de muestra, se le colocaron 2 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N según la metodología de AOAC (1990); firmeza, para las mediciones se utilizó un penetrómetro QA SUPPLIES FT-327® con puntal de embolo de 8 mm de diámetro, se tomaron lecturas en los lados opuestos del fruto y se obtuvo un promedio; pérdidas de peso, los frutos cosechados en coloración rosa fueron expuestos a condiciones de laboratorio, donde se tomó la pérdida de peso diario después de la cosecha en una balanza A&D GX-400®, se sacó la diferencia con respecto al peso inicial; vida de anaquel, fue evaluada en los mismos frutos de pérdida de peso, se consideró término de vida de anaquel cuando el fruto presentó 7 % de pérdida de peso, esto de acuerdo a Ballesteros (2001); color de fruto, con el colorímetro COLOR TEC PCM+® se tomaron los valores L, a y b en dos zonas opuestas de la región ecuatorial, con estos valores se calculó el ángulo de tono (hue) y la pureza del color (croma) con las fórmulas:

Hue= $\tan^{-1}(b/a)$; Cromo= $(a^2+b^2)^{1/2}$ (Little, 1975) y la luminosidad L fue obtenida directamente con el colorímetro, los cuales corresponden al espacio de color L*a*b* según Minolta (2007).

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2, los factores y sus niveles fueron dos soluciones nutritivas (Steiner y Castellanos) y dos intensidades de raleo (12 y 16 frutos por racimo) con once repeticiones. Para diámetro ecuatorial, diámetro distal y peso medio de fruto, la unidad experimental consistió de todos los frutos del racimo 1, 3 y 5 por planta; en el caso de número de frutos y producción de frutos por planta la unidad experimental fue una planta a dos tallos; para pérdida de peso y vida de anaquel fueron 5 frutos como unidad experimental; para el resto de las variables se consideró como unidad experimental los primeros frutos que maduraron del racimo 1, 3 y 5. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza, una prueba de medias por Tukey ($P \leq 0.05$) y un análisis de correlación de Pearson mediante el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1999).

7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.3.1 Interacción de la solución nutritiva x raleo de fruto

Se encontraron interacciones importantes para algunas variables de tamaño y calidad de fruto, ya que para diámetro ecuatorial y peso medio de fruto la interacción aportó a la suma de cuadrados de tratamientos 78 y 30 %. Para las variables pH, sólidos solubles totales y acidez titulable la contribución a la suma de cuadrados de tratamiento fue del 11 al 44 %. En firmeza, también se encontró interacción con un valor entre 26 al 79 % a la suma de cuadros de tratamiento. Para el caso del color, en luminosidad el aporte a la suma de cuadros fue del 21 al 53% y en hue fue del 44 al 60 %. Las demás variables evaluadas se explicaron sólo en función de cada factor estudiado.

Al combinar la solución nutritiva de Steiner con el raleo a 12 frutos por racimo se obtuvo el mayor diámetro ecuatorial; no obstante, el peso medio de fruto fue mayor al combinar la solución de Steiner con el raleo a 12 frutos, en tanto que el menor valor lo presentó la solución de Castellanos con 16 frutos. Los valores de pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y firmeza fueron menores con la interacción de la solución nutritiva de Steiner con raleo a 16 frutos, en cambio la solución nutritiva de Castellanos en combinación con 12 frutos influyó para obtener el mayor pH, sólidos solubles totales, acidez titulable y firmeza. No obstante, al

irrigar con la solución de Castellanos con 12 frutos por racimo favoreció la luminosidad y el hue.

7.3.2 Efecto de la solución nutritiva en variables de tamaño y producción de fruto

Se encontró efecto de la solución nutritiva en las variables de tamaño y producción de fruto excepto en el diámetro distal y número de frutos (Cuadro 12). Con la solución nutritiva de Steiner, respecto de la solución de Castellanos los frutos presentaron mayor diámetro ecuatorial en 3 %, mayor peso medio en 5 % y mayor producción de fruto en 14%. El decremento del tamaño y producción de fruto de la solución de Castellanos, se atribuyó en parte a la mayor cantidad de fertilizante nitrogenado que aportó la solución nutritiva de castellanos, lo cual permitió un mayor desarrollo vegetativo aéreo de las plantas, esto pudo haber ocasionado una disminución en la producción y tamaño de los frutos de tomate como lo señala Martínez-Martínez *et al.* (2013). Otro factor que pudo influir es la mayor conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva de Castellanos, ya que la alta CE puede reducir el tamaño y producción de los frutos, debido a los trastornos nutricionales inducidos por la salinidad, asociados con la absorción excesiva de nutrientes provocando un desequilibrio nutrimental, absorción competitiva y un transporte y efecto iónico negativo (San Martín-Hernández *et al.*, 2012). Además, la disponibilidad y absorción de agua por las plantas disminuye, por lo tanto, reduce la presión del transporte de agua y solutos por el xilemas afectando no solo el crecimiento vegetativo de la planta, sino también a los frutos (Goykovic-Cortés y Saavedra-Del Real, 2007). Por lo tanto, podemos deducir que en este estudio la CE influyó para obtener el menor tamaño y producción de frutos.

El efecto ocasionado por la solución nutritiva de Steiner en este trabajo de investigación tienen relación con los resultados de López-Martínez *et al.* (2016) quienes encontraron con la solución nutritiva de Steiner un incremento en diámetro ecuatorial y producción de fruto de tomate, con respecto al obtenido con soluciones a base de té de composta, te de vemicomposta y lixiviado de vermicomposta, mientras que Ochoa-Martínez *et al.* (2009) encontraron que la fertilización con la solución nutritiva de Zaidan, obtuvo el mayor diámetro ecuatorial, peso de fruto y producción con 21.8 kg/m², con respecto a los frutos producidos con soluciones a base de té de composta y te diluido.

Cuadro 12. Diámetro ecuatorial, diámetro distal, peso medio de fruto y producción total de fruto de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.

Factor	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro distal (mm)	Peso medio de fruto (g)	Numero de Frutos/planta	Producción total (g/planta)
Solución (SOL)					
Steiner	34.53 a	32.78 a	29.16 a	302.30 a	8091.90 a
Castellanos	33.62 b	33.14 a	27.69 b	300.10 a	6984.75 b
Raleo (RAL)					
12 Frutos	34.86 a	33.72 a	28.92 a	274.80 b	7087.90 b
16 Frutos	33.28 b	32.21 b	27.92 b	327.60 a	7988.75 a
SOL X RAL	**	ns	**	ns	ns

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 1%.

7.3.3 Efecto del raleo de fruto en variables de tamaño y producción de fruto

Por el factor raleo de frutos se obtuvo diferencia en todas las variables de tamaño y producción de fruto (Cuadro 12). Al manejar plantas con 12 frutos por racimo se obtuvo mayor diámetro ecuatorial en 5 %, mayor diámetro distal en 4 % y mayor peso medio de fruto en 3 % con respecto a las plantas con 16 frutos por racimo; sin embargo, al dejar las plantas con 16 frutos se logró un mayor número de frutos (327 frutos/planta) y una más alta producción en 11 %, en relación al obtenido con 12 frutos por racimo (274 frutos/planta). Esto se puede explicar porque el tamaño y peso que alcanzan los frutos de tomate es influido por la cantidad de fotoasimilados disponibles por planta, pues al eliminar flores los fotoasimilados se reparten entre menos frutos y se propicia un mayor tamaño (Bojacá *et al.*, 2009; Velasco-Hernández *et al.*, 2011). Esto coincide con las correlaciones negativas encontradas en la variable número de frutos con el diámetro ecuatorial ($r = -0.72^{**}$), diámetro distal ($r = -0.92^{**}$) y peso medio de fruto ($r = -0.631^*$), al igual que con la correlación positiva encontrada entre el número de frutos y producción de fruto ($r = 0.64^*$) (Cuadro 13).

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Gaytán-Ruelas *et al.* (2016) en tomate bola, quienes encontraron mayor diámetro ecuatorial y peso medio de fruto con un raleo a 4 frutos por racimo, mientras que la producción por planta aumentó al manejar plantas con 5 frutos por racimo. En durazno (*Prunus pérsica*) Giovanaz *et al.* (2016) al realizar raleo de flores detectaron con el mayor raleo, un incremento en tamaño y peso medio de fruto, sin embargo el número de fruto y la producción fue mayor en arboles sin raleo.

Por otra parte, los valores de diámetro obtenidos con la solución nutritiva de Steiner en este estudio se encuentran dentro del rango adecuado para su clasificación por calibre y comercialización en fresco, acorde a la norma internacional para tomate CODEX STAN 293 de acuerdo a la FAO (2007).

Cuadro 13. Correlaciones entre las variables de tamaño y producción de fruto evaluadas en el cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Variable	DE	DD	PMF	NF	PFP
DE	1.000	0.670*	0.421	-0.728**	-0.106
DD		1.000	0.422	-0.928**	-0.740**
PMF			1.000	-0.631*	-0.110
NF				1.000	0.648*
PFP					1.000

*= significancia estadística a 5%; **= significancia estadística a 1%; DE= diámetro ecuatorial; DD= diámetro distal; PMF= peso medio de fruto; NF= número de frutos; PFP= producción de frutos por planta.

7.3.4 Efecto de la solución nutritiva en variables de calidad de fruto

En cuanto a la calidad de fruto, la solución nutritiva de Steiner obtuvo mayor pH, firmeza y vida de anaquel en un 3 a 25 %, además con esta solución se presentaron las menores pérdidas de peso, lo cual fue consistente desde el inicio de la evaluación; con respecto a la solución de Castellanos, los sólidos solubles totales y acidez titulable fueron mayores entre 6 a 15 % (Cuadro 14, 15 y 16). No obstante, la solución de Castellanos favoreció el color de los frutos de tomate, ya que se logró aumentar la luminosidad y el croma hasta en un 9 %, con respecto a

la solución de Steiner (Cuadro 17). Lo anterior se atribuye a la mayor CE en la solución nutritiva de Castellanos, por lo cual existió menor absorción y acumulación de agua por las plantas, pues se presenta una reducción del potencial hídrico en el medio por la mayor concentración de sales, lo cual limita o disminuye el flujo del agua hacia el interior de la planta provocándole un estrés hídrico, una respuesta de las plantas ante esta situación es la producción y acumulación de ósmolitos orgánicos de bajo peso molecular como azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (cítrico, málico y ascórbico), con el fin de aumentar la cantidad de solutos y así lograr disminuir el potencial hídrico, facilitando la absorción y flujo de agua en las plantas (Goykovic-Cortés y Saavedra-Del Real, 2007; Cliff *et al.*, 2012). Por lo tanto, podemos deducir que esta mayor acumulación de azúcares y ácidos orgánicos en las plantas al utilizar la solución de Castellanos mejoró algunos atributos de calidad tal como sólidos solubles totales, acidez titulable y color de frutos de tomate cherry. Otro factor que se le atribuye a estos resultados por la aplicación de la solución de Castellanos es el mayor suministro de P y K, además la cual incluyó el ion NH_4^+ (Cuadro 11). Al respecto, Coutinho *et al.* (2014) mencionan que la mayor fertilización con P y K mejoran los sólidos solubles del fruto, por la participación de estos nutrientes en la síntesis, el transporte y el metabolismo de los azúcares de la planta. Ruiz-Sánchez (2008) señala que con mayor aporte de K registraron los valores más altos en sólidos solubles totales, azúcares, ácidos, carotenos y licopeno. Mientras que Heeb *et al.* (2005) comentan que el suministro de N en tomate en forma de NH_4^+ mejora el sabor, dado que estos incrementan el dulzor y acidez en fruto en comparación cuando sólo se suministra NO_3^- .

Los resultados obtenidos en este estudio para la variable pH fueron similares a los reportados por Toor *et al.* (2006), quienes obtuvieron frutos de tomate con un pH de 3.77 donde la planta fue cultivada con soluciones donde predominó el NH_4^+ , sin embargo cuando predominó el NO_3^- el pH fue mayor con 3.93; esta situación sugiere que tal vez en el presente estudio al utilizar la solución nutritiva de Castellanos pudo influir en el pH de los frutos de tomate, además esto es congruente con las correlaciones negativas encontradas entre la variable pH con sólidos solubles totales ($r = -0.61^{**}$) y acidez titulable ($r = -0.59^{**}$) (Cuadro 18).

Cuadro 14. pH, sólidos solubles totales y acidez titulable de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.

Factor	pH	SST	AT	pH	SST	AT	pH	SST	AT
		(°Brix)	(%)		(°Brix)	(%)		(°Brix)	(%)
	1er. racimo			3er. racimo			5to. racimo		
Solución (SOL)									
Steiner	3.77 a	5.50 b	0.61 b	3.74 a	5.44 b	0.58 b	3.90 a	5.65 b	0.56 b
Castellanos	3.64 b	6.36 a	0.65 a	3.67 b	6.02 a	0.65 a	3.89 a	6.61 a	0.65 a
Raleo (RAL)									
12 frutos	3.71 a	6.08 a	0.64 a	3.72 a	5.69 a	0.63 a	3.95 a	6.19 a	0.62 a
16 frutos	3.71 a	5.78 b	0.61 b	3.69 b	5.77 a	0.59 b	3.83 b	6.07 a	0.52 b
SOL X RAL	ns	**	**	**	ns	ns	**	**	**

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%; SST= sólidos solubles totales; AT= acidez titulable.

En cuanto a los sólidos solubles totales, Preciado-Rangel *et al.* (2011) encontraron diferencias en fruto de tomate, donde las soluciones nutritivas de té de compost, té de vermicompost y lixiviados presentaron mayor contenido de sólidos solubles de un 7 a 11 %, en comparación a la solución nutritiva de Steiner. En tanto que en frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) Moreno-Velázquez *et al.* (2015) encontraron diferencias para la variable SST (°Brix), donde resultó mayor en los frutos cultivados con la solución nutritiva de Morard y Benavides (3.57), comparada con la solución de Steiner (3.33). Por otra parte, los valores de acidez titulable obtenidos oscilaron de 0.56 a 0.65 % los cuales fueron mayores a los reportados en otros trabajos con tomate (Dobričević *et al.* 2008). El aumento en los valores de acidez titulable y sólidos solubles totales con la solución nutritiva de Castellanos explica la correlación positiva ($r = 0.71^{**}$) observada, lo cual resulta congruente a lo que indican Kuscu *et al.* (2014) quienes refieren que el mayor suministro de nitrógeno incrementa la acidez y los sólidos solubles totales lo cual pudo haber sucedido en el presente trabajo de investigación. No obstante, los valores de acidez encontrados, se consideran adecuados pues son menores al 2 %, ya que una

baja acidez y un alto contenido de sólidos solubles indican un buen sabor en tomate (Tando *et al.* 2003).

Por otra parte, González (2004) señala que para la comercialización de tomate cherry en fresco los valores de sólidos solubles deben estar entre 4.5 a 5.5 °Brix, la acidez titulable en 0.5 a 1.0 % y con un pH menor a 4.4; por lo tanto los valores obtenidos en este trabajo de investigación se encuentran dentro del rango óptimo para ser comercializados.

Cuadro 15. Firmeza y vida de anaquel de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.

Factor	Firmeza (kg cm ⁻²)			Vida de anaquel (días)
	1er. racimo	3er. racimo	5to. racimo	
Solución (SOL)				
Steiner	0.87 a	0.96 a	0.96 a	9.30 a
Castellanos	0.85 b	0.88 b	0.89 b	6.95 b
Raleo (RAL)				
12 Frutos	0.87 a	0.93 a	0.96 a	8.30 a
16 Frutos	0.86 a	0.91 b	0.90 b	7.95 b
SOL X RAL	**	**	**	ns

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%.

Con respecto a la firmeza de frutos, existen estudios que indican que el Ca²⁺ mejora la firmeza de los frutos, proporcionando mayor rigidez a la pared celular, además de proteger contra el estrés hídrico y mejora la vida de anaquel (Hirschi, 2004; Bouzo y Cortez, 2012); sin embargo, aun cuando las dos soluciones nutritivas evaluadas en este estudio contienen Ca²⁺ en la misma cantidad, la solución de Castellanos presentó frutos con menor firmeza, lo que se atribuye a la mayor CE que presentó esta solución, lo cual pudo generar un desbalance en la absorción de calcio (Goykovic-Cortés y Saavedra-Del Real, 2007). Este problema puede ocurrir aun cuando la planta cuente con suficiente abastecimiento de calcio pero es sometida a este tipo de estrés. Los resultados en este estudio difieren con los obtenidos por Moreno-Velázquez *et al.* (2015)

en el cultivo de pepino quienes no encontraron respuesta en la firmeza de los frutos al aplicar la solución nutritiva de Steiner, y la solución de Morard y Benavides a diferentes concentraciones (50 y 100 %).

La pérdida de peso con la solución de Castellanos fue mayor en relación a la solución nutritiva de Steiner conforme transcurrió el tiempo, estos resultados se asemejan a los obtenidos en tomate por Javanmardi y Kubota (2006). Las pérdidas de agua reducen la turgencia de los tejidos y provocan un ablandamiento de los frutos, afectando la calidad de frutas y hortalizas (Saladié *et al.*, 2007). En el presente estudio se encontró correlación positiva entre la firmeza y vida de anaquel ($r= 0.358^*$) y una correlación negativa de la variable pérdida de peso con la vida de anaquel ($r= -0.393^*$) (Cuadro 18), por lo tanto una mayor firmeza propició una mayor vida de anaquel, y la solución nutritiva de Steiner presentó las menores pérdidas de peso, por lo cual obtuvo la mayor vida de anaquel de frutos. Además, la apariencia del fruto fue congruente con el término de vida de anaquel y ablandamiento notorio, característica fundamental que determina la aceptabilidad y la decisión de compra de los frutos de tomate (Saladié *et al.*, 2007; Toivonen y Brummell, 2008).

Cuadro 16. Pérdida de peso de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.

Factor	Pérdida de peso (%)				
	4 ddc	8 ddc	12 ddc	16 ddc	20 ddc
Solución (SOL)					
Steiner	1.71 b	4.74 b	6.66 b	8.61 b	10.59 b
Castellanos	2.25 a	5.35 a	7.51 a	9.76 a	11.59 a
Raleo (RAL)					
12 Frutos	2.03 a	5.04 a	7.11 a	9.15 a	11.15 a
16 Frutos	1.93 a	5.05 a	7.06 a	9.22 a	11.03 a
SOL X RAL	ns	ns	ns	ns	ns

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%.

En cuanto el color de fruto, la solución de castellanos presentó mejor luminosidad y croma por lo que podemos decir que la intensidad del color rojo (pureza del color) aumentó. De acuerdo con Simonne *et al.* (2007) en frutos de tomate encontraron mejor color debido a la mayor concentración de carotenoides cuando una concentración moderada (menor a 10 % del nitrógeno total aplicado) de NH_4^+ fue utilizada. Así también, la mayor CE influye en la síntesis de licopeno al promover un comportamiento sigmoidal de este carotenoide, obteniendo el mayor contenido de licopeno a 4.4 dS m^{-1} como señala Dorais *et al.* (2007), lo cual fue similar a los resultados de este estudio, ya que la solución que presentó mayor CE presentó mejor color.

7.3.5 Efecto del raleo de fruto en variables de calidad de fruto

Las diferentes intensidades de raleo afectaron todas las variables de calidad de fruto (Cuadro 14, 15, 16 y 17). Los racimos con 12 frutos presentaron mayor pH, sólidos solubles totales, acidez titulable, firmeza y vida de anaquel superioridad estadística que fue entre 1 a 16 %, con respecto a las plantas producidas a 16 frutos por racimo. En el caso del color la luminosidad, hue y croma fueron mayores en frutos con un raleo de 12 frutos por racimo entre 1 a 4 %, con respecto al raleo a 16 frutos (Cuadro 17). Los resultados obtenidos en este estudio se atribuyen a la competencia por carbohidratos, debido al mayor número de frutos por racimo, lo cual pudo comprometer la calidad de los frutos. En relación a esto Velasco-Hernández *et al.* (2011) indican que la calidad de los frutos se ve beneficiada por el raleo, ya que durante el crecimiento reproductivo de las plantas, los frutos son el mayor destino compitiendo por azúcares, lo cual concuerda con Ucan-Chan *et al.* (2005) quienes mencionan que al manejar plantas de tomate con menor número de frutos se puede mejorar la calidad, ya que estas características son influidas por los fotoasimilados disponibles por planta, pues al eliminar frutos de tomate por racimo o planta los asimilados se reparten entre menos frutos y así se pueden mejorar las características organolépticas. No obstante, el raleo de frutos puede mejorar el contenido de carotenoides en los frutos, debido a la competencia por carbohidratos (Rodríguez-Mendoza *et al.*, 2015). En tomate, el principal carotenoide es el licopeno, el cual le otorga el color rojo característico, por ello a menor o mayor contenido de este compuesto repercute en el color de los frutos (Ceballos-Aguirre y Vallejo-Cabrera, 2012).

En relación a lo anterior, los resultados reportados por Alvarado-Sánchez y Monge-Pérez (2015) son distintos a los obtenidos en este estudio, pues no encontraron diferencias para pH y sólidos solubles totales al comparar diferentes intensidades de raleo en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), mientras que en el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.), Quijada *et al.* (2012) en un estudio con diferentes intensidades de raleo, indican que no encontraron diferencias para las variables de pH y acidez titulable por efecto del raleo de frutos, pero para sólidos solubles totales mostraron que el raleo con menor número de frutos afecto considerablemente esta variable obteniendo valores mayores, al igual que en cerezo (*Prunus cerasus*), Cittadini *et al.* (2012) en un estudio donde evaluaron tres niveles de intensidad de raleo con 30%, 60% y 90% de las flores, dentro de cada dardo, obtuvieron un efecto por raleo donde aumentaron los sólidos solubles totales 0.02 unidades porcentuales por cada unidad porcentual incrementada en la intensidad del raleo.

En este contexto, en el cultivo de durazno, Lesičar *et al.* (2016) encontraron para las variables firmeza, con el raleo de frutos se registró un incremento en esta característica, con respecto a los arboles sin raleo, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación, mientras que Alvarado-Sánchez y Monge-Pérez (2015) en cultivo de melón con diferentes intensidades de raleo no encontraron diferencias para firmeza y vida de anaquel.

Cuadro 17. Luminosidad, hue y croma de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.

Factor	L	Hue	Croma	L	Hue	Croma	L	Hue	Croma
	1er. racimo			3er. racimo			5to. Racimo		
Solución (SOL)									
Steiner	44.63 b	32.22 a	27.02 b	45.13 b	33.17 a	26.73 b	45.65 b	34.17 a	26.62 b
Castellanos	45.29 a	32.19 a	29.73 a	45.88 a	32.84 a	29.22 a	46.25 a	33.84 a	28.91 a
Raleo (RAL)									
12 Frutos	44.84 a	32.74 a	28.69 a	45.80 a	33.40 a	28.41 a	46.30 a	34.40 a	28.35 a
16 Frutos	45.08 a	31.67 b	28.06 b	45.21 b	32.62 b	27.54 b	45.60 b	33.62 b	27.18 b
SOL X RAL	**	**	**	**	**	**	**	**	**

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 1%; L= luminosidad.

Cuadro 18. Correlaciones entre las variables de calidad de fruto evaluadas en el cultivo de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Variable	pH	SST	AT	FZ	VA	PP	L	Hue	Croma
pH	1.000	-0.610**	-0.592**	0.254	0.801**	-0.286	-0.274	0.129	-0.846**
SST		1.000	0.715**	-0.012	-0.692**	0.038	0.557**	-0.027	0.604**
AT			1.000	0.203	-0.471**	-0.098	0.007**	-0.103	0.505**
FZ				1.000	0.358*	-0.280	0.281	-0.457**	-0.452**
VA					1.000	-0.393*	-0.522**	0.034	-0.808**
PP						1.000	0.141	-0.278	0.228
L							1.000	-0.360*	0.161
Hue								1.000	0.282
Croma									1.000

*= significancia estadística a 5%; **= significancia estadística a 1%; SST= sólidos solubles totales; AT= acidez titulable; FZ= firmeza; VA= vida de anaquel; PP= pérdida de peso; L= luminosidad.

7.4 CONCLUSIONES

La interacción de la solución nutritiva de Steiner y el raleo a 12 frutos por racimo aumentaron las variables de tamaño y algunas variables de calidad como pH y firmeza; en tanto la interacción solución nutritiva de Castellanos y raleo a 12 frutos sólo influyó en variables de calidad, tales como sólidos solubles totales, acidez titulable y luminosidad de fruto. Por lo que dependiendo de las exigencias de mercado a donde se vaya a dirigir el producto se puede utilizar una u otra solución nutritiva.

Por si misma la solución nutritiva de Steiner aumentó la producción de fruto y variables de calidad; en tanto que la solución de Castellanos mejoró sólo variables de calidad.

El raleo a 12 frutos por racimo mejoró todos los atributos de calidad evaluados en este estudio. Sin embargo, el número y producción de frutos fue superior al manejar plantas con 16 frutos por racimo.

7.5 LITERATURA CITADA

- Alvarado-Sánchez. T y J. E. Monge-Pérez (2015) Efecto de la aplicación de bioactivadores y del raleo manual de frutos sobre el rendimiento y la calidad de melón (*Cucumis melo L.*) bajo cultivo protegido en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* 28:16-25.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1990) Official Methods of Analysis. 15th edition. Ed. Washington DC. USA.
- Ballesteros F. R. (2001) Postcosecha del tomate para consumo en fresco. El cultivo de tomate. Nuez, F. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:589-623.
- Beckles M. D. (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) fruit. *Postharvest Biology and Technology* 63:129-140.
- Bojacá C. R., N. Y. Luque y O. I. Monsalve (2009) Análisis de la productividad del tomate en invernadero bajo diferentes manejos mediante modelos mixtos. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 3:188-198.
- Bouzo C. A. y S. B. Cortez (2012) Efecto de la aplicación foliar de calcio sobre algunos atributos de calidad en frutos de melón. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 38:257-262.
- Castellanos J. (2009) Manual de producción de tomate. Ed. Ocma, soluciones impresas. Celaya, Gto, México. 459 p.
- Ceballos-Aguirre N. and F. A. Vallejo-Cabrera (2012) Evaluating the Fruit Production and Quality of Cherry Tomato (*Solanum lycopersicum var. cerasiforme*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 65:6599-6610.
- Cittadini E. D., Y. J. Balul, G. S. Romano y A. B. Pugh (2012) Efecto de la intensidad y época de realización del raleo sobre el rendimiento y la calidad de fruto en el cultivo de cerezos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 39:51-59.
- Cliff M. A., J. B. Li, P. M. Toivonen and D. L. Ehrent (2012) Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 74:132-140.

- Coutinho E. L., J. V. Orioli, E. J. Silva, A. M. Coutinho y S. S. 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-Crespo E., Á. Can-Chulim, L. J. Loera-Rosales, G. Aguilar-Benítez, J. Pineda-Pineda y R. Bugarín-Montoya (2017) Extracción de N-P-K en *Coriandrum sativum* 'Pakistan' en hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8:355-367.
- De Boodt M., O. Verdonck and I. Cappaert (1974) Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37:2054-2062.
- Dobričević N., S. Voća, J. Borošić, and B. Novak (2008) Effects of substrate on tomato quality. *Acta Horticulturae* 779:485-498.
- Dorais M. (2007) Effect of cultural management on tomato fruit health qualities. *Acta Horticulturae* 744:279-294.
- FAO, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (2007) Norma para el tomate CODEX STAN 293-2007. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/es/> (Junio 2017).
- Giovanaz M. A., P. Alvariza-Amaral, M. Silveira-Pasa, A. P. Fernandes-De Lima, D. Weber y J. C. Fachinello (2016) Chemical thinning affects yield and return flowering in 'Jubileu' peach. *Revista Ceres* 63:329-333.
- González J. F. (2004) Avanzan los sistemas hidropónicos en México. Hortalizas, Frutas y Flores. Ed. Agro Sinaloa. México. 89 p.
- Goykovic-Cortés V. y G. Saavedra-Del Real (2007) Algunos aspectos de la salinidad en el cultivo de tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Revista Idesia* 25:47-58.
- Heeb A., B. Lundegardh, T. Ericsson and G. P. Savage (2005) Effects of nitrate, ammonium, and organic-nitrogen-based fertilizers on growth and yield of tomatoes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168:123-129.
- Hirschi K. D. (2004) Update on calcium nutrition. The Calcium cocondrium. Both versatile nutrient and specific signal. *Plant Physiology* 136: 2438-2442.

- Javanmardi J. and C. Kubota (2006) Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest store. *Postharvest Biology and Technology* 41:151-155.
- King W. K., K. Honck-Eng, K. Prasad, N. Ismal, T. Chin-Ping and N. F. Rajab (2010) Revealing the power of the natural red pigment lycopene. *Molecules* 15:959-987.
- Kuscu H., A. Turhan, N. Ozmen, P. Aydinol and A. O. Demir (2014) Optimizing levels of water and nitrogen applied through drip irrigation for yield, quality, and water productivity of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 55:103-114.
- Lesičar J., Z. Šindrak, J. Šic-Žlabur, S. Voća and M. Skendrović-Babojelić (2016) Influence of Fruit Thinning and Summer Pruning on the Yield and Fruit Quality of Peach Cultivar Royal Gem'. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 81:155-159.
- Little A. C. (1975) Research note off on a tangent. *Journal of Food Science* 40:410-411.
- López-Martínez J. D., D. A. Vázquez-Díaz, J. R. Esparza-Rivera, J. L. García-Hernández, M. A. Castruita-Segura y P. Preciado-Rangel (2016) Rendimiento y calidad nutracéutica de frutos de tomate producidos con soluciones nutritivas preparadas con materiales orgánicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39:409-414.
- Martínez-Martínez L., V. A. Velasco-Velasco, J. Ruiz-Luna, J. R. Enríquez-Del Valle, V. Campos-Ángeles y M. L. Montaña-Lugo (2013) Efecto del nitrato de calcio y sustratos en el rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1175-1184.
- Minolta K. (2007) Precise color communication. Kónica Minolta Sensing. Japan. 59 p.
- Dorai M., A. Papadopoulos and A. Gosselin (2001) Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *EDP Sciences* 21:367-383.
- Moreno-Reséndez A., J. Aguilar-Durón y A. Luévano-González (2011) Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 15:763-774.
- Moreno-Velázquez D., B. N. Hernández-Hernández, J. M. Barrios-Díaz, A. Ibañez-Martínez, W. Cruz-Romero y R. Berdeja-Arbeu (2015) Calidad poscosecha de frutos de pepino

- cultivados con diferente solución nutritiva. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:637-643.
- Ochoa-Martínez E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas (2009) Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15:245-250.
- Preciado-Rangel P., M. Fortis-Hernández, J. L. García-Hernández, E. O. Rueda-Puente, J. R. Esparza-Rivera, A. Lara-Hernández, M. A. Segura-Castrulita y J. A. Orozco-Vidal (2011) Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 36:689-693.
- Quijada O., G. Castellano, Á. Casanova, P. Guerere y R. Camacho (2012) Evaluación del raleo de frutos malformados e inducción floral sobre el rendimiento y la calidad en el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.), variedad Irwin en la planicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 12:290-297.
- Rodríguez-Mendoza M. N., G. Baca-Castillo, J. L. García-Cué y J. A. Urrieta-Velázquez (2015) Aclareo de frutos y aspersiones foliares de calcio y miel de abeja sobre la calidad de tomate tipo costilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:197-204.
- Ruiz-Martínez J., A. A. Vicente, J. C. Montañez-Saez, R. Rodríguez-Herrera y C. N. Aguilar-González (2012) Un tesoro perecedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. *Revista Investigación y Ciencia* 54:57-63.
- Ruiz-Sánchez C. A. (2008) Efecto del fertilizante potásico sobre la calidad química de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) almacenados bajo dos temperaturas. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 25:286-302.
- Saladié M., A. J. Matas, T. Isaacson, M. A. Jenks, S. M. Goodwin, K. J. Niklas, R. Xiaolin, J. M. Labavitch, K. A. Shacke and C. E. Sams (2007) Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology* 15:49-254.
- SAS Institute (1999) Statistical Analysis System (SAS) Versión 9 User's guide. Cary, N. C. USA. 584 p.

- Simonne A. H., J. M. Fuzere, E. Simonne, R. C. Hochmuth, and M. R. Marshall (2007) Effects of nitrogen rates on chemical composition of yellow grape tomato grown in a subtropical climate. *Journal of Plant Nutrition* 30:927-935.
- Steiner A. A. (1984) The Universal Nutrient Solution. Proceeding Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands. pp:633-650.
- Tando K. S., E. A. Baldwin, J. W. Scott and R. L. Schewfelt (2003) Linking sensory descriptors to volatile and non-volatile components of fresh tomato flavor. *Journal of Food Science* 68:2366-2371.
- Toivonen P. M. and D. A. Brummell (2008) Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 48:1-14.
- Toor R. K., G. P. Savage and A. Heeb (2006) Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19:20-27.
- Tüzel Y., I. H. Tüzel, and F. Ücer (2003) Effects of salinity on tomato growing in substrate culture. *Acta Horticulturae* 609:329-335.
- Ucan-Chan I., F. Sánchez-Del Castillo, E. Contreras-Magaña y T. Corona-Sáez (2005) Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:33-38.
- Velasco-Hernández E., R. Nieto-Ángel y E. Navarro-López (2011) Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Ed. BBA. México, D.F. 128 p.

CONCLUSIONES GENERALES

En base a los experimentos realizados en el presente trabajo de investigación utilizando tomate cherry Sweet Treats cultivado en condiciones de invernadero e hidroponía, en general se concluye lo siguiente:

1. El uso del sustrato pumita y la aplicación simultánea de la solución nutritiva de Steiner fue más viable para la producción de tomate cherry Sweet Treats, dado que con esta combinación se obtuvo mayor producción de fruto y mejor crecimiento de planta.
2. Las plantas de tomate cherry regadas con la solución nutritiva de Steiner aumentaron el tamaño y algunos atributos de calidad de fruto, sin embargo la solución de Castellanos mejoró el sabor y color de los frutos.
3. El manejo de la fructificación mediante el raleo de fruto fue factible, ya que las plantas con 12 frutos por racimo mejoraron la calidad de fruto; Sin embargo, con esta intensidad de raleo se obtuvo la menor producción de fruto. Por lo tanto, la mayor intensidad de raleo logró mejorar la calidad, pero disminuyó la producción de frutos por planta.

ANEXOS

Cuadro A-1. Análisis de varianza para altura de planta y diámetro de tallo en tomate cherry Sweet Treats en diferentes fechas de muestreo en invernadero.

Factor	AP	DT	AP	DT	AP	DT
	40 ddt		80 ddt		120 ddt	
Solución (SOL)	ns	**	**	**	**	**
Sustrato (SUS)	**	**	*	**	**	*
SOL X SUS	**	ns	**	*	ns	**
C.V	1.997	2.208	1.581	4.013	0.732	2.783
R ²	0.760	0.968	0.790	0.665	0.914	0.672

ns= no significativo; *= significancia estadística a 5%; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; ddt= Días después del trasplante.

Cuadro A-2. Análisis de varianza para las variables número de hojas, área foliar y producción de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Factor	NH	AF	NH	AF	Producción
	40 ddt		120 ddt		
Solución (SOL)	ns	**	ns	**	**
Sustrato (SUS)	ns	**	ns	**	**
SOL X SUS	ns	**	ns	**	**
C.V	4.111	1.754	1.671	1.341	5.138
R ²	0.555	0.982	0.547	0.982	0.6870

ns= no significativo; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; NH= número de hojas; AF= área foliar; ddt= Días después del trasplante.

Cuadro A-3. Análisis de varianza para acumulación de biomasa fresca y biomasa seca de raíz de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Factor	BFR	BSR	BFR	BSR
	40 ddt		120 ddt	
Solución (SOL)	**	**	**	**
Sustrato (SUS)	**	**	**	**
SOL X SUS	ns	**	ns	**
C.V	2.123	5.739	2.126	5.727
R ²	0.996	0.933	0.996	0.934

ns= no significativo; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; BFR= biomasa fresca de raíz; BSR= biomasa seca de raíz; ddt= Días después del trasplante.

Cuadro A-4. Análisis de varianza de acumulación de biomasa fresca y biomasa seca de parte aérea de tomate cherry Sweet Treats en invernadero.

Factor	BFP	BSP	BFP	BSP
	40 ddt		120 ddt	
Solución (SOL)	**	**	**	**
Sustrato (SUS)	**	**	**	**
SOL X SUS	**	**	**	**
C.V	0.885	1.234	2.894	1.850
R ²	0.999	0.999	0.968	0.987

ns= no significativo; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; BFP= biomasa fresca de parte aérea; BSP; biomasa seca de parte aérea; ddt= Días después del trasplante.

Cuadro A-5. Análisis de varianza de lecturas SPAD de tomate cherry Sweet Treats en diferentes fechas de muestreo en invernadero.

Fuente	Lecturas SPAD					
	20 ddt	40 ddt	60 ddt	80 ddt	100 ddt	120 ddt
Solución (SOL)	**	**	**	**	**	**
Sustrato (SUS)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SOL X SUS	ns	ns	**	ns	**	ns
C.V	1.168	0.512	2.884	3.286	2.168	1.028
R ²	0.768	0.702	0.920	0.7893	0.953	0.980

ns= no significativo; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; ddt= Días después del trasplante.

Cuadro A-6. Análisis de varianza para diámetro ecuatorial, diámetro distal, peso medio de fruto y producción total de frutos de tomate cherry Sweet Treats bajo invernadero.

Fuente	Diámetro ecuatorial	Diámetro distal	Peso medio de fruto	Numero de frutos	Producción
Solución (SOL)	**	ns	**	ns	**
Raleo de fruto (RAL)	**	**	**	**	**
SOL X RAL	**	ns	**	ns	ns
C.V	1.378	0.846	1.618	2.001	2.748
R ²	0.875	0.922	0.889	0.955	0.929

ns= no significativo; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación.

Cuadro A-7. Análisis de varianza para pH, sólidos solubles totales y acidez titulable de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.

Factor	pH	SST	AT	pH	SST	AT	pH	SST	AT
	1er. racimo			3er. racimo			5to. racimo		
Solución (SOL)	**	**	**	**	**	**	ns	**	**
Raleo (RAL)	ns	**	**	**	ns	**	**	ns	**
SOL X RAL	ns	**	**	**	ns	**	**	**	**
C.V	0.953	4.549	2.291	0.600	3.411	3.760	1.404	3.289	1.668
R ²	0.775	0.781	0.817	0.804	0.723	0.825	0.685	0.867	0.972

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 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; SST= sólidos solubles totales; AT= acidez titulable.

Cuadro A-8. Análisis de varianza para firmeza y vida de anaquel de frutos de tomate cherry Sweet Treats cultivado bajo invernadero.

Factor	Firmeza			Vida de anaquel
	1er. racimo	3er. racimo	5to. racimo	
Solución (SOL)	**	**	**	**
Raleo (RAL)	ns	*	**	**
SOL X RAL	**	**	**	ns
C.V	2.148	2.935	3.822	4.982
R ²	0.618	0.763	0.765	0.905

ns= no significativo; *= significancia estadística a 5%; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación.

Cuadro A-9. Análisis de varianza para de pérdida de peso de frutos de tomate cherry Sweet Treats bajo invernadero.

Fuente	4 ddc	8 ddc	12 ddc	16 ddc	20 ddc
Solución (SOL)	**	**	**	**	**
Raleo (RAL)	ns	ns	ns	ns	ns
SOL X RAL	ns	ns	ns	ns	ns
C.V	10.533	4.275	3.668	6.779	2.190
R ²	0.661	0.695	0.746	0.624	0.828

ns= no significativo; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; ddc= días después de cosecha.

Cuadro A-10. Análisis de varianza para luminosidad, hue y croma de frutos de tomate cherry Sweet Treats bajo invernadero.

Factor	1er. racimo			3er. racimo			5to. racimo		
	L	Hue	Croma	L	Hue	Croma	L	Hue	Croma
Solución (SOL)	**	ns	**	**	ns	**	**	ns	**
Raleo (RAL)	ns	**	**	**	**	**	**	**	**
SOL X RAL	**	**	**	**	**	**	**	**	**
C.V	1.038	2.040	1.992	0.985	1.626	1.508	0.862	1.578	1.885
R ²	0.674	0.645	0.879	0.700	0.654	0.919	0.677	0.654	0.875

ns= no significativo; **= significancia estadística a 1%; C.V= Coeficiente de variación; R²= Coeficiente de determinación; L= luminosidad.