



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA, PODA, TIPO Y VOLUMEN DE SUSTRATO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY DETERMINADO (*Solanum lycopersicum* cv. cerasiforme)

ERNESTO ALBERONY GALICIA LOYOLA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE :

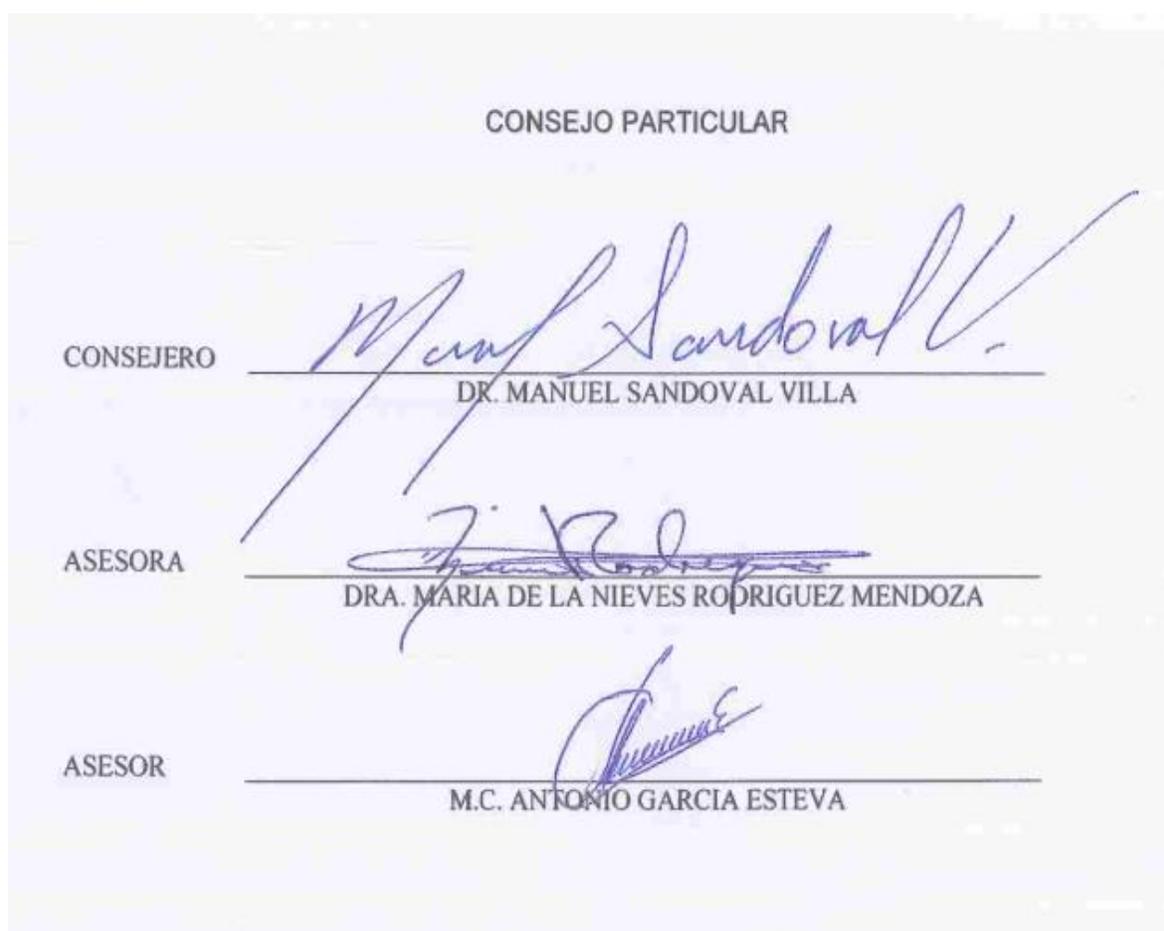
MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2020

La presente tesis titulada: **EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA, PODA, TIPO Y VOLUMEN DE SUSTRATO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY DETERMINADO** (*Solanum lycopersicum* cv. **cerasiforme**) realizada por el alumno: **ERNESTO ALBERONY GALICIA LOYOLA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN
CIENCIAS
EDAFOLOGÍA



Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2020

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA, PODA, TIPO Y VOLUMEN DE SUSTRATO EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE TOMATE CHERRY DETERMINADO (*Solanum lycopersicum* cv. cerasiforme)

Ernesto Alberony Galicia Loyola, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2020

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción hidropónica del tomate cherry (*Solanum lycopersicum* cv. cerasiforme) con fines productivos y ornamentales, expuestos a diferentes niveles de concentración de la solución universal Steiner, poda, tipo y volumen de sustrato. El experimento se realizó en un invernadero con cubierta de polietileno UVII-720 y estructura de acero galvanizado con ventilación lateral en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con bloques al azar. Se evaluaron variables morfológicas como la altura y diámetro basal del tallo; variables fisiológicas como lecturas SPAD y el índice normalizado de vegetación (INV); el rendimiento y número total de frutos por planta, y las variables del fruto como el diámetro polar, ecuatorial y su peso. También se evaluaron variables de calidad de fruto como: contenido de sólidos solubles totales (SST) y de licopeno, pH y conductividad eléctrica (CE), acidez titulable (AT) y la relación SST/AT. Se realizó la caracterización física de los sustratos utilizados al principio del experimento y al final del mismo para evaluar si éstos retienen nutrimentos. Se comprobó que la concentración de la solución nutritiva (SN) influye directamente en el pH, CE y AT del jugo de los frutos de tomate cherry. A mayor concentración de la SN, se observaron valores más altos de las variables ya mencionadas. Además, la poda afectó el diámetro polar y ecuatorial del fruto. En las plantas que se desarrollaron en recipientes de 5 L y sin poda, aumentó la cantidad de frutos con mayor rendimiento en comparación con los recipientes de 2 L. En los recipientes de 2 L fue menor la producción, pero se incrementaron los valores de calidad.

Palabras clave: hidroponía, concentración de la solución nutritiva, *Solanum lycopersicum* cv. cerasiforme, poda, calidad de fruto, rendimiento.

**EFFECT OF THE CONCENTRATION OF THE NUTRIENT SOLUTION,
PRUNING, TYPE AND VOLUME OF SUBSTRATE IN THE YIELD AND QUALITY
OF DETERMINED CHERRY TOMATE (*Solanum lycopersicum* cv. *cerasiforme*)**

Ernesto Alberony Galicia Loyola, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2020

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the hydroponic production of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* cv. *cerasiforme*) for productive and ornamental purposes, exposed to different levels of concentration of the Steiner universal solution, pruning, type and volume of substrate. The experiment was carried out in a greenhouse with a UVII-720 polyethylene cover and a galvanized steel structure with lateral ventilation at the Postgraduate College, Montecillo Campus, Mexico. An experimental design of divided plots with random blocks was used. Morphological variables such as height and basal diameter of the stem were evaluated; physiological variables such as SPAD readings and the normalized vegetation index (INV); the yield and total number of fruits per plant, and the variables of the fruit such as the polar and equatorial diameter and its weight. Fruit quality variables such as: content of total soluble solids (SST) and lycopene, pH and electrical conductivity (CE), titratable acidity (AT) and the SST / AT ratio were also evaluated. The physical characterization of the substrates used at the beginning of the experiment and at the end of it was carried out to evaluate if they retain nutrients. It was found that the concentration of the nutritive solution (SN) directly influences the pH, CE and AT of the juice of cherry tomato fruits. At a higher concentration of SN, higher values of the variables already mentioned were observed. In addition, pruning affected the polar and equatorial diameter of the fruit. In the plants that were developed in 5 L containers and without pruning, the number of fruits with higher yield increased compared to the 2 L containers. In the 2 L containers the production was lower, but the quality values increased.

Key words: hydroponics, nutrient solution concentration, *Solanum lycopersicum* cv. *Cerasiforme* , pruning, fruit quality, yield.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por haberme aceptado y brindado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado en Edafología.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haber financiado mis estudios e investigación realizada en mis estudios de posgrado.

A mi consejo particular integrado por el Dr. Manuel Sandoval Villa, la Dra. María de la Nieves Rodríguez Mendoza y el M.C. Antonio García Esteva, por el tiempo brindado, los consejos y asesorías para concluir y enriquecer mi formación personal y académica. Gracias por todo.

Al Dr. Víctor Ordaz Chaparro y su equipo de trabajo en el laboratorio de física de Suelos, por el apoyo brindado para la caracterización de los sustratos evaluados en la investigación.

Al PSP. Salvador Ortega por el apoyo en trabajo en campo, al M.C. Ricardo Vega por su apoyo en la herborización del ejemplar evaluado

A mis amigos, Diego Iván, Jiosheline, Adriana, Marco y Luis por el apoyo brindado a lo largo del camino. Su apoyo en los muestreos en campo, como el apoyo moral hacia mi persona fue de vital importancia para llevar esta investigación a buen término.

A las familias Reséndiz Loyola, Benítez Loyola y Loyola Santos, por su atención, apoyo y amabilidad con las que me recibieron. Muchas gracias querida Familia.

DEDICATORIAS

Al motor en mi vida, mis amados padres el Profr. Ramon Florencio Galicia Lara y la Profra.
Belinda Loyola Moreno.

A mis queridos hermanos: Flor Galicia Loyola y Juan Pablo Galicia Loyola.

Con cariño e inmensa gratitud.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIAS	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS GENERAL	4
3.1 Hipótesis específicas	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Importancia del tomate.....	5
4.2 Nutrición en plantas	5
4.3 Conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva (SN)	6
4.4 El potencial osmótico en la solución nutritiva (SN)	7
4.5 El pH en la solución nutritiva (SN).....	7
4.6 Hidroponía.....	8
4.7 Sustratos hidropónicos	9
4.8 Poda.....	14
4.9 Calidad del fruto.....	16
V. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1 Localización del experimento	20
5.2 Condiciones ambientales.....	20
5.3 Material vegetal.....	20
5.4 Siembra y trasplante de plántulas.....	20
5.5 Diseño experimental y factores de estudio.....	21
5.6 Sistema de riego	21

5.7. Formulación de la solución nutritiva (SN).....	22
5.8 Manejo del cultivo y control fitosanitario.....	22
5.9 Cosecha	22
5.10 Pruebas en sustratos	23
5.11 Variables respuesta.....	24
5.12 Variables morfológicas	24
5.13 Variables fisiológicas.....	25
5.14 Variables de calidad del fruto	25
5.15 Rendimiento	27
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
6.1 Porosidad de sustratos	29
6.2 pH y CE en sustratos	31
6.3 Variables morfológicas	33
6.4 Variables Fisiológicas	42
6.5 Calidad del fruto.....	45
6.6 Rendimiento	67
7. CONCLUSIONES GENERALES.....	71
8. BIBLIOGRAFÍA.....	72

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1. Características físicas evaluadas en tezontle rojo (Martínez, 2007).	13
Cuadro 5.1. Fuentes minerales y cantidades empleadas en la formulación de las diferentes concentraciones para preparar 500 litros de solución nutritiva (SN).	22
Cuadro 5.2. Escala de clasificación por color de tomate del USDA (UCDAVIS, 2016).	23
Cuadro 6.1. Retención de humedad de sustratos y mezcla al principio y final del ciclo productivo utilizados en la producción de tomate (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme).	29
Cuadro 6.2. pH y conductividad eléctrica en los sustratos utilizados al inicio del ciclo productivo de tomate (<i>S. Lycopersicum</i> cv. cerasiforme).	31
Cuadro 6.3. pH inicial y final de los sustratos evaluados para la producción de tomate cherry determinado en hidroponía bajo diferente concentración de la solución nutritiva (SN) y volumen del contenedor.	32
Cuadro 6.4. Análisis de varianza (Fc) para el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.....	34
Cuadro 6.5. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.....	36
Cuadro 6.6. Análisis de varianza (Fc) para la altura de la planta a los 14 y 40 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.....	38
Cuadro 6.7. Efecto del tipo de sustrato y concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en la altura de planta (cm) a los 14 y 40 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.....	39
Cuadro 6.8. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en la altura de planta (cm) a los 40 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.	40
Cuadro 6.9. Análisis de varianza a las lecturas de índice normalizado de vegetación (INV) a los 53 días después del trasplante (ddt) y peso total de frutos (kg) a los 138 ddt	

en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.	41
Cuadro 6.10. Efecto de la poda, concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) y volumen de sustrato en las lecturas de índice normalizado de vegetación (INV) a los 53 días después del trasplante (ddt) y peso fresco total de la planta (kg) a los 138 ddt en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.	42
Cuadro 6.11. Análisis de varianza para lecturas SPAD a los 31 y 88 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.	43
Cuadro 6.12. Efecto de la poda, concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) y volumen de sustrato en lectura SPAD a los 88 días después del trasplante en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.	45
Cuadro 6.13. Análisis de varianza para la conductividad eléctrica (CE) y pH del jugo del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	46
Cuadro 6.14. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva en el pH y conductividad eléctrica (CE) de los frutos de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producidos en hidroponía.	47
Cuadro 6.15. Efecto de la poda y volumen del contenedor en el pH y conductividad eléctrica (CE) de los frutos de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producidos en hidroponía.	47
Cuadro 6.16. Análisis de varianza para sólidos solubles totales (SST) y porcentaje de acidez titulable (% de ácido cítrico) del jugo del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	49
Cuadro 6.17. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en los sólidos solubles totales (SST) expresado en Grados Brix (°Brix) del jugo del fruto de tomate (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	51
Cuadro 6.18. Efecto de la poda y volumen del recipiente en el porcentaje de acidez titulable (% de ácido cítrico) del jugo del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	53
Cuadro 6.19. Análisis de varianza para la variable de índice de maduración del fruto de	

tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.....	54
Cuadro 6.20. Efecto de la poda y tipo de sustrato en el índice de maduración del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv.cerasiforme) producido en hidroponía.....	55
Cuadro 6.21. Análisis de varianza a la variable de contenido de licopeno y firmeza en el fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.....	56
Cuadro 6.22. Análisis de varianza para el diámetro ecuatorial y polar (mm) del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.....	61
Cuadro 6.23. Efecto de la poda y volumen del sustrato en el diámetro ecuatorial y polar del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv.cerasiforme) producido en hidroponía.	62
Cuadro 6.24. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en el diámetro polar del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.....	63
Cuadro 6.25. Análisis de varianza (Fc) para la pérdida de peso (%) del fruto a los 3, 7, 9 y 10 días después del corte del fruto de tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	65
Cuadro 6.26. Efecto del tipo de sustrato y concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en la pérdida de peso (%) del fruto a los 3, 7, 10 y 14 días después del corte en tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.....	66
Cuadro 6.27. Análisis de varianza para el rendimiento del tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	68
Cuadro 6.28. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) sobre el rendimiento del tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	69
Cuadro 6.29. Efecto de la poda, volumen y tipo de sustrato sobre el rendimiento del tomate cherry (<i>S. lycopersicum</i> cv. cerasiforme) producido en hidroponía.	69

LISTA DE FIGURAS

- Figura 6.1. Conductividad eléctrica inicial y final de los sustratos evaluados para la producción de tomate cherry determinado en hidroponía en diferente concentración de la solución nutritiva (SN) y volumen de contenedor. **33**
- Figura 6.2. Efecto del tipo de sustrato en el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía..... **35**
- Figura 6.3. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía..... **35**
- Figura 6.4. Efecto de la poda y volumen del contenedor en las lecturas SPAD a los 31 días después del trasplante en tomate cherry determinado (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía. **44**
- Figura 6.5. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva en los sólidos solubles totales (SST) expresado en Grados Brix (°Brix) del jugo del fruto de tomate cherry determinado (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. **50**
- Figura 6.6. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en el porcentaje de acidez titulable (% de ácido cítrico) en el jugo del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. **52**
- Figura 6.7. Efecto de la poda y volumen del contenedor en la firmeza del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. **56**
- Figura 6.8. Efecto del tipo de sustrato en la firmeza del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. **57**
- Figura 6.9. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva en el contenido de licopeno (mg/100 g) del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. **59**
- Figura 6.10. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en el diámetro ecuatorial y polar (mm) del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. **62**

Figura 6.11. Efecto de la poda y el volumen del contenedor en la pérdida de peso (%) a los 10 días después de la cosecha del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. **67**

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza que se cultiva en grandes extensiones, de las cuales se obtienen importantes volúmenes de producción y que además participa de manera significativa en la economía internacional. En el año 2013 se generó un valor de 8, 803 millones de dólares en el comercio internacional de tomate; en el que México participó con un 46.7% como el máximo exportador de dicho año (FAOSTAT, 2013). El fruto de tomate es una fuente de vitaminas (A, C, E), ácido fólico, ácido ascórbico, polifenoles, carotenoides, licopeno y otros nutrientes esenciales. Estos compuestos presentan actividad antioxidante que ayudan a reducir los riesgos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Al-Harbi *et al.*, 2017). Un aspecto clave en la evaluación de cultivares es que cada uno presenta diferentes características en cuanto al crecimiento, tolerancia a problemas fitosanitarios, respuesta a las variables ambientales, rendimiento y calidad del fruto (Abadie y Berretta, 2001). Un cultivar deseable para siembra debe tener características sobresalientes, entre las que se incluyen: óptimo crecimiento y desarrollo, rendimiento denotado por número y peso de frutos, buena calidad y adaptación al ambiente donde se pretende cultivar, aceptación en el mercado y aceptable postcosecha (Castellanos, 2009; Garzón, 2011). Un componente importante de la calidad nutricional y del sabor del fruto del jitomate es el contenido de carbohidratos. Esto hace deseable el poder manipular la economía de los azúcares y almidones del fruto a través de diferentes estrategias (Schaffer *et al.*, 1999). Sin embargo, el estatus de carbohidratos del fruto es una función compleja de caracteres genéticos y ambientales (Seginer *et al.*, 1998).

En los sistemas hidropónicos el manejo de la SN es crucial para la obtención tanto de altos rendimientos como de calidad, pues es la vía mediante de la cual se proporcionan los nutrimentos necesarios para el desarrollo de la planta (Carrasco *et al.*, 2007). En estas soluciones la conductividad eléctrica (CE) tiene una estrecha relación con la concentración total de sales de la SN (Lara, 1999). La CE es un estimador indirecto del potencial osmótico y determina el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (Bugarín *et al.*, 1998). El cultivo de tomate requiere de ciertas condiciones y medios para llevarse a cabo y lograr el aumento de la producción. Uno de los principales factores que determinan el éxito es el sustrato o medio de crecimiento (Cabrera, 1999; Howard, 1998; Morel *et al.*, 2000). Bajo este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción hidropónica del tomate cherry determinado (*Solanum*

licorpesicum cv. cerasiforme) expuesto a diferentes concentraciones de la solución nutritiva, poda, tipo y volumen de sustrato con relación a su crecimiento, fisiología, rendimiento y calidad del fruto.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

1. Determinar el efecto de la solución nutritiva Steiner, poda, tipo y volumen de sustrato en el rendimiento y calidad de tomate cherry determinado cultivado en hidroponía en invernadero.

2.2 Objetivos específicos

1. Comparar el efecto de la concentración nutrimental de la solución nutritiva sobre la producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate cherry determinado.
2. Evaluar el efecto del tipo y volumen de sustrato sobre la producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate cherry determinado.
3. Medir la producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate cherry determinado en función de la poda.
4. Comparar el crecimiento y fisiología de la planta vegetal expuesto a diferente concentración de la solución nutritiva, sustrato y poda.
5. Determinar la mejor combinación de solución nutritiva, sustrato y poda en relación al incremento y calidad del fruto.

III. HIPÓTESIS GENERAL

1. La concentración de la solución nutritiva, poda, tipo y volumen de sustrato ejerce efecto en el crecimiento, fisiología, rendimiento y calidad de fruto de tomate cherry determinado (*Solanum lycopersicum* cv. cerasiforme).

3.1 Hipótesis específicas

1. La producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate cherry determinado responde de diferente manera al ser expuestos a diferente concentración de la solución nutritiva.
2. El volumen y tipo de sustrato influye en el incremento de la producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate cherry determinado.
3. La poda aumenta la producción y calidad del fruto de tomate cherry determinado.
4. El crecimiento y fisiología de la planta de tomate cherry determinado es función de la solución nutritiva, sustrato y poda.
5. Existe una combinación ideal de solución nutritiva, sustrato y poda en relación al incremento y calidad del fruto.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia del tomate

El tomate (*S. lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más consumidas en el mundo debido a los diversos tipos y formas que presenta para su consumo. Es una de las hortalizas de mayor valor económico (Marim *et al.*, 2005) con 5.02 millones de hectáreas plantadas en el mundo y una producción total reportada de 170.7 millones de toneladas de frutos cosechados al año (FAOSTAT, 2014). El tomate es una de las hortalizas que presenta mayor demanda no sólo en México, sino a nivel mundial, debido a su color atractivo, valor nutricional, aroma y versatilidad de uso, ya que se consume solo o como ingrediente de diversos alimentos y bebidas, en fresco (ensaladas) o procesado (salsa, pastas, purés, jugos, etc.) para posteriormente ser enlatado, congelado, preservado o deshidratado (Beckles, 2012; Bhandari y Lee, 2016). México se encuentra entre los diez principales productores y exportadores mundiales de tomate fresco con una participación estimada en el mercado internacional de 21% (SAGARPA, 2016). En 2016 se produjeron 2.8 millones de ton, siendo los principales estados productores Sinaloa, Michoacán, San Luis Potosí, Baja California, Jalisco, entre otros (SAGARPA, 2017).

La producción de tomate cherry se ha incrementado notoriamente a nivel mundial, pues es fuente importante de antioxidantes, reduce el riesgo de contraer enfermedades crónicas y por su buen posicionamiento gastronómico para el consumo en ensaladas, salsas y cocteles, que lo hacen deseable en el mercado (Machado *et al.*, 2003). Aunque presenta un mayor costo de mano de obra para su cosecha, el buen precio que logra en el mercado lo compensa, por lo cual constituye una opción prometedora como hortaliza cultivable en condiciones de invernadero, sumado a la aplicación de técnicas eficientes de agricultura limpia, otorga un valor agregado para la producción de este cultivo, notables ventajas a nivel comercial que se acentúan gracias a la creciente demanda del producto (García *et al.*, 2004; Hernández, 2013).

4.2 Nutrición en plantas

Con la nutrición pueden modificarse las características morfológicas y el crecimiento de las plántulas. La mayoría de las soluciones nutritivas recomendadas se han obtenido mezclando los nutrimentos en diferentes proporciones y al azar, y sembrando posteriormente un cultivo; la mezcla de nutrimentos donde el cultivo se desarrolló mejor se recomienda como una SN específica

para dicho cultivo. Esta forma de recomendar una SN como específica no garantiza que exista otra solución en la cual se desarrolle mejor el cultivo (De Rijck y Schrevens, 1998). La investigación de las soluciones nutritivas puede ser sistemática, lo cual permite evaluar todas las combinaciones posibles (Steiner, 1961).

4.3 Conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva (SN)

La conductividad eléctrica es el parámetro que define la capacidad de una disolución para transmitir la corriente eléctrica. La conducción de electricidad al aplicar un campo eléctrico se debe al movimiento de los iones en disolución, los cuales transfieren los electrones a la superficie de los electrodos para completar el paso de corriente (Hanna, 2011), las unidades en que se mide la conductividad eléctrica estimada a los 25 °C son los deciSiemens por metro (dS m^{-1}) o milisiemens por centímetro (mS cm^{-1}), unidades que anteriormente eran conocidas como milimhos (mmho cm^{-1}) (Carrasco e Izquierdo, 1996). La SN es agua con oxígeno y nutrimentos esenciales en forma iónica, los aspectos más importantes de la SN son: la relación mutua entre aniones y cationes, la concentración de nutrimentos expresada con la conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación $\text{NO}_3^- \text{NH}_4^+$ y la temperatura (Lara, 1999). En hidroponía los elementos minerales esenciales son aportados en la SN, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua (Carrasco e Izquierdo, 1996). La cantidad total de iones de las sales disueltas en la solución nutritiva ejerce una fuerza llamada presión osmótica (Favela *et al.*, 2006), la cual es una propiedad coligativa de las soluciones que depende de la cantidad de solutos disueltos (Landowne, 2006).

La SN Steiner es una de las soluciones más utilizadas en cultivos hidropónicos, dada sus propiedades (balance entre aniones y cationes, conductividad eléctrica y potencial osmótico), ya que le permite un buen desarrollo a la planta (Miranda-Villagómez *et al.*, 2014). Marín *et al.* (2010) señalan que la composición de la SN juega un papel importante en la tasa de absorción de la raíz, debido a las interacciones entre los nutrimentos y la regulación interna. Para el uso de las soluciones hay que considerar que la composición específica depende de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y de la luz, y de la calidad del agua que se utilice. Además, se deben tomar en cuenta las necesidades nutrimentales de la planta a la que se le va a aplicar, así como su edad y etapa fenológica, y sistema con el cual se trabajará el cultivo; ya sea cerrado o abierto en el cual no hay recirculación de la solución (Gómez-Hernández y Sánchez del Castillo, 2003).

4.4 El potencial osmótico en la solución nutritiva (SN)

La CE es una medida indirecta del potencial osmótico (Bautista, 2010). Este potencial posee valores negativos ya que al agregar solutos siempre disminuye el potencial hídrico por debajo del que posee el agua pura (Salisbury y Ross, 1994) y está determinado por la concentración de solutos o sustancias osmóticamente activas (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008). El potencial osmótico es uno de los componentes del potencial de agua y su determinación se basa principalmente en el cambio de las propiedades físicas y químicas, generado por la presencia de las propiedades coligativas de las soluciones (Cárdenas y Villegas, 2002). El potencial osmótico de la SN es importante pues al disminuir su valor (debido al aumento de la concentración de nutrientes) disminuye la energía libre del agua, afectando la absorción de nutrientes, principalmente, de N, P, K, Ca y Mg (Bautista, 2010).

El potencial osmótico se obtiene indirectamente mediante la expresión siguiente: $(CE) \times (-0.036)$. Se expresa en megapascales (MPa) (Sandoval *et al.*, 2008); o puede ser expresado como presión osmótica: $CE \times 0.36$ en atmósferas (atm.) en la que 1 atmósfera equivale a 0.101325 MPa.

Para soluciones diluidas de sustancias no disociativas, como la sacarosa, el potencial osmótico se puede estimar mediante la ecuación de van Hoff:

$$\Psi_s = -RTc$$

Donde:

R: es la constante del gas ($8.32 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T: es la temperatura absoluta (en grados Kelvin, °K),

c: es la concentración de soluto de la solución, expresada como osmolalidad (moles de solutos disueltos totales por litro de agua [mol L^{-1}]).

El signo menos indica que los solutos disueltos reducen el potencial hídrico de una solución en relación con el estado de referencia del agua pura (Taiz y Zeiger, 2002).

4.5 El pH en la solución nutritiva (SN)

El pH es un parámetro que mide la acidez o alcalinidad de una solución. Este valor indica la relación entre la concentración de H^+ y OH^- libres presente en una solución y oscila entre 0 y 14 (Steiner, 1984; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). De acuerdo con Lara (1999) el pH óptimo está en un intervalo entre 5.5 y 6.0, esto se logra regulando el contenido de HCO_3^- o CO_3^{2-} con ácidos como H_2SO_4 y HNO_3 , debido a que concentraciones de HCO_3^- superiores a 10 moles m^{-3}

son tóxicas para el cultivo. A pH mayor de 8.3 el Ca^{2+} y el Mg^{2+} precipitan como carbonatos. El H_2PO_4^- es la principal forma en que la planta absorbe al P; de modo que se debe buscar incrementar la proporción de este ión y disminuir la de HPO_4^{2-} que puede precipitar con el Ca^{2+} . A medida que el pH aumenta, la solubilidad del Fe^{2+} y del Mn^{2+} disminuye, es importante destacar que es preferible incorporar estos elementos como quelatos para aumentar la estabilidad del Fe en el medio y aumentar su absorción por la planta.

4.6 Hidroponía

La hidroponía es una técnica que se caracteriza por no necesitar del suelo para llevar a cabo la producción agrícola, tiene su importancia en permitir producir en lugares donde el suelo es escaso o se encuentra contaminado química o biológicamente. También es importante destacar que por ser una técnica que se realiza en sustratos o medios de circulación de agua o estancamiento de agua, se hace un uso más eficiente de este recurso (Velazco *et al.*, 2012). La hidroponía se usa para desarrollar plantas en SN a base de agua y nutrientes, con o sin el uso de un medio o sustrato (Baca *et al.*, 2016). Los sistemas hidropónicos son usados para la producción de hortalizas en invernadero, tienen un alto grado de eficiencia en el uso del agua, el área de riego es reducida debido a que el crecimiento radical no necesita crecer en exceso, ya que los nutrientes están disponibles en las cantidades óptimas (López *et al.*, 2011; Cuervo *et al.*, 2012). Los sistemas hidropónicos en los que se utilizan sustratos se conocen como abiertos, cuando el exceso de SN que drena de estos se dirige al suelo, infiltrándose al subsuelo (AlShrouf, 2017). Los sistemas hidropónicos en sustrato tienen un porcentaje de drenaje promedio de 27% de la SN aplicada al cultivo, desde 20% después en los primeros riegos del día, hasta 40 o 50% en las horas centrales del día, con un promedio durante el día de 27%, manteniendo este intervalo de porcentaje de drenaje (20 - 50%) por medio de la frecuencia y tiempo de riego, se reduce el riesgo de acumulación de iones que en exceso pueden resultar tóxicos para las plantas (Sengupta y Banerjee, 2012; Salazar *et al.*, 2014).

Según Sánchez (2002), en el mundo se ha desarrollado diferentes modalidades de cultivos hidropónicos a escala comercial, pudiéndose agrupar en tres categorías básicas.

Cultivo en solución. Se caracteriza porque no hay sustrato, por lo tanto, las raíces se encuentran sumergidas total o parcialmente en la solución que tiene los elementos nutritivos, lográndose la oxigenación por diferentes mecanismos (sumergiendo parte de la raíz, burbujando

oxígeno, dejando la raíz en el aire y asperjándole la solución a diferentes intervalos de tiempo). En esta categoría se encuentra la técnica de la película nutritiva (del inglés NFT) en la cual se mantiene una lámina delgada de solución en constante circulación pasando a través de las raíces para que estas tomen agua, nutrimentos y oxígeno.

Cultivo en grava. Incluye todas aquellas modalidades que utilizan como sustrato a las gravas comunes (4-20 mm de diámetro) y otros tales como el tezontle, piedra pómez, ladrillo quebrado, etc. En este sistema, la principal desventaja es abastecer continuamente de agua (solución nutritiva) a la raíz, requiriéndose para ello riegos muy frecuentes (3-4 veces al día) y por lo tanto demandando grandes cisternas y volúmenes de agua, además de energía.

Cultivo en agregado. Son aquellos sistemas de producción que utilizan sustratos de partículas pequeñas (< 3 mm de diámetro) con propiedades de retención de humedad y aireación a la raíz. Algunos sustratos empleados en esta modalidad son: perlita, vermiculita, turba de pantanos, lana de roca, espumas sintéticas, arenas, aserrín, entre otras, siendo la forma de hidroponía más practicada a escala mundial.

4.7 Sustratos hidropónicos

El sustrato o medio de crecimiento, es otro componente que tiene la función de proporcionar las condiciones para que las plantas se sostengan, absorban el agua y los nutrimentos, impidan el paso de la luz hacia las raíces y permitan el intercambio de gases (Baca y Lara, 2001). Este permite el anclaje del sistema radical desempeñando un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta (Abad y Noguera, 2000).

El sustrato consiste de tres fracciones: sólida, la que asegura el mantenimiento mecánico del sistema radical y la estabilidad de la planta; la líquida, que aporta a la planta el agua y, por interacción con la fracción sólida los nutrientes necesarios y por último, la fracción gaseosa, que asegura las transferencias de oxígeno y CO₂ del entorno radical (Lemaire, 2005).

De acuerdo con Nuez (2001) no existe un sustrato ideal para la producción hidropónica, esto se debe a que la eficacia de cada medio de cultivo dependerá de aspectos como el contenedor (en tamaño y forma) en que se cultive, el clima, costo del material, uso local y sistema de riego y fertilización. A pesar de lo anterior, el objetivo es encontrar un sustrato que reúna la mayor cantidad de las características siguientes:

- A) **Propiedades físicas:** alta capacidad de retención de humedad aprovechable, porosidad necesaria para un correcto suministro de aire, tamaño y distribución de partículas que permita lo anterior. Densidad aparente baja, estructura que permita la estabilidad del medio.

- B) **Propiedades químicas:** Capacidad de intercambio catiónico (CIC) baja a moderada para que la fertirrigación se aplique frecuente en el primer caso o más intermitente para el segundo, nivel de nutrientes asimilables suficiente o de preferencia inerte. Salinidad baja. Alta capacidad tampón en cuanto a pH. Descomposición mínima.

- C) **Otras propiedades:** libre de contaminantes (semillas plagas y patógenos), fácil obtención, bajo costo, de fácil manipulación, fácil de desinfectar, resistente a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

Las **propiedades físicas** son importantes debido a que una vez que se ha depositado el sustrato en el contenedor y que el sistema radical de la planta comienza a extenderse en él, no es posible modificar su composición como en el caso de las propiedades químicas. En cuanto a estas características, es indispensable el conocimiento de la relación agua-aire, para ello, se determinan las curvas de liberación de agua con tensiones pequeñas (0 -100 cm de columna de agua); debido a la baja retención del sustrato y reducido volumen empleado.

- a) *Espacio poroso total.* Se refiere al volumen no ocupado por sólidos minerales u orgánicos, los valores óptimos son aquellos por arriba del 85%. Este espacio se clasifica en microporos y macroporos; los primeros de <30 μm de tamaño son los que retienen el agua y los segundos con un tamaño >30 μm , se encargan de drenar el agua una vez que el sustrato se vacía; quedando en ellos una fina película de agua que conforme el medio se seca es disminuida. Dependiendo del tipo de sustratos; puede presentar poros interparticulares (poros de la partícula) que por su forma pueden ser abiertos o cerrados; siendo el primer caso participes de la porosidad total del sustrato y en el segundo, no influirán sobre la distribución del agua en el medio.

- b) *Capacidad de aireación*. Es el volumen del total del sustrato liberado después de drenar a tensiones de 10 cm de agua, su valor óptimo esta entre el 20 y 30% del volumen. La importancia de este parámetro radica en que un periodo corto de déficit de oxígeno ocasiona una reducción en el crecimiento de raíz y parte aérea; y si estas condiciones se prolongan varios días se provoca la muerte de la planta. Además, el oxígeno es importante para microorganismos que viven en el suelo; de modo que en sustratos orgánicos se requiere hasta el doble del requerido en sustratos inertes. En el medio, el oxígeno se mueve por difusión a través de la película de agua que rodea a las partículas, cuya difusión es 104 veces menor en el agua que en el aire; de modo que si existe una saturación de poros por mucho tiempo se pueden presentar condiciones propicias para la disminución del Oxígeno, incremento de CO₂ y liberación de etileno, esto a su vez provocará en ocasiones, marchitamiento de la planta y reducción de crecimiento. En este factor influye la altura o profundidad del contenedor, a mayor altura; mayor aireación. Distribución del tamaño de las partículas.
- c) *El tamaño de las partículas*. Así como la distribución de las mismas afectan el crecimiento de las raíces y el balance entre el contenido de agua y aire independientemente del nivel de humedad. Los materiales gruesos cuyo tamaño de partícula es superior a 9 mm con poros mayores de 100 μm tienen gran aireación, pero retienen poca cantidad de agua; por el contrario, aquellos con poros menores a 30 μm y cuyo tamaño es inferior a 2.5 mm retienen agua difícilmente disponible para la planta y no tienen una aireación adecuada.
- d) *Densidad aparente*. Es el cociente del peso seco y el volumen aparente del sustrato húmedo; lo que incluye el espacio poroso. Este aspecto es importante por cuestiones de manejo y transporte del sustrato y contenedores, además de que influye en el anclaje de las plantas; aunque si el viento no es un factor limitante la densidad del sustrato no es un problema, aunque sea 0.15 g cm⁻³.

Respecto a las **propiedades químicas**, es de apreciable importancia el destacar que intervienen en cuestiones de hidrolisis de minerales (reacciones químicas), intercambio iónico (reacciones físico-químicas) y la correspondiente a reacciones de biodegradación de materia orgánica (bioquímicas).

- a) *pH*. El tomate es un cultivo que puede sobrevivir a grandes intervalos de pH sin sufrir aparentes trastornos en su metabolismo; siempre y cuando los nutrientes se encuentren en forma asimilable. El efecto marcado del pH del sustrato; al igual que el de la SN, radican en la disponibilidad de los nutrimentos, causando serios problemas a valores muy ácidos o muy alcalinos. Es decir, a pH por debajo de 5.0 se presentan deficiencias de N, K, Ca, Mg y B., por otro lado, con un pH de \approx 7.0, los elementos Fe, P, Mn, B, Zn y Cu, se vuelven menos asimilables para la planta; además los óxidos metálicos a pH inferior de 5.0 se solubilizan en mayor proporción y pueden llegar a ser fitotóxicos. El intervalo óptimo de pH de los sustratos oscila entre 5.5 y 6.8. Los sustratos orgánicos tienen una mayor capacidad de amortiguamiento que los minerales; sin embargo, si el sustrato llegara a pH fuera del intervalo pueden adicionarse cal o dolomita si es ácido o disminuirse utilizando azufre en el caso de alcalinidad.
- b) *Salinidad*. Básicamente es la concentración de sales en el sustrato. Las causas que propician el incremento en salinidad son: acumulación de sales insolubles o fertilizantes de lenta liberación, mayor adición de sales de las que se pueden lixiviar o pueden ser absorbidas por las plantas y cuando el sustrato tiene alta CIC, se liberan nutrientes al descomponerse. Prácticas como la lixiviación controlada, alta humedad constante en el cultivo, evitar la aplicación de sales con alta fuerza iónica en sustrato seco, sombrear el cultivo y aumentar la humedad relativa; pueden atenuar los efectos de salinidad. El cultivo de tomate responde a diferentes concentraciones de salinidad según la etapa fenológica; siendo más sensible en las primeras etapas, además también responde a las condiciones climáticas causando más problemas cuando el clima es seco que cuando es húmedo. El tomate responde adecuadamente a una concentración de 3 a 5 dS m⁻¹ y según el genotipo puede ser más o menos.
- c) *Capacidad de intercambio catiónico (CIC)*. Son la totalidad de cationes que pueden ser adsorbidos por un volumen de sustrato, que pueden ser lixiviados por el agua y que están disponibles para la planta. El valor óptimo de este indicador depende fundamentalmente de la frecuencia en la aplicación de la fertiirrigación; de modo que cuando esta se aplica de manera constante, es recomendable que se utilicen sustratos con baja a nula CIC y en contraparte, cuando la fertiirrigación es poco frecuente, se

requiere utilizar sustratos con una CIC mayor de 20 meq por 100 g. Por su composición, los sustratos orgánicos poseen alta CIC, así como alta capacidad de amortiguamiento para cambios repentinos de pH y contenido de nutrientes. La CIC de un sustrato puede incrementarse conforme incrementa el pH, por lo tanto, algunos autores recomiendan el uso de sustratos con muy baja CIC o inertes en el cultivo del tomate para un adecuado control de la nutrición.

4.7.1 Tezontle

Es un material de origen volcánico de color rojizo o negro que se emplea como cubierta en los caminos rurales, pero que puede ser usado en los sistemas hidropónicos debido a sus características favorables como buena aeración, químicamente inerte, estéril, aislante, durable y económicamente accesible, presenta desventajas como la baja retención de agua y relativamente es pesado (Zuang *et al.*, 1986). Su extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, tiene buena estabilidad, es ampliamente utilizado en hidroponía y por su porosidad interna y externa es un material de fácil manejo (Rodríguez *et al.*, 2013).

Martínez (2007) encontró en las propiedades físicas del tezontle rojo, empleado por productores de la región centro de México, los valores representados en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Características físicas evaluadas en tezontle rojo (Martínez, 2007).

Variable	Valor determinado
Índice granulométrico (% peso)	44.65
Partículas 0.25-2.0 mm (%)	74.52
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.27
Densidad real (g cm ⁻³)	2.65
Espacio poroso total (%)	45.3
Capacidad de aireación (%)	5.14
Capacidad de retención de humedad (%)	40.16
Agua fácilmente disponible (%)	2.86
Agua de reserva (%)	-1

4.7.2 Turba

La turba es el conjunto de materias orgánicas producidas por la descomposición lenta de vegetales en zonas con exceso de humedad y deficiente oxigenación. Como consecuencia de estas condiciones, las materias orgánicas sólo se han descompuesto parcialmente; de ahí su aspecto fibroso característico y específico de cada tipo de turbera y sus propiedades, fundamentalmente su capacidad de retención de humedad (Ballester-Olmos, 1992).

Por otra parte, Sánchez (2003), señala que las turbas están formadas por restos de musgos y otras plantas superiores que se hallan en proceso de carbonización lenta, fuera del contacto con el oxígeno, a causa de un exceso de agua, por lo que conservan largo tiempo su estructura anatómica. Los residuos vegetales pueden depositarse en diferentes ecosistemas lo que daría lugar a la formación de dos tipos de turba: oligotróficas (musgo del género *Sphagnum*) y herbáceas o eutróficas. Las turbas de *Sphagnum* son los componentes orgánicos más utilizados en la actualidad para medios de cultivos que crecen en macetas, debido a sus excelentes propiedades físico-químicas.

La turba es uno de los sustratos orgánicos más utilizado en la agricultura mexicana; sin embargo, García *et al.* (2001) y Favaro *et al.* (2002) afirman que el uso de este material constituye un costo importante en la producción de cultivos en contenedor, el cual es más marcado entre mayor sea el tamaño de éste, ya que en México es un producto de importación de alto costo.

4.8 Poda

La poda es una práctica para controlar el desarrollo de la planta a conveniencia del cultivador, por ejemplo, al podar se elimina el número de tallos productivos y por lo tanto la cantidad de frutos por planta, pero a cambio se obtiene una mayor precocidad, frutos más grandes y con mejor cuajado y mayor calidad (Samperio, 2005). Tiene por objeto balancear el crecimiento reproductivo y vegetativo, permitiendo que los fotoasimilados se canalicen hacia los frutos e indirectamente ayuden a mejorar la aireación del cultivo; a su vez, la poda y tutorado se hacen en función del tipo de cultivar, diseño de plantación y ciclo productivo (Lobo y Jaramillo, 1984). Al respecto Casierra-Posada y Fischer (2012) mencionan que esta práctica modifica la forma de la planta, influyendo en el número, tamaño, ángulo de inserción y la orientación de las ramas, con el fin de mejorar la estructura que debe soportar la carga de los frutos.

El movimiento de los fotoasimilados, fuente-vertedero: se denomina fuente a los órganos en donde los azúcares se incorporan al tubo criboso, síntesis de forma de transporte, comúnmente sacarosa, y la disponibilidad de carbohidratos son en cantidad superior a la necesaria para cubrir las necesidades metabólicas, estos carbohidratos pueden proceder de la fotosíntesis o de la movilización de reservas acumuladas anteriormente. Los vertederos son órganos importadores de carbohidratos, en los que se produce la salida de azúcares del tubo criboso. Estos azúcares pueden ser utilizados en el metabolismo y el crecimiento (vertederos consuntivos) o almacenarse como

reservas (vertederos de almacenamiento). En algunos vertederos, las reservas tienen la misma estructura química que el azúcar de transporte. En general, los vertederos son alimentados desde las fuentes más próximas; así, los ápices caulares y las hojas en desarrollo reciben la mayor parte de los metabolitos desde las hojas situadas en la región apical del vástago, mientras que las raíces lo reciben desde las hojas más basales. Las hojas situadas en las regiones centrales del tallo exportan tanto hacia el ápice de éste como hacia las raíces. Ello determina que el movimiento neto de los azúcares sea acrópeto en las regiones apicales y basípeto en las basales. Los flujos de transporte cambian durante la ontogenia de la planta al hacerlo la posición de las fuentes y los vertederos, y pueden ser manipulados experimentalmente. De este modo, la ablación de las hojas de la región apical del tallo aumenta el transporte hacia el ápice desde las hojas situadas en posición más basal. Una reducción en el número de vertederos aumenta el transporte de sustancias hacia los restantes, y es la base de prácticas hortícolas como el aclareo (la eliminación de parte de los frutos en desarrollo aumenta la velocidad de crecimiento y el tamaño final de los restantes) o el despuntado (al eliminar el ápice de los brotes, se reduce el consumo de metabolitos en el desarrollo vegetativo, lo que favorece los procesos reproductivos, como el cuajado del fruto y la formación de semillas). Por el contrario, la eliminación de las flores y de los frutos en desarrollo aumenta la cantidad de metabolitos disponible para el desarrollo vegetativo de la planta y, de este modo, su velocidad de crecimiento y el porte de la misma. Los vertederos también influyen en las fuentes: un aumento en la demanda de fotoasimilados aumenta la fotosíntesis en las hojas y la movilización de las reservas, mientras que la eliminación de los vertederos tiene el efecto contrario. El control de las fuentes por los vertederos implica distintas señales, tales como cambios en la turgencia, en los niveles de carbohidratos y en los de hormonas (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Típicamente, las hojas con su capacidad fotosintética constituyen la fuente u origen del material que se transporta por el floema, aunque un órgano de almacenamiento u exportación también puede ser una fuente, como en el caso de raíces de remolacha o zanahoria, en la primavera de su segundo año. Los cotiledones y células endospermicas de las semillas son fuentes para las plántulas en germinación. Cualquier tejido en crecimiento o con metabolismo activo puede ser vertedero o destino de la savia. Los asimilados se desplazan de la fuente al vertedero (Salisbury y Ross, 1994).

4.9 Calidad del fruto

La palabra calidad proviene del latín “*qualitas*” que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es grado de excelencia o superioridad (Kader, 2002).

En el cultivo de tomate, la calidad de sus frutos depende de sus características físicas, tales como el color, la firmeza, el tamaño o la forma; de sus cualidades químicas, que incluye el contenido de sólidos solubles, el pH, la acidez titulable y la relación azúcares/ácidos; y de sus componentes nutricionales aporte de vitaminas y minerales, el cultivo bajo ambiente protegido modifica muchas veces la respuesta de los cultivos, en relación a lo que sucede en la producción en campo, debido a los cambios en las variables climáticas (Castellanos, 2009). La calidad del fruto de tomate como en todas las hortalizas, tiene un intenso efecto de la nutrición, la variedad y el ambiente de cultivo (Winsor, 1979).

4.9.1 Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales son la concentración de azúcares, disueltos en un medio acuoso, su determinación se realiza comúnmente mediante un refractómetro que puede ser digital o análogo y este mide el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido determinada en una escala denominada °Brix o porcentaje (%), la cual es una medida utilizada para la cuantificación aproximada de azúcares disueltos en zumos, frutas y vinos; esto quiere decir que se cuantifica la cantidad de sólidos solubles totales (Gómez y Camelo, 2002)

La variación en cuanto al contenido de sólidos solubles radica en el tipo de tomate, así como la variedad, a su vez también de las condiciones en que se desarrolla el cultivo como: riego, nutrición y clima, principalmente. Para los tomates Saladette existen óptimos de SST que van desde los 4 hasta los 6 °Brix para ser considerados en un intervalo de buena calidad organoléptica con buen potencial para su uso industrial (Arana *et al.*, 2006).

Desafortunadamente, frecuentemente existe una relación inversa entre el rendimiento y el contenido de sólidos solubles totales, debido principalmente a las limitaciones fisiológicas tales como eficiencia fotosintética, relaciones fuente-demanda y pérdidas por respiración, entonces mientras un componente incrementa, usualmente resulta en una disminución en otro (Davies y Hobson, 1981).

4.9.2 Acidez titulable (AT)

Shewfelt (1993), menciona que la acidez determinada por titulación, se expresa en términos del ácido predominante, siendo en tomate el ácido cítrico (Davies y Hobson, 1981). Existe una fuerte correlación positiva entre el contenido de ácidos y la acidez titulable (Malundo *et al.*, 1995). En este sentido Cantwell *et al.*, (2007) señala una oscilación de 0.34-0.35% de acidez titulable en el fruto de tomate, el cual tiende a disminuir a medida que avanza el proceso de maduración.

4.9.3 Índice de madurez (IM)

La calidad del fruto está afectada por el estado de madurez, ataque de patógenos, manejo inadecuado en la cosecha, en el empaque, almacenamiento y/o en el transporte (Khadi *et al.*, 1987).

El IM que es la relación sólidos solubles totales (SST)/acidez titulable (AT), es un índice útil para indicar el sabor de los frutos de tomate y da más información que tener por separado a los parámetros de SST y AT (Gómez y Camelo, 2002; Ilić *et al.*, 2015).

4.9.4 pH del jugo del fruto

El pH es definido como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno (H) y su contraparte es la concentración de hidróxido (OH⁻), de modo que cuanto mayor sea la concentración de uno, la del otro será menor. Cuanto más bajo sea el valor de pH, la concentración de iones H⁺ es más elevada y la determinación de este valor se realiza mediante potenciómetros (Dickson, 1999).

García y Barret (2006) señalan que el pH es muy importante porque influye en la acidez y en las condiciones de procesamiento térmico, requerido para la producción de alimentos seguros y aunque el pH del tomate maduro puede exceder de 4.6, los productos del tomate son generalmente clasificados como alimentos ácidos. Sin embargo, un pH de 4.4 es sugerido como máximo para evitar un deterioro potencial causado por microorganismos anaeróbicos butíricos y termofílicos y un pH 4.25 como valor óptimo para el procesamiento de tomates (Salunkhe *et al.*, 1974; Monti 1980); en cambio, si el pH es más de 5, se dificulta eliminar los microorganismos.

4.9.5 Contenido de licopeno

El licopeno clasificado como un carotenoide. Es el principal pigmento responsable de la coloración roja del tomate. Una de las funciones del licopeno y otros compuestos relacionados con

los carotenoides es la de absorber la luz durante la fotosíntesis, protegiendo a la planta contra la fotosensibilización (Rao *et al.*, 1999). El contenido de licopeno en tomate varía considerablemente, por la influencia de la variedad (factores genéticos), la madurez, manejo agronómico y las condiciones ambientales durante el cultivo (George *et al.*, 2004). Por sus propiedades químicas derivadas de su estructura, se debe considerar que todos los factores capaces de degradar otros carotenoides afectan también al licopeno, entre estos están las temperaturas elevadas, la exposición a la luz y al oxígeno, valores de pH extremos y superficies activas (Scita, 1992). George *et al.* (2004) estudiaron la cantidad de este antioxidante en 12 genotipos de tomate en los que encontraron diferencias significativas en el contenido de licopeno, ácido ascórbico y ácido fenólico; de los genotipos estudiados, algunas variedades de tomate cherry presentaron los más altos contenidos.

El tomate fresco contiene buena concentración de licopeno, una vez que el tomate es cocinado la asimilación del licopeno es hasta cuatro veces más que en tomate fresco, de ahí que sobresalen las conservas; sin embargo, si es retirada la piel del fruto y eliminada de la conserva, la concentración de licopeno disminuye; lo que indica que una importante cantidad del mismo se encuentra en la piel (Ordóñez *et al.*, 2009). Durante la maduración del fruto, la acumulación de carotenoides se incrementa de 10 a 14 veces ocasionado, principalmente por la acumulación de licopeno, cuando el fruto madura progresivamente, la coloración roja del licopeno comienza a aparecer, la concentración de clorofila disminuye y cambian las propiedades organolépticas del fruto (Bramley, 2002).

El licopeno ha sido evaluado en un gran abanico de estudios epidemiológicos, para la disminución del riesgo de determinados tipos de cánceres, principalmente aquellos relacionados con los tejidos epiteliales, es por ello por lo que se ha observado un menor riesgo de cáncer de estómago, esófago, colon, próstata, pulmón, páncreas, mamas, piel, vesícula y cérvix en aquellos casos en los que existe un mayor consumo de licopeno y unos niveles superiores a nivel plasmático (Sengupta y Das, 1999). Algunos factores biológicos y de estilo de vida influyen en la absorción de licopeno: la edad, género, estado hormonal, masa y composición corporal, niveles lipídicos en sangre, fumar, consumir alcohol y la presencia de otros carotenoides en los alimentos (Sies y Sthal, 1998).

4.9.6 Firmeza del fruto

La firmeza es el principal atributo textural medido en frutos y vegetales. En una prueba estándar, esta es obtenida por la fuerza necesaria para causar la penetración a una distancia específica dentro del producto. Este atributo usualmente es medido mecánicamente por pruebas de punctura destructiva con el Instron, el cual mide la firmeza como una fuerza. Dentro del SI, la unidad fuerza es el newton (N) por lo tanto, este debe ser usado para reportar los resultados (Shewfelt, 1993).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del experimento

El experimento se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, ubicado en las coordenadas 19° 29' 05" latitud norte y 98° 54' 09" longitud oeste, a una altitud de 2,242 m, en un invernadero del Área de Nutrición Vegetal, tipo dos-aguas, con cubierta de polietileno calibre 720 μm y estructura de acero galvanizado, que refleja 90% de rayos ultravioleta (UV-II).

5.2 Condiciones ambientales

Durante el experimento el promedio de humedad relativa al interior del invernadero fue de 53.8%; entre el día y la noche y la temperatura promedio fue 24.65 °C, la máxima de 44.3.6 °C, y la mínima de 7.1 °C.

5.3 Material vegetal

El material empleado para la investigación fue tomate cherry determinado (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme), una variedad perteneciente al Área de Nutrición Vegetal del programa de Edafología del Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Las plantas fueron cultivadas en invernadero tipo dos-aguas en hidroponía con solución nutritiva, la cual presenta las siguientes características: planta herbácea entre 50 y 80 cm de altura, flores amarillas, frutos verdes inmaduros y rojos al madurar, de uso alimenticio. Nombre común: Jitomate Cherry, siendo obtentor el Dr. Manuel Sandoval Villa el cual la cataloga agrícolamente como "Cherry determinado".

5.4 Siembra y trasplante de plántulas

La siembra se realizó el día 20 de mayo de 2019 en una charola de poliuretano de 200 cavidades utilizando turba como sustrato, con un pH 4.61 y CE de 0.28 dS m^{-1} . Se depositó una semilla por cavidad, posteriormente se cubrió con el mismo sustrato y se aplicó un riego hasta saturación. El trasplante se realizó el día 14 de junio de 2019 (25 dds), se colocó una planta en cada maceta, se utilizaron macetas de jardinería de color negro con capacidad de 5 y 2 L.

5.5 Diseño experimental y factores de estudio

El diseño experimental que se utilizó fue parcelas divididas con bloques al azar, siendo la parcela grande los niveles de poda; en la parcela chica, se contó con factorial 3x2 con 4 repeticiones (concentración de la solución nutritiva x tipo de sustrato), con dos bloques que fueron los diferentes volúmenes de contenedor. Se obtuvieron en total 24 tratamientos y la unidad experimental fue una planta por maceta.

Se evaluaron 4 factores, el primer factor de estudio fue la tres diferentes concentraciones 50, 75 y 100% de la solución nutritiva con base a la solución Steiner (Steiner, 1984). El segundo factor fue la poda donde se obtuvo dos niveles, la poda consistió en cortar las primeras 4 ramificaciones de la planta contando a partir del tallo principal, podando de la misma forma a lo largo del ciclo productivo, para contrastar el efecto se contó con un testigo (plantas sin poda). El tercer factor fue el tipo de sustrato se obtuvieron 2 niveles, como sustratos base se utilizó tezontle y turba base, el tezontle se ocupó al 100% y con la turba se realizó una mezcla con el tezontle a un volumen proporcional 3:1 (tezontle: turba). El cuarto factor fue el volumen de contenedor, los sustratos utilizados se depositaron en dos volúmenes diferentes, se ocuparon macetas de jardinería con capacidad de 5 L y bolsas negras de polietileno con capacidad de 2 L.

5.6 Sistema de riego

Para la instalación del sistema de riego se utilizaron tinacos de agua 550 y 500 L equipados con una bomba hidráulica de 0.5 caballos de fuerza, válvulas para regular la presión y filtros para evitar taponamientos en el sistema, se realizaron derivaciones del sistema para distribuir las soluciones nutritivas a través de la manguera de riego. Se le conectaron goteros auto-compensados de 4 L h^{-1} a las macetas con un volumen de 5 L, colocando un distribuidor por maceta; con el fin de evitar un desperdicio de SN en las macetas con un volumen de 2 L se optó por ocupar goteros con un gasto de 2 L h^{-1} igualmente colocando un distribuidor por recipiente.

El sistema de riego contó con un temporizador digital al cual se le conectaban las bombas para su funcionamiento automático. En un inicio se programó para dar tres riegos al día de 2 minutos; sin embargo, se incrementó tanto la frecuencia como la cantidad y duración de riegos durante el desarrollo del cultivo, con base al comportamiento de las plantas y las condiciones ambientales del invernadero.

5.7. Formulación de la solución nutritiva (SN)

La solución nutritiva que se utilizó fue con base en la formulación de la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984), complementada con micronutrientes con el producto Tradecorp® Fe, la cual se usa comercial y experimentalmente debido a la efectividad de la misma de acuerdo con la conductividad eléctrica aplicada. Las formulaciones que se utilizaron a lo largo del ciclo agrícola se muestran en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Fuentes minerales y cantidades empleadas en la formulación de las diferentes concentraciones para preparar 500 litros de solución nutritiva (SN).

Fuentes Minerales	SN al 50%	SN al 75%	SN 100%
Cantidad de fertilizantes en gramos			
Ca (NO ₃) ₂ 4H ₂ O	265.5	398.25	531
KNO ₃	75.75	113.625	151.5
K ₂ SO ₄	65.25	97.87	130.5
MgSO ₄ 7H ₂ O	123	184.5	246
KH ₂ PO ₄	34	51	68
Mezcla de micronutrientes [§]	20	20	20

[§]Fe 7.5%, Mn 3.5 %, Zn 0.7%, Cu 0.28%, B 0.65%, Mo 0.26%.

5.8 Manejo del cultivo y control fitosanitario

La variedad utilizada es de hábito determinado, se requirió de un soporte mecánico, cuando las plantas alcanzaron una altura de 35 cm se procedió a tutorarlas mediante el empleo de estacas de madera de 50 cm y rafia tomatera. El proceso sólo se realizó en las macetas con volumen de 5 L, en las macetas donde se evaluó el factor poda, se colocó la estaca de madera al centro de la misma y con la rafia se dirigió la planta hacia el centro, en las plantas restantes donde no se realizó la poda, se colocaron 4 estacas a orilla de la maceta, dando mayor soporte a la planta durante su crecimiento vegetativo.

Como parte del control fitosanitario del cultivo, se aplicó Ridomil gold® bravo (metalaxil-m) a razón de 2 mL L⁻¹ para controlar manchas foliares originadas por tizón temprano. Para prevenir la incidencia de mosquita blanca se aplicó un insecticida orgánico Pyremax® en una dosis de 5g L⁻¹ con un repelente botánico Allium® 3 mL L⁻¹ cada 15 días.

5.9 Cosecha

La cosecha se realizó cuando los frutos alcanzaron el estado 3 (rojo) de acuerdo con la

escala de clasificación por color de tomate del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA (UCDAVIS, 2016), el Cuadro 5.2 presenta la descripción de los estados de madurez según el cambio de coloración en la superficie del fruto. El cultivo se mantuvo hasta obtener el octavo corte, las mediciones y pruebas se realizaron en los primeros cortes.

Cuadro 5.2. Escala de clasificación por color de tomate del USDA (UCDAVIS, 2016).

Estado	Nombre	Descripción
1	Verde	La superficie del tomate es totalmente verde en color. El tono de verde puede variar de claro a oscuro.
2	Quebrante	Se presenta un quiebre en la coloración verde del fruto por la aparición de pequeñas coloraciones amarillas, rosas o verdes en no más del 10% de la superficie.
3	Torneado	Más del 10% pero no más del 30% de la superficie presenta un cambio de coloración de verde a amarillo, rosa, rojo o la combinación de los mismos.
4	Rosa	Más del 30% pero no más del 60% de la superficie del fruto muestra una coloración rosa o rojiza.
5	Rojo claro	Más del 60% de la superficie del fruto muestra una coloración rosa-rojiza o roja. No más del 90% de la superficie es de color rojo.
6	Rojo	Más del 90% de la superficie del fruto muestra una coloración roja.

5.10 Pruebas en sustratos

5.10.1 Porosidad del sustrato

Se colocaron los sustratos que se ocuparon en el experimento (tezontle, turba y la mezcla) en un permeámetro de 500 mL de capacidad, posteriormente dicho volumen de sustrato se vació en un recipiente y se saturó con agua. Se cubrieron las perforaciones del permeámetro con cinta adhesiva y se pesó en una báscula digital, se retiró el permeámetro de la báscula y se llenó con agua hasta el borde para volverlo a pesar, esto equivale al volumen del permeámetro (V_p). Se vació el agua y se llenó el permeámetro con sustrato saturado para pesarlo una vez más (P_s saturado), se retiró la cinta para que se drenara el agua y se volvió a pesar con la cinta (P_s drenado). Finalmente, el sustrato se secó a peso constante en la estufa de secado durante 48 h a 100 °C y se volvió a pesar (P_s seco). Una vez obtenidos los datos se emplearon las siguientes fórmulas:

- Volumen total de aireación (V_{ai}) = (P_s saturado - P_s drenado)
- Volumen total de poros = (P_s drenado - P_s seco)
- Porosidad total (%) = (Volumen total de poros/ V_p) *100

- Porosidad de aireación (%) = $(V_{ai}/V_p) * 100$
- Porosidad de retención de humedad (%) = (% Porosidad total - Porosidad de aireación)

Para conocer el comportamiento de los sustratos al final del experimento se realizó la misma prueba en las macetas y bolsas con sustrato que se ocuparon a lo largo del ciclo productivo con 3 repeticiones; el tamaño del permeámetro fue el que resultó al final del experimento.

5.10.2 Conductividad eléctrica (CE) y pH del sustrato

Como información adicional se tomaron lecturas iniciales del tezontle, turba y la mezcla que se ocuparon como sustrato del cultivo. De igual manera se tomó la lectura del tezontle y la mezcla al finalizar el ciclo productivo.

Para la determinación se hizo una disolución de sustrato:agua destilada en una relación 1:1. En un recipiente de plástico se colocaron 80 mL de sustrato seco con 80 ml de agua destilada, se mezcló y se dejó reposar por 24 h. Posteriormente se tomaron las lecturas con un potenciómetro y conductímetro respectivamente.

5.11 Variables respuesta

Las variables evaluadas se dividieron en morfológicas, de rendimiento y calidad de fruto. Las cuales se describen a continuación:

5.12 Variables morfológicas

5.12.1 Altura de la planta

La altura de la planta desde el cuello de la raíz hasta el nivel superior del dosel de la misma, se determinó con una cinta métrica. Esta variable se evaluó a los 14 y 40 días después del trasplante (ddt).

5.12.2 Diámetro basal del tallo

Para la medición de esta variable se utilizó un vernier electrónico marca Truper®, la cual consistió en medir el diámetro del tallo a 5 cm del cuello de la raíz. Esta variable se midió a los 14 y 40 ddt durante el ciclo del cultivo y una medición al culminar el trabajo experimental a los 138 ddt.

5.12.3 Peso fresco total de la planta

Al final del trabajo experimental (138 ddt) se realizó una evaluación destructiva de todas las plantas, se cortó a nivel del sustrato (cuello de la raíz) y se procedió a pesarla en una balanza granataria. El peso fresco final contempló toda la materia que haya generado la planta a lo largo del desarrollo del experimento.

5.13 Variables fisiológicas

Se determinaron las lecturas SPAD a los 31 y 88 ddt con el equipo SPAD 502 (Konica Minolta, Osaka, Japan) y el índice normalizado de vegetación (INV) con el equipo GreenSeeker® a los 53 ddt.

5.14 Variables de calidad del fruto

5.14.1 Conductividad eléctrica (CE)

Para la medición de la CE del fruto se tomó una muestra de 10 g de pulpa del fruto y se homogenizó en una licuadora comercial (Osterizer®) con 50 mL de agua destilada. El extracto se filtró y se midió con un potenciómetro (PC18 Conductronic), los datos se presentaron en dS m^{-1} .

5.14.2 pH

Para la medición del pH del fruto se tomó una muestra de 10 g de pulpa del mismo y se homogenizó en una licuadora comercial (Osterizer®) con 50 mL de agua destilada. El extracto se filtró y se midió el pH con un potenciómetro (PC18 Conductronic).

5.14.3 Sólidos solubles totales (SST)

Esta variable se determinó mediante el método descrito por la AOAC (1990), donde se tomaron 3 gotas de jugo obtenida al exprimir la pulpa del fruto, correspondiente al tratamiento evaluado, la cual se colocó en un refractómetro digital de bolsillo (Atago® PAL-1) (0.0 a 53.0% Brix), previamente calibrado con agua destilada.

5.14.4 Acidez titulable (AT)

La AT se determinó por el método de AOAC (1990). En una muestra de 10 g de fruto, diluidos en 50 mL de agua destilada, se filtró y se midió el volumen total, se agregaron tres gotas de fenolftaleína al 1%, se tomó una alícuota de 10 mL, mediante titulación con una bureta digital utilizando NaOH al 0.1 N hasta obtener una coloración violeta que permaneciera por un minuto y se cuantifico el gasto del NaOH 0.1 N.

Posteriormente se calculó el porcentaje de acidez titulable en base al ácido cítrico, utilizando la fórmula:

$$\% \text{ ácido} = (\text{mL NaOH} * \text{N} * \text{meq. Ac} * \text{V}) / (\text{peso de la muestra} * \text{alícuota}) * 100$$

Donde:

N = normalidad del NaOH

V = volumen total (mL de extracto)

meq. Ac. = miniequivalentes de ácido cítrico

5.14.5 Índice de Maduración (IM)

Para la determinación de esta variable se calculó con el método usado por San Martín *et al.* (2012), obteniendo la relación entre SST y AT.

5.14.6 Firmeza del fruto

La firmeza del fruto se midió con un penetrómetro (Wagner ® FT-10, USA) con una punta cónica de 8 mm de diámetro, se midió en la región ecuatorial sobre la cutícula del fruto. Se tomaron 5 frutos al azar por planta de los cuales se obtuvo un dato promedio, las lecturas se registraron en Newtons (N) (Shewfelt, 1993).

5.14.7 Contenido de licopeno

Mediante un colorímetro 3NH modelo NR-145 se realizó la medición tomando 4 frutos al azar de cada planta. El colorímetro fue calibrado al inicio y las lecturas son reportadas en el sistema internacional de color (CIE); L*, a*, b*. El licopeno fue calculado mediante la fórmula propuesta por Arias *et al.* (2000).

Licopeno (mg/100 g) = 11.848 (a*/b*) +1.5471.

5.14.8 Diámetro polar y ecuatorial

Para obtener estos datos, se eligieron 5 frutos al azar por planta de un corte y se midió con un vernier milimétrico digital (Truper®).

5.14.9 Pérdida de peso del fruto (PPF)

La muestra consistió en 5 frutos por planta, Se tomó el peso inicial (al cosechar) de cada uno de los frutos. Se registró el peso cada tercer día durante 14 días de almacenamiento a 23.3 °C y 50.2% HR promedio. Se utilizó una balanza digital (Ohaus® Scout pro), la PPF se reportó como porcentaje de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ PP} = (1 - P_n / P_i) 100$$

Donde:

% PP = porcentaje de pérdida de peso

P_n = peso de los frutos a los n días de almacenamiento

P_i = peso inicial de los frutos.

5.15 Rendimiento

5.15.1 Número de frutos por planta

Se contaron los frutos una vez que alcanzaron el estado 6 (Cuadro 5.2), las evaluaciones se realizaron cada 8 días después del primer corte con un total de 8 cortes al finalizar el experimento.

5.15.2 Peso fresco de frutos por planta

Esta actividad consistió en pesar en una balanza digital (Ohaus® Scout pro) todos los frutos por planta después de cada cosecha realizada. Las evaluaciones se realizaron cada 8 días después del primer corte con un total de 8 cortes al finalizar el experimento.

5.15.3 Peso promedio del fruto

Al final del experimento (138 ddt) se dividió el peso total de los frutos entre el número de frutos a lo largo de los 8 cortes realizados con la finalidad de estimar el peso individual de los frutos por tratamiento.

Se llevó a cabo un análisis de varianza de los datos y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$), empleando el programa estadístico INFOSTAT[®] 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2019) para determinar el efecto de las soluciones nutritivas, la poda, tipo y el volumen de sustrato.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Porosidad de sustratos

Esta característica física se determinó con los sustratos base (tezontle y turba) así como a la mezcla que se realizó, que muestran en el Cuadro 6.1.

Cuadro 6.1. Retención de humedad de sustratos y mezcla al principio y final del ciclo productivo utilizados en la producción de tomate (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme).

Sustrato	Porosidad total (%)		Porosidad de aireación (%)		Porosidad de retención de humedad (%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Turba	70.9		54.1		16.8	
Tezontle 5 L	70.9	24.6	54.11	24.61	16.8	26.87
Mezcla [§] 5 L	64.8	64.7	22.83	14.71	41.93	50.01
Tezontle 2 L	70.9	56.9	54.11	31.49	16.8	25.4
Mezcla 2 L	64.8	69.7	22.83	16.52	41.93	53.2

n= 3 repeticiones; [§]mezcla (tezontle: turba =3:1).

En el Cuadro anterior, el tezontle cuya granulometría < 5 mm tiene una porosidad de retención de humedad de casi el 17%, es decir, por cada litro de agua aplicada, esta conserva alrededor de 0.17 L, así como una porosidad de aireación cerca del 54.1%, que en conjunto proporciona una porosidad total de 70.1%, eso constituye una característica importante ya que según Cruz *et al.* (2013) el sustrato debería tener al menos 85% de porosidad total. En este caso, la turba empleada para realizar la mezcla cumple con este requisito al obtener cerca del 97% de porosidad total, valor que se modifica al realizar la mezcla con el tezontle en una proporción 3:1 perdiendo 32% de la propiedad original. Baixauli *et al.* (2002) mencionan que la porosidad de aireación es aceptada en un intervalo de 10- 35%; sin embargo, esta variable depende del tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento, así como de la forma, naturaleza de los materiales y altura del contenedor. Como en el caso anterior, en la porosidad de aireación la turba y la mezcla entran en el intervalo que proponen Baixauli *et al.* (2002). En el caso del tezontle no y esto se atribuye a que no se realizó un cribado anterior para homogeneizar las partículas obteniendo partículas muy pequeñas; como consecuencia, afectó la porosidad de aireación ya a que, a menor tamaño de partícula, disminuye la porosidad de aireación y aumenta la retención de humedad.

Al contar con partículas grandes se incrementa la porosidad de aireación, pero disminuye la retención de humedad. Aunque en los sustratos utilizados en este experimento (tezontle y

mezcla) la porosidad de aireación fue baja, esto no limitó el trabajo experimental ya que los riegos en cultivos bajo invernadero e hidropónicos son controlados; en parte para dosificar el agua y nutrientes y otro tanto para evitar la saturación del sustrato.

En el Cuadro 6.1 se muestran los resultados de las pruebas que se realizaron al final de experimento tomando en cuenta los contenedores y sustratos correspondientes. La porosidad total de tezontle, es baja considerablemente en el caso de 5 L (46.3%) en comparación al valor inicial. En el recipiente de 2 L ésta disminuye 14%, es decir, una diferencia de 32.3% de porosidad total. Por otra parte, en la mezcla esta característica no se vio afectada al final del experimento en el caso de 5 L. Sin embargo, se observa un cambio en el contenedor de 2 L aumentando 4.9%, esto coincide con los datos obtenidos por Castro *et al.* (2019) donde evaluaron el comportamiento inicial y final de una mezcla de turba con perlita y vermiculita.

La disminución de la porosidad de aireación por el uso del tezontle y volumen del contenedor en la producción de las plantas fue de 27.51 y 22.62% para sus respectivos volúmenes de 5 y 2 L. En contrate, la retención de humedad aumentó 10.07 y 8.6% para sus respectivos volúmenes de 5 y 2 L. Los cambios son similares a los reportados por Rodríguez *et al.* (2013) donde caracterizan propiedades físicas del tezontle al inicio y final de un cultivo de tomate saladette, con el objetivo de reutilizar el sustrato. Vargas *et al.* (2008), al evaluar el efecto de tamaño de partícula en propiedades físicas de tezontle, concluyen que cuando el diámetro de partícula es menor de 0.50 mm la capacidad de aireación disminuye en forma significativa. Al tener partículas más pequeñas la capacidad de aireación disminuye a lo que, Raviv *et al.* (2004) destacaron esta característica, debido a la importancia de suministrar oxígeno y agua a la raíz, subrayando que un adecuado suministro de ambos en la zona de la raíz propicia efectos inmediatos sobre la forma y crecimiento de la misma.

En el caso de la mezcla, esta tuvo un comportamiento similar al tezontle, disminuyó el porcentaje de porosidad de aire y aumentó el porcentaje de porosidad de retención al final del cultivo, sólo que, en menor magnitud, por efecto de la turba empleada al realizar la mezcla y del volumen del contenedor utilizado. El porcentaje de porosidad de aire disminuyó 8.12 y 6.31% para 5 y 2 L. En contraste, la retención de humedad aumentó 8.08 y 11.27% para 5 L y 2 L. Al respecto, Castro *et al.* (2019) mencionan que al usar algún sustrato orgánico los resultados de porosidad en los sustratos cambian después de ser utilizados en la producción de planta, se atribuyen a la

actividad microbiana presente en los sustratos, disminuyendo el diámetro de las partículas, lo cual disminuye la porosidad de aireación y aumenta la de retención de agua. Gutiérrez *et al.* (2011) sugieren utilizar la micromorfología para determinar tipo, tamaño y continuidad de poros que permitan entender ampliamente el movimiento del agua y la relación aire-agua en un sustrato.

6.2 pH y CE en sustratos

El pH inicial de los sustratos con turba es ácido: la turba 4.61, que al mezclar con el tezontle (7.08, sin olvidar que el tezontle, prácticamente químicamente es inerte, el pH es afectado por el pH del agua usada, aun en el caso de agua destilada), se obtuvo una mezcla más alcalina: 6.02. Landis *et al.* (1990) reportan que con un pH menor a 4.0 se pueden manifestar problemas de enfermedades de raíz. Con pH entre 5.5 a 6.5 el problema de fungosis disminuye y con pH mayores a la neutralidad puede presentarse *Fusarium*.

Escudero (1993) recomienda un intervalo de 5.5 a 6.5 del pH del sustrato para el cultivo del tomate, ya que la reacción del sustrato es importante porque ejerce sus efectos sobre la disponibilidad de los micronutrientes. En los resultados iniciales obtenidos para el presente trabajo, solamente la mezcla cumple con lo recomendado, el tezontle está por arriba de este intervalo (Cuadro 6.2).

La CE constituye un buen indicador de la salinidad de un sustrato, y depende de la concentración de iones en la disolución (Abad, 1995). La CE ideal no debe ser mayor de 2.0 dS m⁻¹. Los valores de CE obtenidos en los sustratos utilizados al inicio del presente experimento son bajos, siendo el tezontle el que menor CE presenta al ser un sustrato inerte (0.14 dS m⁻¹) que al verse mezclado en proporción 3:1 con la turba (0.28 dS m⁻¹) aumenta en 0.07 dS m⁻¹ (Cuadro 6.2).

Cuadro 6.2. pH y conductividad eléctrica en los sustratos utilizados al inicio del ciclo productivo de tomate (*S. Lycopersicum* cv. cerasiforme).

Sustrato	pH	Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)
Tezontle	7.08 [§]	0.14
Turba	4.61	0.28
Mezcla	6.02	0.21

[§]El tezontle es químicamente inerte en la práctica, el pH es afectado por el pH del agua usada, aún en el caso de agua destilada; mezcla (tezontle: turba=3:1).

Al final del proceso de producción todos los sustratos presentaron un aumento de pH respecto a su valor inicial (Cuadro 6.3), la mezcla tuvo mayor aumento comparado con el tezontle;

el volumen del contenedor influyó en el comportamiento final del pH ya que en el contenedor de 2 L aumentó más respecto al volumen de 5 L considerando el valor inicial. También se observó que entre más aumenta la concentración de la SN a la que estuvieron expuestos los sustratos a lo largo del trabajo experimental, menor es el aumento de pH al final del ciclo productivo. Al respecto Landis *et al.* (1990) afirman que el pH al final de la producción puede tener variaciones debido a las prácticas de cultivo como la fertilización y el riego. Castro *et al.* (2019) reportan variaciones de pH final de 1.4 respecto al valor inicial obtenido en una mezcla de sustrato de turba, vermiculita y perlita (3:1:1), en un cultivo forestal con aplicación de fertilizantes de liberación controlada. Comparando los datos con la presente investigación, no se obtienen variaciones tan altas de pH con las reportadas, y esto se atribuye a las proporciones de turba en las mezclas utilizadas, al tener menor cantidad de turba en la mezcla ocupada, la actividad microbiana disminuye.

Cuadro 6.3. pH inicial y final de los sustratos evaluados para la producción de tomate cherry determinado en hidroponía bajo diferente concentración de la solución nutritiva (SN) y volumen del contenedor.

Sustrato	Volumen	Concentración porcentual de la SN	pH	
			Inicial	Final
Tezontle	5 L	50	7.08	7.55
		75	7.08	7.29
		100	7.08	7.11
	2 L	50	7.08	7.64
		75	7.08	7.45
		100	7.08	7.32
Mezcla [§]	5 L	50	6.02	7.03
		75	6.02	7.24
		100	6.02	6.23
	2 L	50	6.02	6.99
		75	6.02	6.79
		100	6.02	6.52

[§]Mezcla (tezontle: turba =3:1).

Al final del proceso de producción, los sustratos tuvieron mayor CE respecto al valor inicial (Figura 6.1). Fue la concentración de la SN el factor que más influyó en la CE, a mayor concentración porcentual de la solución a la que estuvo sometido el sustrato a lo largo del ciclo productivo, mayor es la diferencia entre el valor final e inicial. Se observó que hay diferencia entre el tipo y volumen de sustrato que se ocupó, existe mayor diferencia de CE usando la mezcla como sustrato de cultivo y el contenedor de 2 L, pues ocupando la mezcla en un contenedor de 2 L la conductividad aumenta hasta 6.42 dS m⁻¹ al final del ciclo, siendo este valor el mayor que se obtuvo

en la presente investigación. Considerando que la concentración de sales en el sustrato se correlaciona con la retención de humedad que tiene el mismo, la mezcla ocupada para este trabajo obtuvo cerca del doble de retención de humedad respecto al tezontle, y como se fue desarrollando el cultivo la retención tendió a subir y por consecuencia también la CE. Al final del ciclo productivo, sólo los sustratos que estuvieron expuestos a una concentración del 50% de la SN están cerca del intervalo que se recomienda para la producción hidropónica considerando su posible reutilización. Aunque Rodríguez *et al.* (2013) reportan que la respuesta productiva del cultivo de tomate no se ve afectada cuando el tezontle es reusado en dos ocasiones consecutivas.

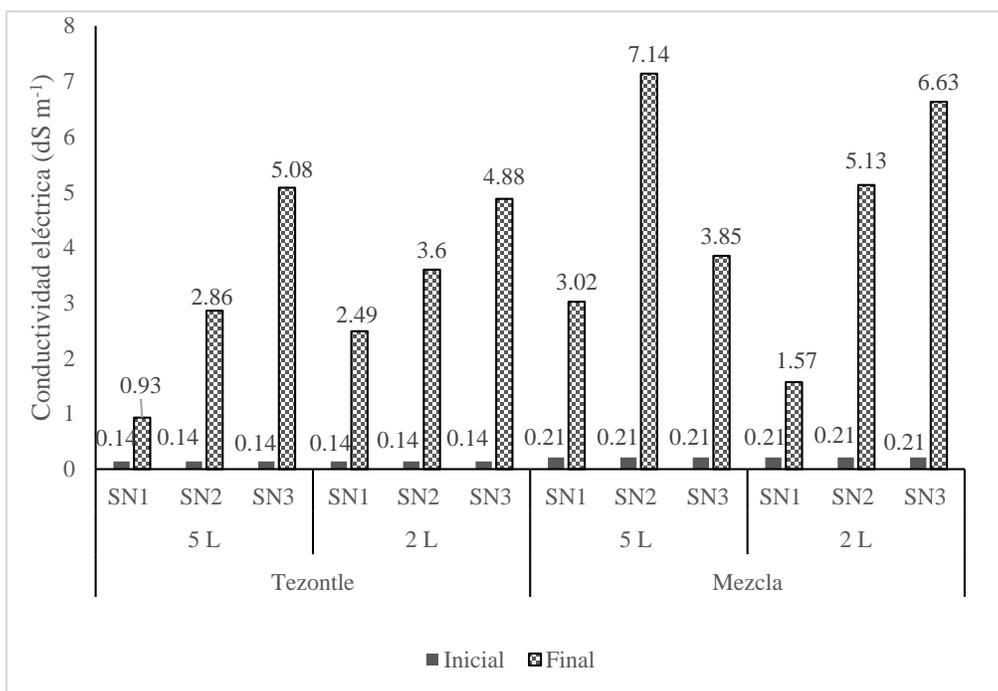


Figura 6.1. Conductividad eléctrica inicial y final de los sustratos evaluados para la producción de tomate cherry determinado en hidroponía en diferente concentración de la solución nutritiva (SN) y volumen de contenedor.

SN1=concentración de la solución nutritiva al 50%; SN2=concentración de la solución nutritiva al 75%; SN3=concentración de la solución nutritiva al 100%.

6.3 Variables morfológicas

6.3.1 Diámetro basal del tallo

El diámetro basal del tallo fue afectado por los factores de evaluación y sus interacciones en los diferentes días después del trasplante (ddt), el tipo de sustrato y la interacción poda*volumen afectó significativamente a los 14 y 40 ddt, la concentración porcentual de la SN a los 40 y 138

ddt. Las interacciones poda*sustrato*solución y sustrato*volumen afectaron significativamente a los 138 ddt, así como poda*sustrato*volumen a los 14 ddt (Cuadro 6.4).

Cuadro 6.4. Análisis de varianza (Fc) para el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

Factores	Días después del trasplante					
	14		40		138	
Poda	0.5942	ns	0.4929	ns	0.367	ns
Sustrato	<0.0001	**	0.0008	**	0.0982	ns
Solución	0.8491	ns	0.0044	**	0.0004	**
Volumen	0.618	ns	0.8275	ns	0.4468	ns
Poda*Sustrato	0.7285	ns	0.5095	ns	0.7223	ns
Poda*Solución	0.6548	ns	0.7607	ns	0.714	ns
Poda*Volumen	0.0038	**	<0.0001	**	0.4947	ns
Sustrato*Solución	0.1656	ns	0.9717	ns	0.0817	ns
Sustrato*Volumen	0.3045	ns	0.1444	ns	0.0483	*
Solución*Volumen	0.1591	ns	0.572	ns	0.1728	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.9849	ns	0.8944	ns	0.0107	*
Poda*Sustrato*Volumen	0.0377	*	0.37	ns	0.1869	ns
Poda*Solución*Volumen	0.1955	ns	0.3816	ns	0.5956	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.1026	ns	0.9784	ns	0.4211	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.1154	ns	0.818	ns	0.2707	ns
CV (%)	13.71		13.95		10.36	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01) CV=coeficiente de variación.

El diámetro basal por el efecto del tipo de sustrato fue estadísticamente mayor al usar la mezcla respecto al tezontle a los 14 y 40 ddt (4.88-5.92 y 12.44-13.74 mm); al final del experimento (138 ddt) no se encontraron diferencias estadísticas, aunque numéricamente como se observó a los 14 y 40 ddt la mezcla ejerce un efecto mayor al tezontle en el diámetro del tallo 24.55 y 23.69 respectivamente (Figura 6.2).

En la determinación del diámetro basal por el efecto de la concentración porcentual de la SN a los 14 ddt no se encontró diferencia en la respuesta con las tres diferentes concentraciones de la SN, el diámetro varió de 5.35 a 5.46 mm. A los 40 ddt al usar 75% de la concentración de la SN el diámetro del tallo es mayor respecto a la SN 50%, 13.78 y 12.25 mm respectivamente, al ocupar la SN al 100% estadísticamente no hubo diferencias con las demás soluciones respecto al diámetro del tallo (12.25); al final del experimento (138 ddt), al ocupar las SN con mayor concentración (75 y 100%) se obtiene el mayor diámetro de tallo no encontrando diferencias estadísticas entre ellas (24.78 y 24.97 mm), respecto al uso de SN al 50% el diámetro (22.61 mm)

es menor al finalizar el experimento (Figura 6.3).

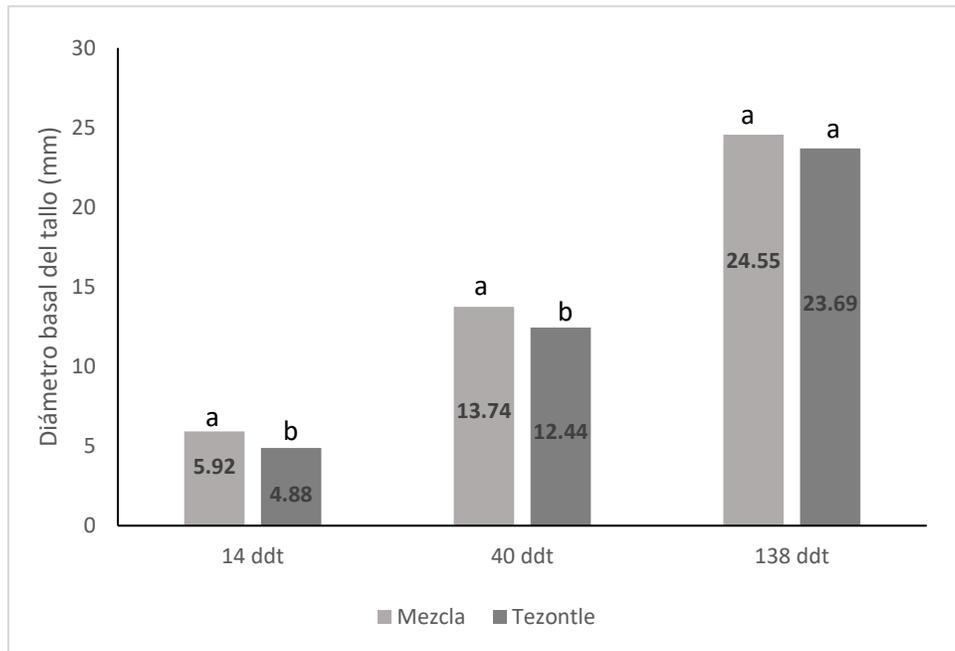


Figura 6.2. Efecto del tipo de sustrato en el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

DMSH= diferencia mínima significativa honesta; DMSH: 14 ddt=0.301; 40 ddt = 0.743; 138 ddt =1.016.

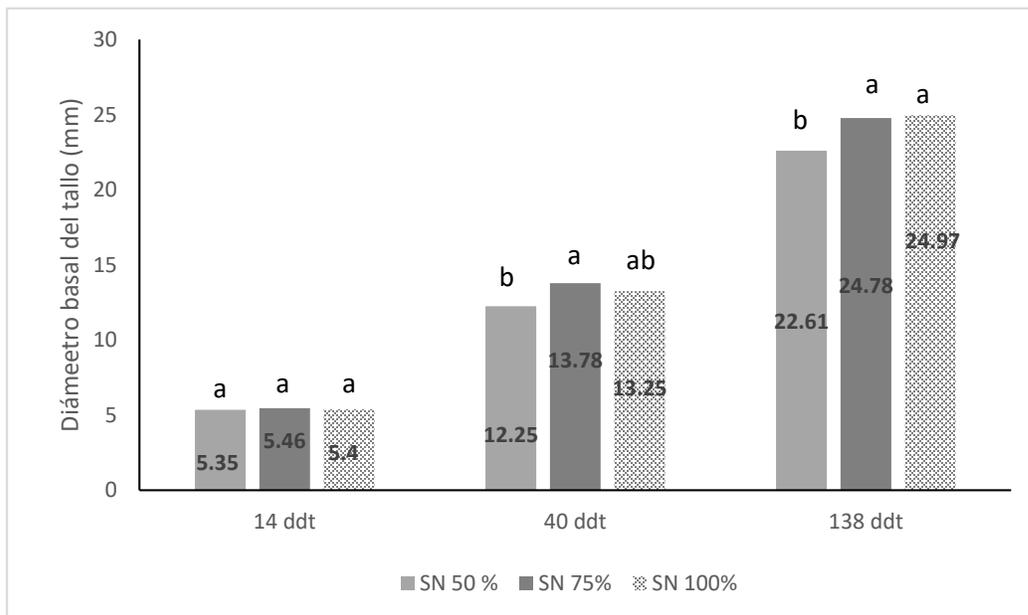


Figura 6.3. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

DMSH= Diferencia mínima significativa honesta; DMSH: 14 ddt=0.4433; 40 ddt = 1.092; 138 ddt =1.494.

Por la interacción poda*volumen se encontraron diferencias significativas a 14 y 40 ddt, el factor poda en el contenedor de 5 L a los 14 ddt fue estadísticamente mayor a las demás combinaciones en el diámetro del tallo, con el mismo volumen sin podar la planta se obtuvo el menor diámetro numéricamente (5.95 y 5.16 mm); a los 40 ddt el comportamiento fue inverso, en el volumen de 5 L sin poda estadísticamente es mayor a las demás combinaciones, con el mismo volumen al podar la planta numéricamente se obtiene el menor diámetro (15.08 y 11.58 mm). Con el volumen de 2 L no se encontraron diferencias estadísticas por el efecto de la poda, aunque numéricamente al no podar la planta el mayor diámetro correspondió a los 14 y 40 ddt (Cuadro 6.21).

Al final del experimento (138 ddt) por la interacción sustrato*volumen, al realizar la prueba de medias de Tukey no se encontraron diferencias significativas. El diámetro del tallo varió de 23.39 a 25.27 mm; el mayor diámetro numéricamente se obtuvo al usar la mezcla en un volumen de 5 L, y el menor diámetro ocurrió en el mismo volumen con tezontle. Las plantas producidas en contenedores de 2 L el tipo de sustrato se comportó de diferente forma, ya que numéricamente al ocupar tezontle favoreció el diámetro de tallo respecto a la mezcla (Cuadro 6.21).

Cuadro 6.5. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en el diámetro basal del tallo a los 14, 40 y 138 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

Factores		Diámetro basal del tallo (mm)	
Poda	Volumen (L)	14 ddt	40 ddt
Con poda	5	5.95 a	11.58 b
Sin poda	2	5.31 b	12.87 b
Con poda	2	5.19 b	12.83 b
Sin poda	5	5.16 b	15.08 a
DMSH		0.5626	1.386
Sustrato	Volumen (L)	138 ddt	
Mezcla [§]	5	25.27 a	
Tezontle	2	24.00 a	
Mezcla	2	23.83 a	
Tezontle	5	23.39 a	
DMSH		1.896	

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba =3:1).

Normann (1993) menciona que las mezclas de sustratos logran una mejoría en una o más propiedades del material original. Los datos obtenidos por efecto del tipo de sustrato en el diámetro

de tallo se asemejan a los reportados por Ortega-Martínez *et al.* (2010), donde al evaluar mezclas de sustratos en tomate saladette, la diferencia fue significativa en aserrín-composta con mayor grosor a partir del día 75; en contraparte Cruz-Crespo *et al.* (2012) al evaluar mezclas de tezontle con vermicompost y desechos orgánicos no obtuvieron diferencias significativas en tomate charleston.

Los datos obtenidos por efecto de la concentración de la SN se asemejan con los reportados por Cruz-Crespo *et al.* (2012), quienes determinaron que el diámetro del tallo de tomate Charleston de crecimiento indeterminado, se encuentran en relación con el aumento de la concentración de la solución nutritiva; por su parte González-Raya *et al.* (2005), no encontraron diferencias en el diámetro del tallo por la concentración de N en la SN en tomate bola y saladette, ambos de crecimiento determinado. Miranda *et al.* (2014) difieren a lo reportado en cuanto al crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia×hybrida* en hidroponía, dichos autores encontraron que el grosor del tallo disminuyó al incrementar la concentración de la SN. Con base en estos resultados, se puede argumentar que el crecimiento del tallo está en relación con el tipo de especie y hábito de crecimiento.

6.3.2 Altura de planta

A los 14 ddt el tipo sustrato tuvo efecto altamente significativo sobre la altura de la planta; a los 40 ddt la altura fue afectada por el tipo de sustrato, la concentración porcentual de la SN y por las interacciones poda*sustrato y poda*volumen (Cuadro 6.6).

Cuadro 6.6. Análisis de varianza (Fc) para la altura de la planta a los 14 y 40 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv.cerasiforme) cultivado en hidroponía.

Factores	ddt			
	14		40	
Poda	0.3479	ns	0.9483	ns
Sustrato	0.0059	**	0.0162	*
Solución	0.8715	ns	0.027	*
Volumen	0.1308	ns	0.0531	ns
Poda*Sustrato	0.9833	ns	0.0435	*
Poda*Solución	0.2532	ns	0.1078	ns
Poda*Volumen	0.4754	ns	0.0247	*
Sustrato*Solución	0.6694	ns	0.4194	ns
Sustrato*Volumen	0.7133	ns	0.2473	ns
Solución*Volumen	0.5519	ns	0.7635	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.0951	ns	0.972	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.5429	ns	0.7859	ns
Poda*Solución*Volumen	0.864	ns	0.9758	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.7453	ns	0.234	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.3729	ns	0.4321	ns
CV (%)	9.96		9.50	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01) CV=coeficiente de variación.

A los 14 ddt al usar la mezcla la altura de la planta fue mayor respecto al uso de tezontle; esta varió a los de 8.5 a 9.01 cm (Cuadro 6.7).

En la determinación de altura de la planta por el efecto de la concentración porcentual de la SN, a los 14 ddt no se encontró diferencia en la respuesta con las tres diferentes concentraciones, aunque al usar la solución al 100% numéricamente se obtuvo mayor altura de la planta respecto a las demás SN (8.82 cm). A los 40 ddt con el uso de una solución al 75% la altura fue mayor respecto a la solución de menor concentración (27.48 y 25.79 cm). Con el uso de una solución al 100% afectó de la misma forma la altura de la planta que las demás soluciones (50 y 75%), ya que no se presentaron diferencias significativas a los 40 ddt (Cuadro 6.7).

Cuadro 6.7. Efecto del tipo de sustrato y concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en la altura de planta (cm) a los 14 y 40 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. *cerasiforme*) cultivado en hidroponía.

Factores		Altura de la planta (cm)	
		14 ddt	40 ddt
Tipo de sustrato	Mezcla [§]	9.01 a	27.16 a
	Tezontle	8.50 b	25.90 b
	DMSH	0.35469	1.02514
Concentración porcentual de la SN	100	8.82 a	26.32 ab
	75	8.73 a	27.48 a
	50	8.71 a	25.79 b
	DMSH	0.5215	1.5072

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (Diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba =3:1).

La poda interactúa con el tipo y volumen de sustrato a los 40 ddt (Cuadro 6.6). Al podar la planta desarrollada en sustrato mezcla la altura aumentó significativamente 8.36% en comparación con el mismo nivel de poda en tezontle. Al no podar no hubo diferencias para la altura de la planta desarrollada en los dos sustratos utilizados a los 40 ddt (Cuadro 6.8).

Al revisar la interacción poda*volumen a los 40 ddt, la altura de la planta aumentó significativamente en aquellas que crecieron en el contenedor de 5 L en comparación con las de 2 L. Al utilizar cualquier nivel de poda se encontró que las plantas responden de la misma forma en ambos volúmenes de contenedor, aunque numéricamente la poda influyó diferente en los dos contenedores: la poda favoreció la altura de las plantas desarrolladas en contenedores de 2 L, en contraparte, las plantas desarrolladas en contenedores de 5 L al no podar, la altura de la planta fue mayor (Cuadro 6.8).

Ortega-Martínez *et al.* (2010) reportaron que en tomate saladette, a partir de los 75 ddt, en las plantas que crecieron en el sustrato aserrín- composta, obtuvieron la mayor altura, seguido de las que crecieron en el aserrín. Por otro lado, Márquez *et al.* (2006), al comparar el desarrollo de la planta en sustratos inertes contra compost en producción orgánica de tomate cherry, encontraron que la mayor altura a través del ciclo de cultivo correspondió al cultivo que creció en arena con fertirriego, así como la vermicomposta al 50% + arena; datos semejantes a los obtenidos en esta investigación.

En nuestra investigación y respecto al efecto de la concentración de la SN los resultados de la altura de planta del tomate cherry determinado coinciden con Cruz-Crespo *et al.* (2012), quienes señalaron que la altura de tomate Charleston de crecimiento indeterminado se encuentran

directamente relacionadas con la concentración de la SN. Por su parte, González-Raya *et al.* (2005) aunque no encontraron diferencias significativas en la altura de la planta por la concentración de N en la SN, el incremento de N en la SN incrementó numéricamente la altura en tomate bola y saladette, ambos de crecimiento determinado.

El efecto positivo que ejerce la poda sobre la altura de las plantas desarrolladas en contenedores de 2 L difiere con lo reportado por Valerio *et al.* (2012), donde al no podar las plantas de *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm obtuvieron mayor altura que al podar la planta al cuarto y sexto entre nudo. Dicha diferencia se atribuye que en ambos experimentos la altura de la planta se midió de distinta forma.

Cuadro 6.8. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en la altura de planta (cm) a los 40 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

Factores		Altura de planta (cm)
Poda	Tipo de Sustrato	40 ddt
Con poda	Mezcla [§]	27.74 a
Sin poda	Mezcla	26.59 ab
Con poda	Tezontle	25.42 b
Sin poda	Tezontle	26.38 ab
DMSH		1.9127
Poda	Volumen (L)	40 ddt
Con poda	5	33.04 a
Sin poda	5	34.13 a
Con poda	2	20.12 b
Sin poda	2	18.84 b
DMSH		1.9127

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba =3:1).

6.3.3 Peso fresco total de la planta

El peso fresco total de la planta fue afectado por la concentración porcentual de la SN, al igual por las interacciones solución*volumen y poda*volumen (Cuadro 6.9).

Cuadro 6.9. Análisis de varianza a las lecturas de índice normalizado de vegetación (INV) a los 53 días después del trasplante (ddt) y peso total de frutos (kg) a los 138 ddt en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

Factores	Fc			
	INV (53 ddt)		Peso fresco total (138 ddt)	
Poda	0.5033	ns	0.4427	ns
Sustrato	0.079	ns	0.0752	ns
Solución	<0.0001	**	<0.0001	**
Volumen	0.6392	ns	0.1524	ns
Poda*Sustrato	0.7875	ns	0.2646	ns
Poda*Solución	0.0832	ns	0.4272	ns
Poda*Volumen	<0.0001	**	<0.0001	**
Sustrato*Solución	0.3585	ns	0.0821	ns
Sustrato*Volumen	0.5461	ns	0.2944	ns
Solución*Volumen	0.0024	**	0.0386	*
Poda*Sustrato*Solución	0.2477	ns	0.9434	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.6623	ns	0.5794	ns
Poda*Solución*Volumen	0.7835	ns	0.8916	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.2447	ns	0.1062	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.7138	ns	0.7094	ns
CV (%)	4.87		21.64	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01) CV=coeficiente de variación.

Por efecto de la concentración porcentual de la SN en interacción con el volumen de contenedor, el peso fresco total de la planta al finalizar el experimento (138 ddt) varió de 1.42 a 3.64 kg, donde se obtuvo estadísticamente mayores pesos fue en las plantas desarrolladas en contenedores de 5 L respecto a los de 2 L; en el volumen de 5 L las tres concentraciones de SN empleadas fueron diferentes sobre el peso fresco final de la planta, la SN 75% fue donde se obtuvo el mayor peso seguido de la de 100% y 50% (3.64,3.15 y 2.44 Kg); en el volumen de 2 L el peso fresco total de la planta fue mayor con el uso de concentraciones de SN del 75 y 100% respecto a la de 50% (Cuadro 6.10).

Por efecto de la interacción poda*volumen, el peso fresco total de la planta varió de 1.17 a 3.58 kg al finalizar el experimento (138 ddt), en el volumen de 5 L al podar las plantas se obtuvo estadísticamente mayor peso respecto al mismo volumen sin podar (3.58 y 2.58 kg), en el contenedor de 2 L no hubo efecto significativo de la poda sobre el peso fresco total de las plantas, resultando estadísticamente menor respecto al volumen de 5 L (Cuadro 6.10).

Respecto al peso final de la planta se justifica que el mayor peso se allá encontrado en

plantas con poda, aunque las lecturas INV fueron menores lo que influyó fue el peso de los frutos en las plantas, como ya se discutió por el factor poda se obtuvieron frutos con mayor tamaño y peso.

Cuadro 6.10. Efecto de la poda, concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) y volumen de sustrato en las lecturas de índice normalizado de vegetación (INV) a los 53 días después del trasplante (ddt) y peso fresco total de la planta (kg) a los 138 ddt en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

Factores		INV	Peso total (kg)
Poda	Volumen (L)	53 ddt	138 ddt
Sin poda	5	0.80 a	2.58 b
Con poda	2	0.74 b	1.26 c
Sin poda	2	0.74 b	1.17 c
Con poda	5	0.72 b	3.58 a
DMSH		0.02769	0.35284

Concentración porcentual de la SN	Volumen (L)	INV	Peso total (kg)
		53 ddt	138 ddt
100	5	0.77 a	3.15 b
100	2	0.77 a	1.42 d
75	5	0.77 a	3.64 a
75	2	0.75 a	1.43 d
50	5	0.75 a	2.44 c
50	2	0.69 b	0.8 e
DMSH		0.03775	0.48106

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta).

6.4 Variables Fisiológicas

6.4.1 Lecturas INV

Las lecturas INV fueron afectadas por la concentración porcentual de la SN, al igual por las interacciones solución*volumen y poda*volumen (Cuadro 6.9).

Por efecto de la concentración porcentual de la SN en interacción con el volumen las lecturas INV a los 53 ddt, se observó que con la SN al 50% en un volumen de 2 L se obtuvo menores lecturas INV (0.69) respecto a las demás combinaciones que resultaron sin diferencias significativas, numéricamente se observó que el aumentar la CE en la solución favorece al incremento de las lecturas INV en tomate cherry determinado (Cuadro 6.10)

Por efecto de la poda y el volumen del contenedor, a los 53 ddt las lecturas INV en las plantas desarrolladas en contenedores de 5 L sin la labor de poda (0.80) fueron estadísticamente

mayores respecto a las demás combinaciones donde no hubo diferencias significativas (Cuadro 6.10).

Según Inman *et al.* (2005) y Lan *et al.* (2009) las lecturas INV ayudan a elaborar un diagnóstico rápido y dirigido sobre las condiciones nutrimentales (especialmente de nitrógeno), para conocer el estado fisiológico, la incidencia de estrés, y el rendimiento potencial de los cultivos. Basado en lo anterior, los datos obtenidos fueron los esperados ya que ya que encontramos mayor cobertura de la planta donde no se realizó la poda y con soluciones nutritivas con mayor concentración (aumento de N) pudiendo relacionarla con el área foliar de la planta; respecto al rendimiento se observó que las lecturas INV realizadas en este experimento tuvieron una relación con el aumento del número de frutos y rendimiento total, ya que las mayores lecturas INV coincide con el mejor rendimiento de frutos obtenidos en este experimento (plantas desarrolladas en contenedores de 5 L sin poda).

6.4.2 Lecturas SPAD

A los 31 ddt se encontró significancia por los factores de poda y volumen; a los 88 ddt la significancia ocurrió por la interacción poda*solución*volumen sobre las lecturas SPAD del tomate cherry determinado (Cuadro 6.25).

Cuadro 6.11. Análisis de varianza para lecturas SPAD a los 31 y 88 días después del trasplante (ddt) en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

Factores	Fc			
	31 ddt		88 ddt	
Poda	0.0068	**	0.2923	ns
Sustrato	0.515	ns	0.8907	ns
Solución	0.2762	ns	0.0237	*
Volumen	0.005	**	0.2173	ns
Poda*Sustrato	0.7901	ns	0.7575	ns
Poda*Solución	0.4614	ns	0.6929	ns
Poda*Volumen	0.9861	ns	0.1853	ns
Sustrato*Solución	0.7836	ns	0.1275	ns
Sustrato*Volumen	0.7837	ns	0.5733	ns
Solución*Volumen	0.3265	ns	0.7106	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.5147	ns	0.0545	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.2033	ns	0.2992	ns
Poda*Solución*Volumen	0.4978	ns	0.033	*
Sustrato*Solución*Volumen	0.575	ns	0.197	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.9373	ns	0.0646	ns
CV (%)	11.86		10.72	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01)
CV=coeficiente de variación.

El incremento de lecturas SPAD a los 31 ddt se encontró en plantas producidas en un contenedor de 2 L respecto al contenedor de 5 L, en el volumen del contenedor no hay efecto significativo por poda; numéricamente al podar las plantas aumentan las lecturas SPAD en ambos contenedores. Las plantas desarrolladas en contenedores de 2 L con poda las lecturas SPAD fueron estadísticamente mayores que si en contenedores de 5 L sin podar la planta: 49.58 y 45.34 respectivamente (Figura 6.12).

A los 88 ddt el incremento de las lecturas SPAD se encontró en plantas producidas en contenedores de 2 L y concentraciones de 75 y 100%, aunque las plantas con poda producidas en contenedores de 5 L con una SN al 75% se obtuvo la mayor lectura SPAD, con el mismo volumen y mismo sistema de poda con una solución al 50% es estadísticamente menor respecto a las mayores lecturas SPAD 52.31 y 43.24 (Cuadro 6.12).

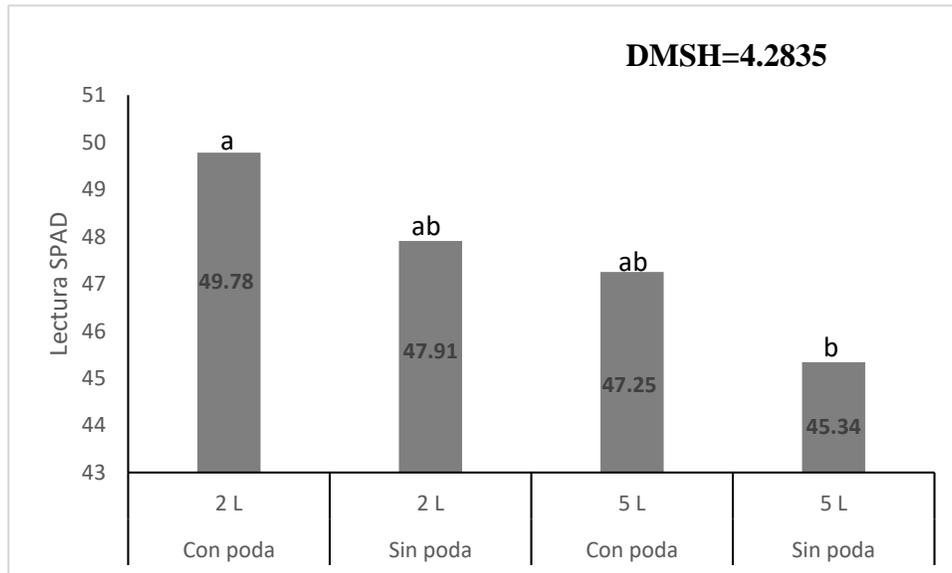


Figura 6.4. Efecto de la poda y volumen del contenedor en las lecturas SPAD a los 31 días después del trasplante en tomate cherry determinado (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Cuadro 6.12. Efecto de la poda, concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) y volumen de sustrato en lectura SPAD a los 88 días después del trasplante en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) cultivado en hidroponía.

F a c t o r e s				
Poda	Concentración porcentual de la SN	Volumen (L)	Lecturas SPAD	
Con poda	100	5	47.76 ab	
Sin poda	100	5	43.68 b	
Con poda	100	2	50.84 ab	
Sin poda	100	2	48.56 ab	
Con poda	75	5	52.31 a	
Sin poda	75	5	43.60 b	
Con poda	75	2	50.13 ab	
Sin poda	75	2	51.46 ab	
Con poda	50	5	43.24 b	
Sin poda	50	5	43.40 b	
Con poda	50	2	49.94 ab	
Sin poda	50	2	46.60 ab	
DMSH			8.62209	

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta).

El sustrato no influyó en las lecturas SPAD a los 31 y 88 ddt, lo cual coincide con lo reportado por Cruz-Crespo *et al.* (2012) donde evaluaron mezclas de tezontle con vermicompost y desechos orgánicos en la producción de tomate tipo bola, las lecturas SPAD no fueron significativas a los 40 y 70 ddt. Al igual con Valenzuela *et al.* (2014) donde al evaluar mezclas de sustrato humus de lombriz con fibra para la producción de tomate bola no obtuvieron significancia para lecturas SPAD a los 110, 116 y 150 ddt.

Por el efecto de la concentración porcentual de la SN, los datos obtenidos se asemejan a los reportados por Cruz-Crespo *et al.* (2012) y Valenzuela *et al.* (2014) donde obtuvieron mayores lecturas SPAD al incrementar la concentración de SN, ambos en tomate bola. Al respecto, Hawkins *et al.* (2009) y Fang *et al.* (2010) mencionan que las lecturas SPAD pueden ser utilizadas para monitorear el contenido de N en la hoja, por lo tanto, se puede decir que la presencia de mayor concentración de N por la SN en el medio de crecimiento coadyuva en el incremento de la concentración de N en la hoja.

6.5 Calidad del fruto

6.5.1 Conductividad eléctrica (CE) y pH

La CE del jugo del fruto mostró diferencias por los factores de poda, solución y volumen en diferentes interacciones entre ellas, la concentración porcentual de la SN fue altamente significativa como efecto simple. El pH del fruto fue afectado por el efecto de la concentración porcentual de la SN y por la interacción poda*volumen (Cuadro 6.13).

Cuadro 6.13. Análisis de varianza para la conductividad eléctrica (CE) y pH del jugo del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores	Fc			
	CE		pH	
Poda	0.9786	ns	0.5295	ns
Sustrato	0.9906	ns	0.3583	ns
Solución	<0.0001	**	0.0001	**
Volumen	0.1392	ns	0.5402	ns
Poda*Sustrato	0.2385	ns	0.8862	ns
Poda*Solución	0.0281	*	0.2371	ns
Poda*Volumen	0.1226	ns	<0.0001	**
Sustrato*Solución	0.6505	ns	0.5257	ns
Sustrato*Volumen	0.5593	ns	0.9003	ns
Solución*Volumen	0.0331	*	0.6501	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.1369	ns	0.2365	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.1151	ns	0.448	ns
Poda*Solución*Volumen	0.0394	*	0.1548	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.4	ns	0.596	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.4145	ns	0.5424	ns
CV (%)	9.48		1.7	

ns= no significativo (P>0.05) *= Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01) CV=coeficiente de variación.

Con una variación de 4.4 a 4.49 se observó que el pH aumenta en relación a la concentración de la SN; por efecto de la concentración porcentual de la SN al usar las concentraciones altas (75 y 100%) se obtuvo un mayor pH con una diferencia altamente significativa respecto a la de menor concentración ocupada en esta investigación (Cuadro 11).

La CE del fruto varió de 1.12 a 1.41 dS m⁻¹ por el efecto de la concentración de la SN (Cuadro 6.14); se observó al igual que en el pH, la CE del del fruto se relaciona con la concentración de la SN, a mayor CE en la SN mayor fue la CE de los de los frutos de tomate cherry.

Cuadro 6.14. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva en el pH y conductividad eléctrica (CE) de los frutos de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasifome) producidos en hidroponía.

Concentración porcentual de la SN	pH	CE (dS m ⁻¹)
50	4.4 b	1.12 c
75	4.45 a	1.28 b
100	4.49 a	1.41 a
DMSH	0.045	0.072

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, p<0.05). DMSH (diferencia mínima significativa honesta).

Por el efecto de la poda y el volumen, el pH de los frutos varió de 4.26 a 4.52, el mayor pH al igual de la CE se obtuvieron en los frutos producidos en contenedores de 2 L y sin podar la planta: 4.52 y 1.38 dS m⁻¹ respectivamente (Cuadro 6.15). La combinación anterior sobre el pH de los frutos fue estadísticamente diferente con el uso del mismo volumen de contenedor y con poda en la planta; en contraparte el efecto de la poda no influyó en el pH de los frutos producidos en los contenedores de 5 L. Se obtuvo una CE mayor en los frutos producidos en contenedores de 2 L respecto al de 5 L, el factor poda no tuvo efecto sobre la CE de los frutos producidos en dichos contenedores (Cuadro 6.15).

Cuadro 6.15. Efecto de la poda y volumen del contenedor en el pH y conductividad eléctrica (CE) de los frutos de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producidos en hidroponía.

Factores			
Poda	Volumen (L)	pH	CE (dS m ⁻¹)
Con poda	5	4.51 a	1.20 b
Sin poda	5	4.50 a	1.17 b
Con poda	2	4.26 b	1.34 a
Sin poda	2	4.52 a	1.38 a

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, p<0.05). DMSH (diferencia mínima significativa honesta).

Los datos obtenidos en esta investigación por efecto de la concentración de la SN sobre la CE de los frutos coinciden con Hao *et al.* (2000) donde observaron que un aumento de la CE de la solución nutritiva incrementa la concentración mineral en frutos de tomate. Por su parte, Tüzel *et*

al. (2003), no encontraron diferencias significativas en la CE del jugo del fruto de tomate para valores de 2 a 6 dS m⁻¹ en la solución nutritiva, contrastando con lo obtenido en esta investigación.

Los resultados obtenidos por el efecto de la concentración de la SN contrastan con lo reportado por Ramírez *et al.* (2011) donde al incrementar la concentración de K en la solución nutritiva el pH de los frutos de tomate hidropónico variedad Gabriela disminuyó. Por otra parte, Luna-Fletes *et al.* (2018) obtuvieron un mayor pH en los frutos en la solución con menor CE en tomate cherry sweet indeterminado, señalaron que la solución con mayor CE contenía NH₄⁺; en este sentido, Toor *et al.* (2006), reportaron frutos de tomate con menor pH en plantas cultivadas con soluciones donde predominó el NH₄⁺, mientras que cuando predominó el NO₃⁻ el pH fue mayor. El efecto de la poda sobre el pH del fruto producido en contenedores de 2 L contrasta con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018), donde al ralea la planta a menor cantidad de frutos, obtienen mayor pH en el jugo de tomate cherry sweet en el tercer y quinto racimo con una variación de 3.69 a 3.95. b

El menor pH de los frutos obtenidos en el presente experimento por efecto de la SN (4.40) fue mayor a los reportados por Crisanto *et al.* (2010), en 17 colectas silvestres de tomate cherry en el estado de Oaxaca (3.63 a 4.30) y esto puede ser debido a los diferentes medios de crecimiento y genética de los materiales vegetales usados en ambas investigaciones. El pH es una característica que se relaciona con la calidad organoléptica del tomate (Cebolla-Cornejo *et al.* 2011), para la industria se reporta que los frutos de tomate deben tener un pH de 4.4 (Hidalgo-González *et al.*, 1998), mientras que para tomate en fresco éste puede variar entre 4.17 a 4.59 (Cantwell, 2006), por el efecto de la poda, volumen de contenedor y concentración porcentual de la SN los frutos de tomate cherry determinado cumplen satisfactoriamente con los intervalos señalados.

6.5.2 Sólidos solubles totales (SST)

Los SST fueron afectados por la concentración porcentual de la SN, la interacción Poda*Sustrato*Volumen, al igual que la de Sustrato*Solución (Cuadro 6.16).

Cuadro 6.16. Análisis de varianza para sólidos solubles totales (SST) y porcentaje de acidez titulable (% de ácido cítrico) del jugo del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores	Fc			
	SST		Acidez titulable	
Poda	0.7345	ns	0.6634	ns
Sustrato	0.1582	ns	0.7612	ns
Solución	<0.0001	**	<0.0001	**
Volumen	0.1113	ns	0.3494	ns
Poda*Sustrato	0.2168	ns	0.0613	ns
Poda*Solución	0.1912	ns	0.2256	ns
Poda*Volumen	0.0543	ns	0.0052	*
Sustrato*Solución	0.0356	*	0.307	ns
Sustrato*Volumen	0.3006	ns	0.265	ns
Solución*Volumen	0.1043	ns	0.5328	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.3575	ns	0.2684	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.0486	*	0.8921	ns
Poda*Solución*Volumen	0.0909	ns	0.5167	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.5369	ns	0.9063	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.848	ns	0.9246	ns
CV (%)	8.45		12.29	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01)
CV=coeficiente de variación.

Por efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva, los °Brix presentaron diferencias significativas en las tres soluciones, con menor contenido de SST en la SN al 50%, que aumenta en relación al aumento de la CE de la solución empleada con °Brix que van de 6.58 a 8.21 (Figura 6.5). De acuerdo con Alcántar *et al.* (2013) las diferencias entre los resultados radican en la concentración de K en los fertilizantes, elemento que favorece la translocación de fotosintatos (entre ellos azúcares) desde las hojas hacia los órganos demandantes, en este caso los frutos; de tal modo que una nutrición suficiente de K genera una adecuada tasa de translocación que propicia mayor concentración de azúcares al fruto. Coutinho *et al.* (2014) mencionan que la mayor fertilización con P y K mejoran el contenido de SST del fruto, ya que participan en la síntesis, transporte y metabolismo de los azúcares de la planta.

Por efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato, los °Brix del jugo de tomate variaron de 6.41 a 8.5 (Cuadro 6.17.). Por poda y tipo de sustrato no se encontraron diferencias significativas para SST, determinando como efecto principal en dicha interacción el volumen de sustrato, ya que

los frutos producidos en contenedores de 2 L respecto a 5 L se obtuvieron significativamente mayores °Brix. Sin embargo, se observó que la poda y tipo de sustrato se comportaron diferente respecto al volumen de contenedor, con la conjunción de la poda y tezontle se obtuvo mayores contenidos de SST en el contenedor de 2 L (8.5); en contraparte, en el contenedor de 5 L, la combinación en la que se registró más SST (7.10) fue en los tomates producidos en la mezcla y sin podar la planta.

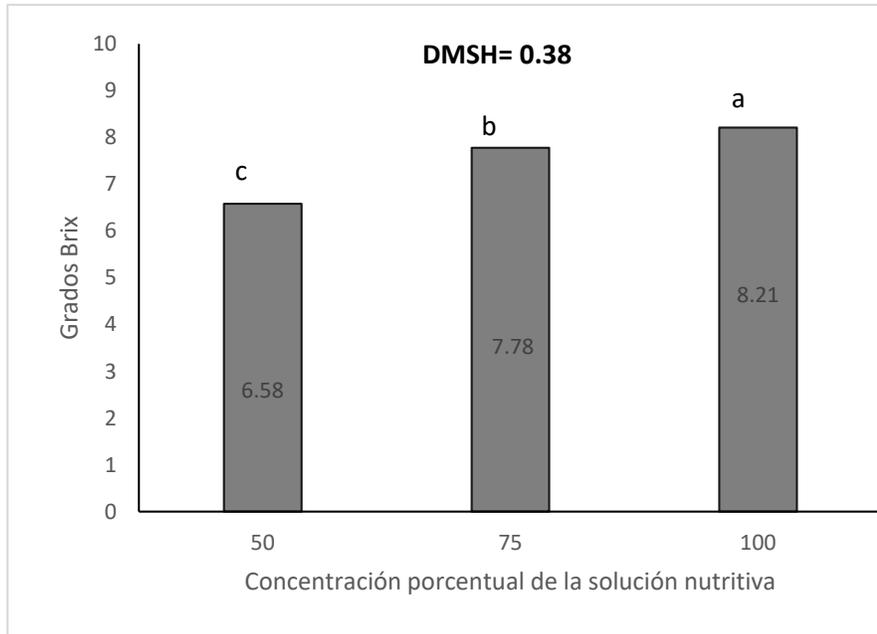


Figura 6.5. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva en los sólidos solubles totales (SST) expresado en Grados Brix (°Brix) del jugo del fruto de tomate cherry determinado (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.
DMSH) diferencia mínima significativa honesta.

Cuadro 6.17. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en los sólidos solubles totales (SST) expresado en Grados Brix (°Brix) del jugo del fruto de tomate (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores			
Poda	Sustrato	Volumen (L)	SST (°Brix)
Con poda	Tezontle	2	8.50 a
Sin poda	Tezontle	2	7.94 a
Con poda	Mezcla [§]	2	8.13 a
Sin poda	Mezcla	2	8.41 a
Con poda	Tezontle	5	6.41 b
Sin poda	Tezontle	5	6.88 b
Con poda	Mezcla	5	6.83 b
Sin poda	Mezcla	5	7.10 b
DMSH			0.81

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba =3:1).

Las diferencias por la concentración de la SN en los SST que se obtuvieron en este experimento coinciden con lo reportado por Luna-fletes *et al.* (2018) que, al comparar dos soluciones nutritivas en tomate cherry indeterminado, la de mayor CE obtuvo mayor contenido de SST: 5.44 a 6.61 °Brix. Por su parte, Espinosa-Palomeque *et al.* (2019) difieren, ya que al evaluar concentraciones porcentuales de la SN (75 y 100%) en tomate saladette no obtuvieron diferencias significativas en SST (4.77 a 5.04 °Brix). De acuerdo con lo reportado por Crisanto *et al.* (2010) los ° Brix obtenidos en este experimento coinciden con un grupo de colectas silvestres de tomate cherry del municipio de San Blas Atempa, Oaxaca.

Los SST en los frutos producidos en contenedores de 2 L con poda en la planta coincide con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018) donde obtienen mayores °Brix al ralea la planta a menor cantidad de frutos en tomate cherry sweet en el primer racimo (6.08 y 5.78 °Brix respectivamente). San Martin *et al.* (2012) no encontraron diferencias significativas al utilizar el tezontle con diferentes granulometrías, en la que obtienen valores que varían de 7.08 a 7.24 °Brix en tomate bola. En contraparte, Salas-Pérez *et al.* (2016) en tomate saladette reportan diferencias al usar mezclas porcentuales de composta de ganado y arena de río, obtuvieron °Brix que varían de 4 a 4.5. Dichos valores están por debajo del mayor contenido de SST que se obtuvieron en la presente investigación; ya que es factible encontrar mayores concentraciones de azúcares en los tomates tipo “Cherry” que, en otros, como concluyeron George *et al.* (2004). De acuerdo con Casierra y Aguilar (2008) quienes reportan que existe una variación en la acumulación de SST en los frutos, según el estado de desarrollo en el que se cosechan, que a su vez depende de la variedad

de tomate evaluada. Existen, por tanto, híbridos para los cuales el punto de corte no afecta esta característica, mientras que para otros sí es determinante.

6.5.3 Acidez titulable (AT)

La AT fue afectada por la concentración porcentual de la SN al igual por la interacción poda*volumen (Cuadro 6.16).

Por efecto de la concentración porcentual de la SN, la AT varió de 0.65 a 0.84% se observó que la AT aumenta en relación con el aumento de la CE de la SN empleada (Figura 6.6). De acuerdo con Cliff *et al.* (2012) este aumento se debe que con mayor CE en la solución nutritiva se presenta una reducción del potencial hídrico, lo cual disminuye el flujo de agua en la planta y provoca estrés hídrico; una respuesta de las plantas ante esta situación es la producción y acumulación de osmolitos orgánicos como azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) y ácidos orgánicos (cítrico, málico y ascórbico). En cuanto a la acumulación de ácido cítrico en fruto, se debe al balance de cargas que ocurre cuando el K es ingresado al citoplasma sin un ion acompañante como el NO_3^- (Bugarin *et al.*, 2002).

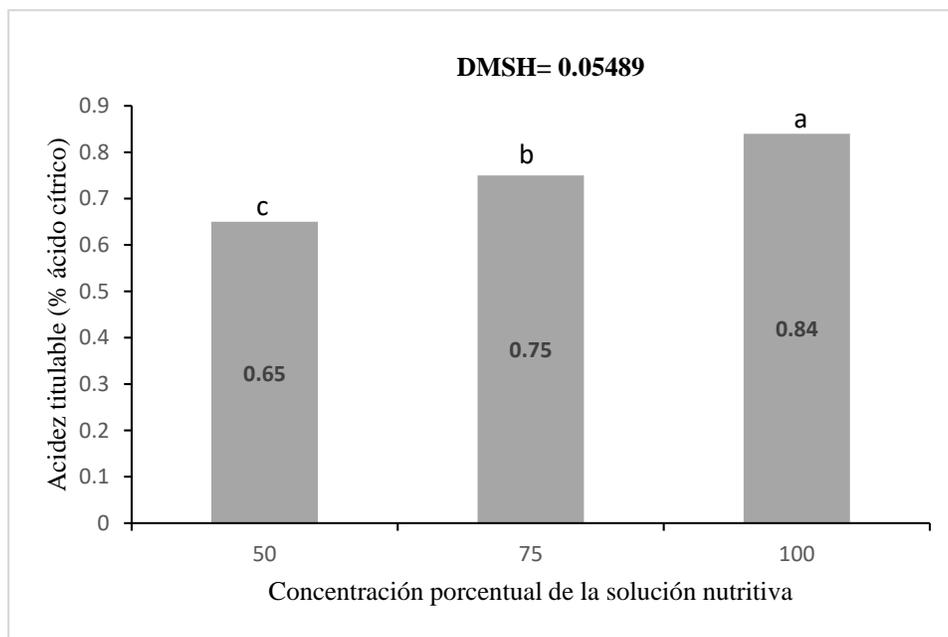


Figura 6.6. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en el porcentaje de acidez titulable (% de ácido cítrico) en el jugo del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía. DMSH) diferencia mínima significativa.

Por el efecto de volumen de contenedor, el porcentaje de ácido cítrico de frutos de tomate

cherry fue mayor cuando se produjeron en contenedores de 2 L, la poda no tuvo diferencias en este volumen, aunque numéricamente al podar las plantas la AT del fruto aumenta respecto al no realizar esta labor. En el volumen de 5 L podando las plantas, se obtuvo menor porcentaje de ácido cítrico respecto a las demás combinaciones (Cuadro 6.18).

Cuadro 6.18. Efecto de la poda y volumen del recipiente en el porcentaje de acidez titulable (% de ácido cítrico) del jugo del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores		Acidez titulable (Porcentaje de ácido cítrico)
Poda	Volumen (L)	
Con poda	5	0.66 b
Sin poda	5	0.75 a
Con poda	2	0.80 a
Sin poda	2	0.78 a
DMSH		0.069

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta).

Los datos obtenidos en esta investigación por el efecto de la concentración de la SN sobre la AT coinciden con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018) que, al comparar dos soluciones nutritivas en tomate cherry indeterminado, la de mayor CE obtuvo mayor AT (0.65 fue su máximo valor). Por su parte Crisanto *et al.* (2010) reportan en tomates cherry silvestres de Oaxaca que la AT varió de 0.32 a 1.45. San Martín *et al.* (2012) en un tomate híbrido comercial reportan valores promedio de 0.59 de AT, lo que coincide con los datos obtenidos en la presente investigación.

Por el efecto de la poda, la AT de los frutos producidos en contenedores de 2 L los datos obtenidos coinciden con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018), donde a menor cantidad de frutos en una planta de tomate cherry de manejo indeterminado la AT es mayor respecto a una planta con más frutos. Por otra parte, Rodríguez-Mendoza *et al.* (2015) difieren, dado que no encontraron diferencias para AT en frutos de tomate costilla al comparar plantas con raleo a siete frutos por racimo y plantas sin raleo.

6.5.4 Índice de maduración (IM)

La variable IM tuvo efecto por la interacción poda*sustrato (Cuadro 6.19). En la presente investigación se obtuvieron valores de IM que van de 9.53 a 10.5 (Cuadro 6.20), la combinación con mayor valor de IM fue en los frutos producidos en sustrato mezcla y sin poda de la planta

(10.5); el sustrato fue el factor el que marcó la principal diferencia con relación a la poda, ya que, al usar tezontle sin podar la planta, se obtuvo la única diferencia significativa en esta variable.

Cuadro 6.19. Análisis de varianza para la variable de índice de maduración del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores	Fc	
Poda	0.5699	ns
Sustrato	0.1915	ns
Solución	0.2768	ns
Volumen	0.2872	ns
Poda*Sustrato	0.0145	*
Poda*Solución	0.0915	ns
Poda*Volumen	0.1719	ns
Sustrato*Solución	0.5053	ns
Sustrato*Volumen	0.6088	ns
Solución*Volumen	0.6104	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.7918	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.2269	ns
Poda*Solución*Volumen	0.2644	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.559	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.7385	ns
CV (%)	12.88	

ns= no significativo ($P>0.05$) *= Significativo ($P>0.01$ y $P\leq 0.05$) **=altamente significativo ($P\leq 0.01$) CV=coeficiente de variación.

La poda no generó diferencias significativas, aunque con el tezontle como sustrato se obtuvo un valor mayor de IM que usando la mezcla con valores de 10.49 y 10.17 respectivamente (Cuadro 6.20). En el caso de la concentración de la SN y el volumen de contenedor, dichos factores no afectan el índice de maduración del fruto del tomate cherry. Los presentes datos están cercanos a los reportados por San Martín *et al.* (2012) en un tomate híbrido de comportamiento indeterminado, al comparar diferentes granulometrías de tezontle como sustrato de cultivo, con valores de 10.84 a 11.98 de IM. En contraparte, de la Rosa *et al.* (2016) en un tomate saladette de comportamiento indeterminado, reportan valores que variaron entre 16.2 y 34.6 con una media de 26.7 y 25.7 de IM bajo crecimiento en sistema abierto y cerrado, respectivamente; al ser una relación entre dos variables de calidad, en este caso se vio afectado directamente por la variable SST debido a sus valores altos.

Cuadro 6.20. Efecto de la poda y tipo de sustrato en el índice de maduración del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv.cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores		Índice de maduración del fruto
Poda	Sustrato	
Con poda	Tezontle	10.49 ab
Con poda	Mezcla [§]	10.17 ab
Sin poda	Tezontle	9.53 b
Sin poda	Mezcla	10.50 a
DMSH		0.995

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba =3:1).

La relación SST/AT que representa al IM, es un índice útil para indicar el sabor de los frutos de tomate y da más información que tener por separado a los parámetros de SST y AT (Gómez y Camelo, 2002; Ilić *et al.*, 2015). El intervalo óptimo del IM va de 12 a 18 (Bugarín *et al.*, 2002). Los valores obtenidos en la presente investigación no cumplen con este intervalo ya que se reportan valores de 10.5 hacia abajo, esto se le atribuye que los valores altos de AT que se obtuvieron en esta investigación, superaron la AT de frutos de tomate híbrido y algunos cherrys silvestres, se determina que el sabor del fruto de tomate cherry determinado se relaciona con sabores ácidos por los valores de IM obtenidos. Por otra parte, Kader *et al.* (1978) mencionan que cuando el IM es mayor a 10, los frutos de tomate son considerados de mejor calidad, bajo esta propuesta, sólo los tomates que se desarrollaron en tezontle y sin podar no superan el mínimo considerado.

6.5.5 Firmeza del fruto

Los resultados de firmeza de los frutos de tomate cherry fueron afectados por la interacción poda*volumen y el tipo de sustrato en las cuales hubo diferencias estadísticas (Cuadro 6.21). La firmeza del tomate cherry fue determinado por la poda y el volumen de contenedor donde se produjeron, la cual varió de 5.07 a 6.35 N; con la combinación del contenedor de 5 L y la poda fue donde se obtuvo estadísticamente mayor firmeza (6.35 N) respecto a las demás combinaciones; aunque estadísticamente no hubo diferencias, en los frutos producidos en contenedores de 2 L con o sin poda de planta, numéricamente se obtuvo mayor firmeza respecto a los producidos en contenedores de 5 L sin podar (Figura 6.7).

Cuadro 6.21. Análisis de varianza a la variable de contenido de licopeno y firmeza en el fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores	Fc			
	Licopeno		Firmeza	
Poda	0.7855	ns	0.6714	Ns
Sustrato	0.2067	ns	0.0218	*
Solución	0.0313	*	0.3786	Ns
Volumen	0.3708	ns	0.7888	Ns
Poda*Sustrato	0.3796	ns	0.6927	Ns
Poda*Solución	0.3014	ns	0.3075	Ns
Poda*Volumen	0.4845	ns	<0.0001	**
Sustrato*Solución	0.3571	ns	0.7564	Ns
Sustrato*Volumen	0.7609	ns	0.3525	Ns
Solución*Volumen	0.75	ns	0.3402	Ns
Poda*Sustrato*Solución	0.3196	ns	0.1019	Ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.1825	ns	0.3234	Ns
Poda*Solución*Volumen	0.1386	ns	0.8778	Ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.2086	ns	0.0792	Ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.3808	ns	0.5265	Ns
CV (%)	6.56		13.5	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01)
CV=coeficiente de variación.

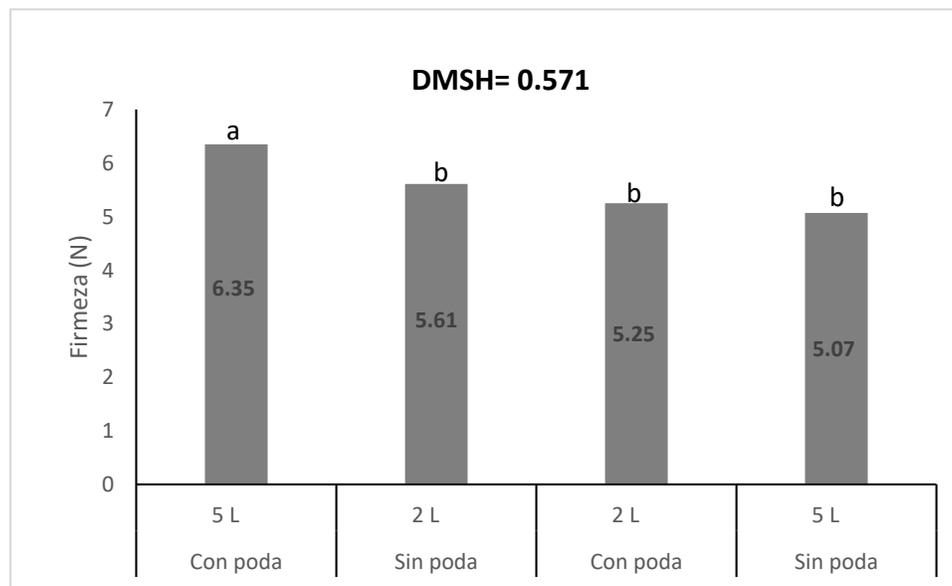


Figura 6.7. Efecto de la poda y volumen del contenedor en la firmeza del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Por el efecto de tipo de sustrato, la firmeza del fruto fue mayor al utilizar como sustrato el tezontle respecto a la mezcla 5.75 y 5.39 N (Figura 6.8). Según Mizrahi (1982) la firmeza es

afectada por la salinidad debido a una mayor actividad de las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular, al respecto Cuartero y Fernández-Muñoz (1999), la firmeza del fruto de tomate disminuye sólo cuando existen niveles altos de salinidad en la zona raíz (más de 10 dS m^{-1}). En los sustratos utilizados en el experimento ninguno supera este valor, con lo que se contó con condiciones ideales de salinidad para que los frutos no perdieran firmeza. Según Ehret y Ho (1986), cuando las plantas de tomate son expuestas a alta salinidad hay una reducción en la translocación de Ca a los frutos y éstos presentan niveles deficitarios de este nutrimento. Al analizar los sustratos al final del ciclo productivo se observó que la mezcla presentó mayor CE respecto al tezontle, lo que pudo haber ocasionado deficiencias de Ca, reflejada en la pared celular del fruto con menor firmeza en los frutos desarrollados en la mezcla como sustrato de cultivo.

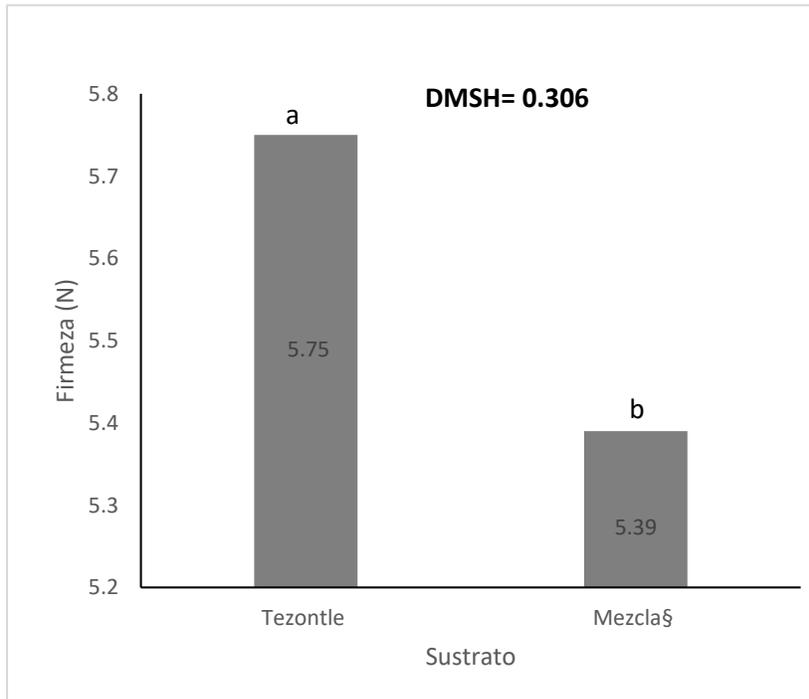


Figura 6.8. Efecto del tipo de sustrato en la firmeza del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. *cerasiforme*) producido en hidroponía.

DMSH= diferencia mínima significativa honesta; §mezcla (tezontle: turba = 3:1).

El ablandamiento de los frutos se debe a que durante la maduración actúan enzimas como las celulasas, pectinesterasas y poligalacturonasas, siendo esta última la principal causante del ablandamiento, ya que su contenido se incrementa durante la maduración y se ha reportado que su expresión presenta una correlación negativa con la firmeza de los frutos (Gómez y Camelo, 2002, Vela-Hinojosa *et al.*, 2018). La firmeza del fruto también se afecta por la transpiración, la cual

ocasiona que éste pierda agua y, al no tener una fuente de suministro (planta madre), pierde turgencia y firmeza (Arias *et al.*, 2000; Villarreal-Romero *et al.*, 2002). Por su parte, González-Céspedes *et al.* (2004) mencionan que la firmeza de la pulpa del tomate disminuye desde el estado de verde-maduro al rojo maduro, y que esta disminución en la firmeza de los tejidos es una consecuencia de la maduración del fruto. Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) reportan que los frutos de tomate pequeños, como el cereza, generalmente presentan menor firmeza con un promedio de 0.69 N, al respecto Pérez y Coto (2019) reportan diferencias significativas a la firmeza del fruto entre tipos de tomate, con la menor firmeza para el ‘cherry’ (21.34 N), valores intermedios para los tipos uva y cocktail (entre 32.98 y 35.18 N), y con la mayor firmeza para el tipo gordo (47.13 N). La firmeza de los frutos producidos en contenedores de 5 L con poda en la planta, coincide con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018) donde al ralear los frutos de tomate cherry indeterminado obtuvieron mayor firmeza en cinco cortes realizados en tomate cherry indeterminado.

De acuerdo con Batu (2004), señala que los frutos de tomate 100% comercializables deben presentar una firmeza de 1.45 N y en la etapa de uso doméstico mayor de 1.28 N. La firmeza de los frutos de tomate cherry determinado obtenidos por los efectos de poda, volumen y tipo de sustrato cumplen con los rangos sugeridos tanto para su comercialización como para el uso doméstico. En la presente investigación la toma de datos de firmeza se realizó en fresco y en un mismo estadio de maduración para todos los tratamientos procurando la homogeneidad en la variable.

6.5.6 Contenido de licopeno

El contenido de licopeno (mg/100 g) en los frutos de tomate cherry determinado fue afectado por la concentración porcentual de la SN (Cuadro 6.21). En el fruto de tomate cherry obtuvimos una variación en el contenido de licopeno por efecto de la concentración porcentual de la SN de 19.41 a 20.29 mg/100 g. El mayor contenido de licopeno se obtuvo en aquellos frutos que se produjeron en plantas expuestas a una SN con mayor CE; en relación con la de menor CE, hubo diferencias significativas. Con el uso de una SN al 75% no hubo diferencias para el contenido de licopeno en frutos de tomate cherry respecto al uso de las demás soluciones nutritivas (Figura 6.9).

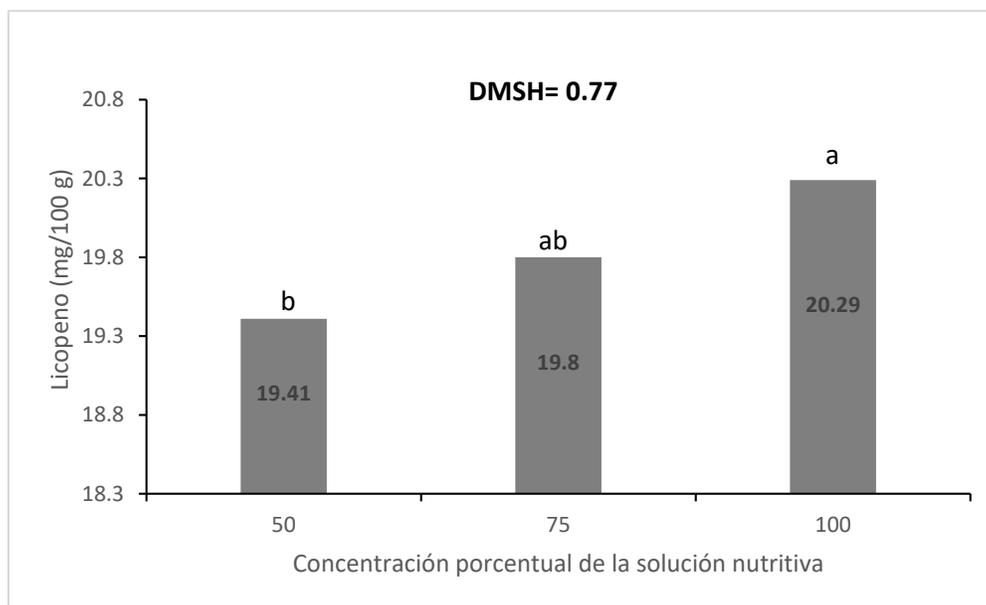


Figura 6.9. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva en el contenido de licopeno (mg/100 g) del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Los datos obtenidos en esta investigación fueron aproximados a los mayores contenidos en fase húmeda reportados por Crisanto *et al.* (2010) en colectas silvestres de tomate cherry del estado de Oaxaca. El efecto de la SN sobre el contenido de licopeno en tomate cherry determinado coincide con lo reportado por Gallegos (2012), donde los tratamientos que presentaron mayor contenido de licopeno fueron aquellos producidos con SN de menor potencial osmótico (-0.096 MPa) además, obtuvo mayor contenido de licopeno en tomates cherry en comparación con saladette y bola. Al igual, Juárez *et al.* (2011) observaron un incremento de 17.6% en la concentración de licopeno por cada 1 dS m⁻¹ aplicado, al evaluar el efecto de la CE de 1, 1.5 y 2 dS m⁻¹ en genotipos nativos tipo cherry. Este incremento según Ramírez *et al.* (2009) se debe a la concentración de K en la solución nutritiva, ya que mejora la calidad del tomate, favorece la síntesis de carotenoides e incrementa la concentración de licopeno y de β-caroteno. Por su parte, Pérez-Espinoza *et al.* (2017) determinaron incrementos en el contenido de licopeno con la adición de fertilizantes foliares formulados a base de K, logrando un incremento en aquellos cuya concentración de tal catión fue mayor.

En por efecto de los demás factores evaluados no hubo diferencias significativas; por el tipo de sustrato sobre el contenido de licopeno obtenidos en esta investigación coincide con lo reportado por Salas-Pérez *et al.* (2016) quienes no encontraron diferencias en el contenido de

licopeno de tomate saladette indeterminado producidos en mezclas porcentuales entre composta de ganado bovino y arena de río.

De acuerdo con Raffo *et al.* (2002), entre variedades de tomate encuentran diferencias en la concentración de licopeno, el contenido de este compuesto puede ser incrementado por las condiciones ambientales, las prácticas agrícolas y la nutrición de las plantas. La concentración de licopeno en el fruto está relacionada con la maduración; debido al aumento de dicho carotenoide y disminución de la clorofila al pasar el fruto de verde a rojo (Bramley, 2002); a lo que Arias *et al.* (2000) analizaron el contenido de licopeno (mg/100 g) en tomates provenientes de cultivos hidropónicos en diferentes etapas de maduración y encontraron para la etapa verde un promedio de 0.116 mg; para la amarilla 1.445 mg; para la naranja 3.406 mg; para ligeramente rojo 4.95 mg; para rojo intenso suave el promedio fue 11.996 mg y para la maduración rojo intenso firme encontraron la mayor concentración con 12.2 mg. Estudios reportan el contenido de licopeno como una característica química intrínseca del fruto de tomate debido a su composición en carotenoides (Periago *et al.*; 2001). Teniendo en cuenta esta relación, las pocas diferencias obtenidas en este experimento se adjudica a que los frutos evaluados fueron de un mismo cultivar y se cortaron en un mismo estadio de maduración; la determinación del contenido de licopeno se realizó con un método indirecto (colorimetría) lo que influyó en contenidos con poca variación.

6.5.7 Diámetro ecuatorial y polar del fruto

El diámetro ecuatorial del fruto fue afectado por la interacción poda*volumen y por la concentración de la SN; el diámetro polar fue afectado por la interacción sustrato*solución*volumen que fue la de más alto orden, al igual mostró efecto sobre los frutos la interacción poda*sustrato*volumen (Cuadro 6.22).

Cuadro 6.22. Análisis de varianza para el diámetro ecuatorial y polar (mm) del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores	Fc			
	Diámetro ecuatorial		Diámetro Polar	
Poda	0.2822	ns	0.2549	ns
Sustrato	0.1873	ns	0.1583	ns
Solución	0.0365	*	0.0126	*
Volumen	0.3664	ns	0.369	ns
Poda*Sustrato	0.2367	ns	0.8285	ns
Poda*Solución	0.4699	ns	0.2683	ns
Poda*Volumen	<0.0001	**	0.0008	**
Sustrato*Solución	0.8095	ns	0.6856	ns
Sustrato*Volumen	0.5634	ns	0.3484	ns
Solución*Volumen	0.8349	ns	0.88	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.0984	ns	0.2385	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.3166	ns	0.0082	**
Poda*Solución*Volumen	0.9242	ns	0.2535	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.1517	ns	0.0259	*
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.0723	ns	0.1015	ns
CV (%)	5.2		5.13	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01)
CV=coeficiente de variación.

La poda en la planta influyó en el diámetro ecuatorial y polar de los frutos de tomate cherry, ya que se encontraron diferencias significativas al usar este factor en ambos contenedores; los frutos producidos en contenedores de 5 L obtuvieron mayores diámetros respecto al volumen de 2 L; se observó que los frutos desarrollados en contenedores de 5 L sin poda de planta, no tuvieron diferencias significativas de diámetros tanto ecuatorial como polar respecto al producir frutos en contenedores de 2 L con o sin poda de planta (Cuadro. 23).

Por efecto de la concentración de la SN el diámetro ecuatorial y polar de los frutos fue mayor cuando las plantas fueron expuestas a una SN del 50% (Figura 6.10) El diámetro ecuatorial varió de 26.94 a 27.79 mm, con una solución nutritiva del 50% los frutos presentaron 3% mayor diámetro respecto a la solución más concentrada (100%), la SN al 75% no mostró diferencias significativas respecto a la concentración baja y alta (50 y 100%). El diámetro polar varió de 22.01 a 22.88 mm, con una solución nutritiva del 50% los frutos presentaron 3.8 % mayor diámetro respecto al uso de una SN al 75% de concentración; la SN al 100% no mostró diferencias significativas respecto al uso de las demás soluciones (Figura 10.).

Cuadro 6.23. Efecto de la poda y volumen del sustrato en el diámetro ecuatorial y polar del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv.cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores			
Poda	Volumen	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)
Con poda	5 L	30.87 a	24.42 a
Con poda	2 L	26.91 b	22.34 b
Sin poda	5 L	26.03 bc	21.65 bc
Sin poda	2 L	25.19 c	21.21 c
DMSH		1.0753	0.8724

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta).

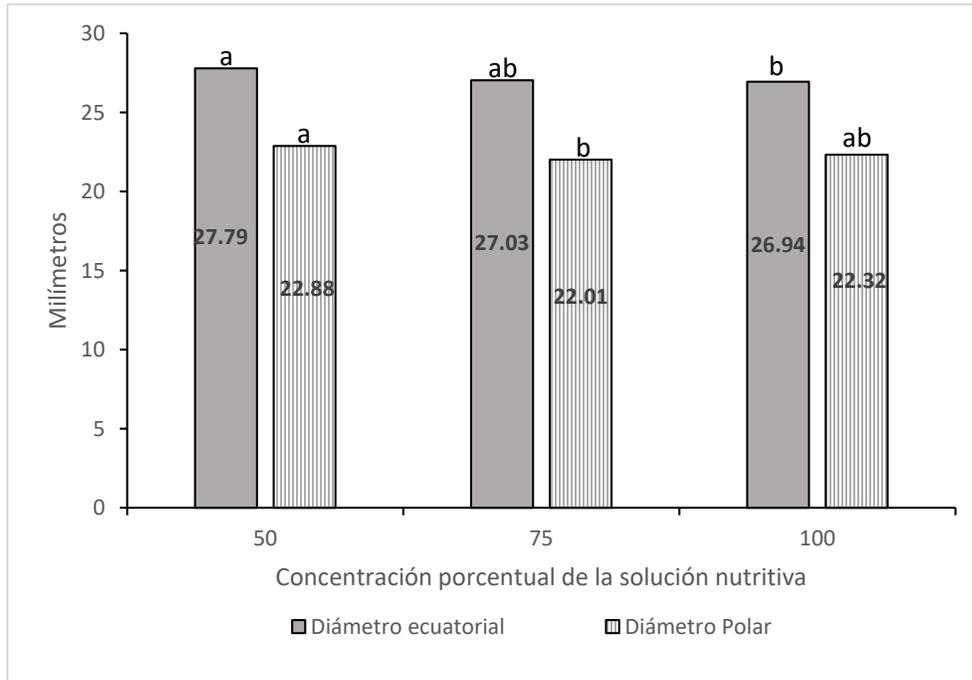


Figura 6.10. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en el diámetro ecuatorial y polar (mm) del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

DMSH= diferencia mínima significativa honesta. DMSH: diámetro ecuatorial= 0.84741; diámetro polar= 0.68751.

Por efecto del tipo de sustrato al interactuar con la poda y volumen se observó que el diámetro polar aumentó fue en los frutos producidos en tezontle en un volumen de 5 L con poda de planta. Con contenedores de 2 L el mayor diámetro fue al usar la mezcla como sustrato de cultivo (Cuadro 6.24).

Cuadro 6.24. Efecto de la poda, tipo y volumen de sustrato en el diámetro polar del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. *cerasiforme*) producido en hidroponía.

Factores			
Poda	Sustrato	Volumen (L)	Diámetro polar (mm)
Con poda	Tezontle	5	25.04 a
Sin poda	Tezontle	5	21.58 cd
Con poda	Mezcla [§]	5	23.80 ab
Sin poda	Mezcla	5	21.72 cd
Con poda	Tezontle	2	22.10 cd
Sin poda	Tezontle	2	21.56 cd
Con poda	Mezcla	2	22.57 bc
Sin poda	Mezcla	2	20.86 d

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba = 3:1).

Los datos obtenidos por efecto de la SN en esta investigación coinciden con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018) en tomate cherry sweet indeterminado, donde obtuvieron un incremento del 3% en el diámetro ecuatorial al ocupar diferentes soluciones nutritivas, en la menor concentración de la solución el diámetro fue mayor. En contraparte, Valenzuela *et al.* (2014) en tomate tipo bola obtuvieron que a mayor incremento de la concentración de la solución nutritiva (25, 50 y 100%) produjeron frutos con mejor diámetro polar; Luna-Fletes *et al.* (2018) no encontraron diferencias en el diámetro polar en tomate cherry indeterminado al comparar dos soluciones nutritivas con diferente CE. El decremento del tamaño de fruto se atribuyó a la mayor cantidad de nitrógeno que aportó la solución nutritiva más concentrada, lo cual permitió un mayor desarrollo vegetativo, y por consecuencia pudo haber ocasionado una disminución en el tamaño de los frutos, al respecto San Martín *et al.* (2012) mencionan que alta CE puede reducir el tamaño de frutos, debido a la menor disponibilidad y absorción de agua para las plantas, y a trastornos nutricionales inducidos por la salinidad, asociados con la absorción excesiva de nutrientes, lo que provoca un desequilibrio nutricional.

De acuerdo con Samperio (2005), al podar se elimina el número de tallos productivos y por lo tanto la cantidad de frutos por planta, pero a cambio se obtiene una mayor precocidad, frutos más grandes y con mejor cuajado y mayor calidad. El efecto del raleo de frutos sobre el diámetro ecuatorial lo reportan diversos autores, quienes señalan incrementos de éstos a menor número de frutos por racimo, dado que los fotoasimilados se distribuyen entre menos frutos (Gaytán *et al.*, 2016; Rodríguez-Mendoza *et al.*, 2015; Velasco *et al.*, 2011). Bajo esta propuesta, en tomate cherry

determinado se obtuvieron mayores diámetros por el efecto de la poda que influyó en el diámetro polar y ecuatorial, lo que coincide con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018) para tomate cherry sweet de crecimiento indeterminado cultivado en suelo obtuvieron un intervalo de 33.28 a 34.86 mm en el diámetro ecuatorial, el mayor diámetro ocurrió cuando ralearon la planta. En contraparte, Ponce-Valerio *et al.* (2011) al comparar plantas con poda y sin poda en tomate de cáscara, no encontraron diferencias en el diámetro tanto ecuatorial como polar.

Por efecto del tipo de sustrato en los contenedores de 2 sobre el diámetro polar, los datos se asemejan a los obtenidos por Valenzuela *et al.* (2014) en la evaluación de mezclas de sustrato con humus de lombriz y fibra de coco en tomate bola, el aumento de diámetro polar y ecuatorial ocurrió en la mezcla 50:50.

6.5.8 Pérdida de peso del fruto (PPF)

En los resultados de PPF de los frutos de tomate cherry, se observó que la interacción sustrato*solución a los 3, 7, 10 y 14 días después del corte (ddc) fue significativa, al igual la interacción poda*sustrato*solución y poda*volumen a los 7 y 10 ddc (Cuadro 6.25).

Por efecto de la mezcla con la solución al 75% numéricamente hubo menor pérdida de peso a los 3 y 7 ddc, al ocupar el mismo sustrato con una solución al 50% se obtuvo la mayor pérdida de peso a los 3 ddc, a los 7 ddc en tezontle con una solución al 75% se registró la mayor PPF (Cuadro 6.26).

Cuadro 6.25. Análisis de varianza (Fc) para la pérdida de peso (%) del fruto a los 3, 7, 9 y 10 días después del corte del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores	Días después del corte del fruto							
	3		7		10		14	
Poda	0.6465	ns	0.9873	ns	0.7931	ns	0.7119	ns
Sustrato	0.4429	ns	0.101	ns	0.3134	ns	0.4854	ns
Solución	0.8135	ns	0.9472	ns	0.7276	ns	0.5974	ns
Volumen	0.5074	ns	0.2949	ns	0.4151	ns	0.6404	ns
Poda*Sustrato	0.8702	ns	0.9437	ns	0.8034	ns	0.8764	ns
Poda*Solución	0.3895	ns	0.1749	ns	0.2569	ns	0.39	ns
Poda*Volumen	0.1421	ns	0.0742	ns	0.0405	*	0.0514	ns
Sustrato*Solución	0.0397	*	0.0109	*	0.0391	*	0.0199	*
Sustrato*Volumen	0.113	ns	0.5348	ns	0.697	ns	0.898	ns
Solución*Volumen	0.6789	ns	0.8491	ns	0.9223	ns	0.3268	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.1849	ns	0.0361	*	0.1249	ns	0.2764	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.1714	ns	0.1272	ns	0.5745	ns	0.9713	ns
Poda*Solución*Volumen	0.7463	ns	0.4039	ns	0.399	ns	0.5459	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.0934	ns	0.3501	ns	0.0914	ns	0.2534	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.5518	ns	0.3283	ns	0.2893	ns	0.3204	ns
CV (%)	26.51		17.44		18.71		21.4	

ns= no significativo ($P>0.05$) * = Significativo ($P>0.01$ y $P\leq 0.05$) **=altamente significativo ($P\leq 0.01$) CV= coeficiente de variación.

A los 10 ddc los frutos crecidos en tezontle con la solución al 50% presentaron la menor pérdida de peso y cuando crecieron con una solución al 75% se obtuvo la mayor PPF (14.30 y 16.59% respectivamente) (Cuadro 6.26). La significancia en la interacción poda*volumen a los 10 ddc mostró diferencias estadísticas con una variación de 14.07 a 16.87%, al utilizar el contenedor de 2 L, la pérdida de peso fue menor, aunque la poda estadísticamente no influye en este volumen, numéricamente al no podar hay menor pérdida de peso. Sin poda la PPF es mayor en el contenedor de 5 L respecto al de 2 L, al podar la planta tanto en 2 como en 5 L la PPF es estadísticamente igual a las demás combinaciones a los 10 ddc (Figura 6.11). En el volumen de 5 L la influencia de la poda se asemeja a lo reportado por Luna *et al.* (2018) donde al ralea los racimos a 12 frutos presentaron mayor vida de anaquel con superioridad estadística respecto a las plantas con 16 frutos por racimo en tomate cherry indeterminado.

Dado que la pérdida de peso es acumulativa se observó que a medida que aumentó el periodo de almacenamiento hubo mayor pérdida de peso, según De-Castro *et al.* (2006) la pérdida de peso es linealmente proporcional tanto al tiempo como a la temperatura de almacenamiento; a los 14 ddc numéricamente la mayor PP en tomate cherry determinado se obtuvo en el tezontle con

una solución al 75% (22.8%) con el mismo sustrato con una solución al 50% la PP fue menor (18.71%). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Luna-Fletes *et al.* (2018) donde la pérdida de peso fue mayor con la solución nutritiva con mayor CE conforme transcurrió el tiempo en tomate cherry indeterminado.

Cuadro 6.26. Efecto del tipo de sustrato y concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) en la pérdida de peso (%) del fruto a los 3, 7, 10 y 14 días después del corte en tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores		Días después del corte de fruto			
Sustrato	Concentración porcentual de la SN	3	7	10	14
Tezontle	100	5.57 a	11.61 a	15.79 a	21.42 a
Mezcla [§]	100	5.00 a	10.64 a	14.50 a	20.58 a
Tezontle	75	5.61 a	11.96 a	16.59 a	22.88 a
Mezcla	75	4.71 a	9.99 a	14.59 a	19.17 a
Tezontle	50	4.98 a	10.59 a	14.30 a	18.71 a
Mezcla	50	5.79 a	11.56 a	15.82 a	21.36 a
DMSH		1.448	1.996	2.955	4.582

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba = 3:1).

La pérdida de peso tiene un gran impacto en la calidad del fruto. En frutos de tomate la causa principal es la pérdida de agua a través del pedúnculo (Bouzo y Gariglio, 2016). El porcentaje de pérdida de peso del fruto no debe de exceder 7% de su peso original para su comercialización (Navarro-López *et al.*, 2012); la PP en tomate cherry determinado que no excede el porcentaje sugerido sólo se obtuvo a los 3 ddc, esto difiere con los datos obtenidos por de la Rosa *et al.* (2016), donde después de 21 ddc los frutos en promedio pierden 2.21% por semana en tomate tipo saladette; esta diferencia se pudiera deber según lo propuesto por Bouzo y Gariglio (2016), donde generalmente la PP es mayor en frutos pequeños, debido a que tienen una mayor área expuesta con respecto a su volumen.

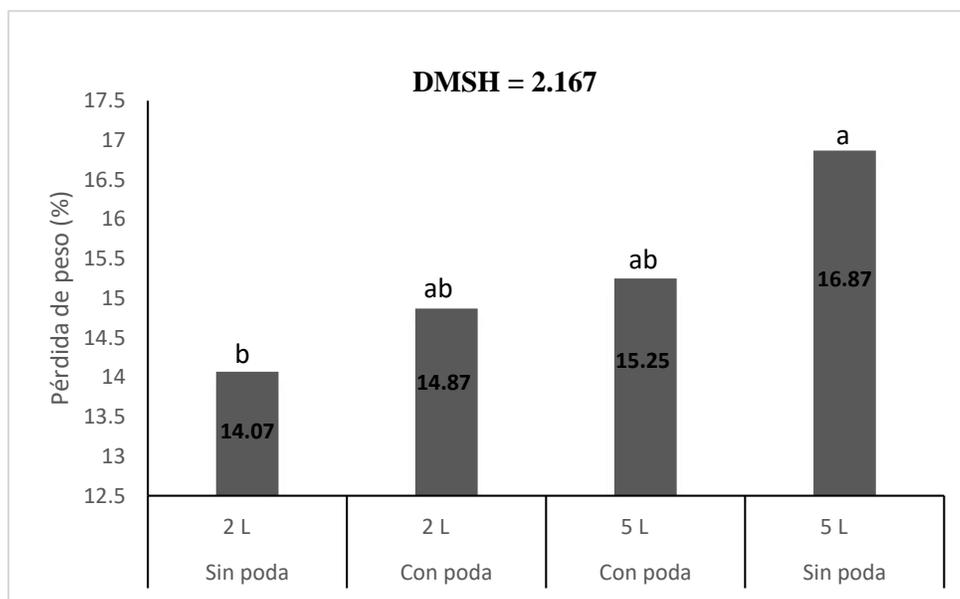


Figura 6.11. Efecto de la poda y el volumen del contenedor en la pérdida de peso (%) a los 10 días después de la cosecha del fruto de tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

6.6 Rendimiento

El rendimiento de tomate cherry fue significativamente afectado ($P \leq 0.01$) por la concentración porcentual de la solución de la SN y la interacción poda*volumen, al igual que la interacciones poda*sustrato*volumen y poda*sustrato en el peso total y el total de frutos respectivamente (Cuadro 6.27).

La reducción de la CE en la SN provocó un aumento en rendimiento (peso total, número de frutos totales y peso promedio de fruto); la disminución de concentración (de 75 a 50%) provocó un aumento del 24.1% en el peso total (rendimiento), del 14.9% y 13.09% en el número de frutos totales y peso promedio del fruto respectivamente. Sin embargo, el rendimiento total de frutos obtenido en las plantas expuestas a SN al 75% (1237.87 g/planta) no mostró diferencia estadística con el obtenido con una concentración al 100% (1119.85 g/planta) al igual que en número de frutos totales y peso promedio del fruto (Cuadro 6.28).

Cuadro 6.27. Análisis de varianza para el rendimiento del tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores	Fc					
	Peso total de frutos		Número de frutos totales		Peso promedio de un fruto	
Poda	0.4851	ns	0.4377	ns	0.3537	ns
Sustrato	0.1203	ns	0.035	*	0.8954	ns
Solución	<0.0001	**	0.0001	**	0.0002	**
Volumen	0.6529	ns	0.752	ns	0.4903	ns
Poda*Sustrato	0.0883	ns	0.0463	*	0.9304	ns
Poda*Solución	0.1987	ns	0.2067	ns	0.5951	ns
Poda*Volumen	<0.0001	**	<0.0001	**	<0.0001	**
Sustrato*Solución	0.087	ns	0.2926	ns	0.485	ns
Sustrato*Volumen	0.6818	ns	0.8774	ns	0.5085	ns
Solución*Volumen	0.8357	ns	0.8294	ns	0.4077	ns
Poda*Sustrato*Solución	0.4669	ns	0.7954	ns	0.5851	ns
Poda*Sustrato*Volumen	0.013	*	0.051	ns	0.3537	ns
Poda*Solución*Volumen	0.9897	ns	0.9262	ns	0.5263	ns
Sustrato*Solución*Volumen	0.0744	ns	0.1065	ns	0.8202	ns
Poda*Sustrato*Solución*Volumen	0.7674	ns	0.8548	ns	0.3684	ns
CV (%)	25.42		21.7		14.21	

ns= no significativo (P>0.05) * = Significativo (P>0.01 y P≤0.05) **=altamente significativo (P≤0.01) CV=coeficiente de variación.

Por la interacción poda*volumen se observó que al no podar la planta se obtuvo mayor rendimiento en ambos contenedores (5 y 2 L) respecto a la poda (Cuadro 6.29.), el peso total de los frutos desarrollados en contenedores de 5 L aumentó estadísticamente 61.3% y el número de frutos totales 75.6%, en el contenedor de 2 L aunque no hubo diferencias estadísticas para el rendimiento y el número de frutos totales al no podar la planta provocó un aumento en dichos parámetros (2.7 y 14.31% respectivamente).

Al podar las plantas de tomate cherry aunque el rendimiento y el número de frutos fue menor, se observó un aumento en el peso promedio del fruto en las plantas que crecieron en los dos contenedores (Cuadro 6.29), el peso del fruto aumentó estadísticamente 28.80% producidos en el volumen de 5 L respecto al de 2 L ambos con el mismo sistema de poda; sin embargo, al podar la planta no se encontraron diferencias significativas en ambos contenedores (5 y 2 L), aunque numéricamente al podar la planta favorece el peso del fruto.

Por efecto de la interacción poda*sustrato, se observó que afecta significativamente el número total de frutos, que indistintamente de la poda, al utilizar como sustrato la mezcla se obtiene mayor cantidad de frutos (Cuadro 6.29.). al no podar la planta y ocupando la mezcla como

sustrato se obtiene un aumento del 12.5% de número de frutos respecto al mismo manejo de la planta en tezontle; al podar las plantas no se encontraron diferencias significativas por el tipo de sustrato, numéricamente la mezcla favorece el número total de frutos.

Cuadro 6.28. Efecto de la concentración porcentual de la solución nutritiva (SN) sobre el rendimiento del tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores		Peso total de frutos (g)	Total de frutos	Peso promedio de un fruto (g)
Concentración porcentual de la SN				
50		1657.33 a	189.92 a	9.39 a
75		1237.87 b	161.51 b	8.16 b
100		1119.85 b	149.81 b	8.32 b
DMSH		203.5	21.6949	0.733

valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta).

Cuadro 6.29. Efecto de la poda, volumen y tipo de sustrato sobre el rendimiento del tomate cherry (*S. lycopersicum* cv. cerasiforme) producido en hidroponía.

Factores		Peso total de frutos (g)	Total de frutos	Peso promedio de un fruto (g)
Poda	Volumen (L)			
Con poda	5	858.28 c	73.76 c	11.63 a
Sin poda	5	2222.39 a	302.79 a	7.32 c
Con poda	2	1120.44 b	134.64 b	8.28 b
Sin poda	2	1152.29 b	157.13 b	7.27 c
DMSH		258.24	27.5314	0.9301
Poda	Sustrato	Total de frutos		
Con poda	Tezontle	103.75 c		
Sin poda	Tezontle	214.50 b		
Con poda	Mezcla [§]	104.65 c		
Sin poda	Mezcla	245.42 a		
DMSH		27.5314		

Valores con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta); [§]mezcla (tezontle: turba = 3:1).

Los datos obtenidos en esta investigación por el efecto de la concentración de la SN contrastan con los obtenidos por Cruz-Crespo *et al.* (2012), observaron que el rendimiento de tomate tipo bola en tres concentraciones de la SN (50, 75 y 100%) fue estadísticamente igual, numéricamente con la mayor concentración obtuvieron mayor rendimiento.

Por efecto del sustrato los datos se asemejan a los reportados por Salas-Pérez (2016), donde obtuvieron mayores frutos por planta con una mezcla de composta de ganado bovino y arena de río como material inerte a razón de 25:75 respectivamente, al igual que Ortega-Martínez *et al.*

(2010), donde obtuvieron el mayor rendimiento por planta al ocupar una mezcla de aserrín-composta en la producción de tomate saladette; esto se pudiera atribuir al mejoramiento de las propiedades físicas del sustrato que se obtuvo al añadir un sustrato no inerte a la mezcla utilizada, según Azarmi *et al.* (2008) se debe a la presencia de sustancias naturales que consisten en bioestimuladores; reguladores de crecimiento y ácidos húmicos; generados por microorganismos presentes.

De acuerdo con Samperio (2005) al podar se elimina el número de tallos productivos y por lo tanto la cantidad de frutos por planta, pero a cambio se obtiene una mayor precocidad, frutos con mayor tamaño y con mejor cuajado y mayor calidad. Lo que coincide con lo observado en esta investigación, por lo tanto, para alcanzar mayores calibres es fundamental la poda. Datos semejantes obtuvieron Ponce-Valerio *et al.* (2011) en tomate de cascara donde observaron que el rendimiento fue mayor cuando se realizó poda al sexto entrenudo.

Los datos obtenidos en esta investigación se sitúan por encima de los obtenidos por Córdoba *et al.* (2018) donde evaluaron tres genotipos de tomate cherry de crecimiento indeterminado, el genotipo “Tangerino” fue el que presentó el mayor rendimiento promedio (750.5 g/planta). De acuerdo con Monge-Pérez (2015) destaca que el rendimiento es una característica dependiente del material genético, las condiciones ambientales, la presencia de plagas y enfermedades y las prácticas de manejo como densidad de siembra y podas realizadas.

7. CONCLUSIONES GENERALES

EL rendimiento fue mayor al utilizar una concentración de la SN del 50% en sus componentes de número de frutos y peso total; La calidad del fruto mejoró en relación al incremento de la concentración de la SN.

Se encontró que, al emplear el contenedor de 5 L para la producción de tomate cherry determinado, el peso total y el número de frutos fue mayor; la mezcla como tipo de sustrato determinó un mayor número de frutos totales. La calidad del fruto fue mayor cuando se produjeron en contenedores de 2 L, el tipo de sustrato determinó la firmeza del fruto, los frutos producidos en tezontle obtuvieron mayor firmeza.

El rendimiento fue menor al podar las plantas, menor número de frutos, pero el calibre y peso individual fue mayor. Los frutos producidos en una planta con poda incrementaron en las variables de calidad excepto en el pH y pérdida de peso

El diámetro basal del tallo y la altura de la planta, fueron mayores cuando se utilizó como sustrato la mezcla de tezontle y turba (3:1) y con concentraciones del 75 y 100% de la de la SN. Las variables fisiológicas aumentaron con concentraciones al 75 y 100% de la SN, las lecturas SPAD aumentaron en contenedores de 2 L con poda, en contraparte las lecturas del índice normalizado de vegetación (INV) fueron mayores en las plantas desarrolladas en recipientes de 5 L y sin poda.

El tomate cherry determinado, cumple como cultivo productivo. De acuerdo a los resultados de la presente investigación, para obtener mayor calidad de frutos se deben emplear dentro de ciertos límites contenedores pequeños y concentraciones de SN altas y para una mayor producción, contenedores de mayor volumen con concentraciones de SN bajas. Para futuras investigaciones se pudieran evaluar diversos métodos de poda y tutorio para conocer más sobre este cultivar.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M. 1995.** El cultivo del tomate. Sustratos para el cultivo sin suelo. España: Mundi– Prensa, 131-166 p.
- Abad, M. Noguera, M. 2000.** Los sustratos en cultivos sin suelo, En manual de cultivos sin suelo. Urrestarazu Gavilan, M. (ed). Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Almería, España 137-182 p.
- Abadie, T. y A. Berretta. 2001.** Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. *In:* Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. PROCISUR, e IICA. Montevideo, Uruguay, <http://www.procisur.org.uy/data/documentos/21.pdf>, consulta: junio de 2016.
- Alcántar G.G., L.I. Trejo T., L. Fernández P. y M.N. Rodríguez M. 2013.** Elementos esenciales. *In:* Nutrición de cultivos. Alcántar G.G. y Trejo T.L.I. (eds.) Texcoco, México 2013. Colegio de Postgraduados. 8-43 pp.
- Al-Harbi, A., Hejazi, A. y Al-Omran, A. 2017.** Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersicon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences 24(6): 1274-1280.
- AlShrouf, A. 2017.** Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. American Scientific Research Journal for Engineering Technology and Sciences 27(1):247-255.
- AOAC (Assotiation of Official Analytical Chemists). 1990.** Official Methods of Analysis. 15th edition. Ed. Washington, DC. USA.
- Arana, I., C. Jarén, S. Arazuri, M. García, A. Ursua y P. Riga. 2006.** Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad. España. ResearchGate (20): 111-115.
- Arias R., Lee T. C., Specca, D., Janes, H. 2000.** Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) ripened on and off vine. Journal of Science 65(3): 545-548.
- Arias R., Lee TCh., Logendra L., Janes H. 2000.** Correlation of lycopene measured by HPLC with the L; a; b color reading of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. Journal of Agricultural Food Chemistry 48: 1697-1702.
- Azarmi R; Sharifi ZP; Satari M. 2008.** Effect of vermicompost on growth; yield and nutrient status of tomato (*Lycopersicom esculentum*). Pakistan Journal of Biological Science 1: 1797-1802.
- Azcón-Bieto J. y Talón, M. 2008.** Fundamentos De Fisiología Vegetal; McGraw-Hill Interamericana de España, S.L.; Barcelona. Cap.: 5 pp 91 – 93.
- Baca, A., Lara, A. 2001.** Sistemas hidropónicos. En: Nutrición vegetal. G. Alcántar G. (ed.). En prensa.
- Baca, C., G. A. J., Rodríguez, C. E. y Quevedo, N. A. 2016.** La solución nutritiva en hidroponía. México. 154 p.

- Baixauli-Soria C., Aguilar-Oliver J.M. 2002.** Cultivo sin suelo de hortalizas. Serie de divulgación técnica no. 53. Generalitat Valenciana. 110 p.
- Ballester-Olmos, J.F. 1992.** Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. Hojas Divulgadoras (11). Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Moncada, Valencia, España. 44 p.
- Batu, A. 2004.** Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61: 471-475.
- Bautista C., M.T. 2010.** Potencial osmótico en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México. 64 p.
- Beckles, D. 2012.** Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content 364 of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology Technology* 53: 129-140.
- Bhandari, S. R. y J. G. Lee. 2016.** Ripening-dependent changes in antioxidants, color attributes, and antioxidant activity of seven tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* 2016: 1-13.
- Bonilla-Barrientos, O., R. Lobato-Ortiz., J. J. García-Zavala., S. Cruz-Izquierdo., D. Reyes-López., E. Hernández-Leal y A. Hernández-Bautista. 2014.** Diversidad agronómica y morfológica de tomates arrionados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37 (2): 129-139.
- Bouzo, C. A. y N. F. Gariglio. 2016.** Relationship between different physical properties of tomato fruits and water loss during postharvest. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 15 (1): 13-25.
- Bramley, P. 2002.** Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. U.S.A. *Journal of Experimental Botany* 53(377): 2107-2113.
- Bugarín M., R, G.A. Baca C., J. Martínez H., J.L. Tirado T., y A. Martínez G. 1998.** Amonio/nitrato y concentración iónica total de la solución nutritiva en crisantemo. I. Crecimiento y floración. *Terra* 16: 113-124.
- Bugarín M., R., A. Galvis S., P. Sánchez G. y D. García P. 2002.** Demanda de potasio del tomate tipo Saladette. México. *Terra Latinoamericana* 20(4): 391-399.
- Cabrera, R. 1999.** Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo - Serie Horticultura* 5(1):5-11 p.
- Cantwell, M. 2006.** Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. UCCE Fresh market tomato statewide report. California, USA. pp. 3, 9-13.
- Cantwell, M., S. Stoddard., M. LeStrange. y B. Aegerter. 2007.** Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluations for 2006. UCCE Fresh Market Tomato Variety Trial 2006 Postharvest Evaluation. UC Davis, Davis CA. USA. 16 p.
- Cárdenas L., Ma. A. y A. Villegas M. 2002.** Potencial osmótico del medio de cultivo con diferentes componentes para la propagación in vitro. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 213- 217.

Carrasco, G. y J. Izquierdo. 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante NFT. Universidad de Talca. Chile. pp:31-40.

Carrasco, G., P. Ramírez y H. Vogel. 2007. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. IDESIA 25: 59-62.

Casierra, F. y O. Aguilar. 2008. Calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. Agronomía Colombiana. 26(2), 300-307.

Casierra-Posada, F. y G. Fischer. 2012. Poda de árboles frutales. pp. 169-185. En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.

Castellanos, J. Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Celaya, Guanajuato, México: Intagri S. C.

Castro, G. S. L., Aldrete, A., López Upton, J. y Ordaz-Chaparro, V. M. 2019. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. Madera y Bosques 25(2).

Cebolla-Cornejo, J., Roselló, S., Valcárcel, M., Serrano, E., Beltrán, J., & Nuez, F. 2011. Evaluation of genotype and environment effects on taste and aroma flavor components of spanish fresh tomato varieties. Journal of Agricultural and Food Chemistry 59: 2440-2450.

Cliff, M. A., J. B. Li, P. M. A. Toivonen y D. L. Ehret. 2012. Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit. Postharvest Biology and Technology 74:132-140. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.12.007>.

Córdoba, H. A., Gómez, S. V. y Núñez, C. E. 2018. Evaluación del rendimiento y fenología de tres genotipos de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de invernadero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 12(1): 113-125.

Coutinho, E. L. M., J. V. Orioli., E. J. da Silva., N. 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.

Crisanto-Juárez, A. U., Vera-Guzmán, A. M., Chávez-Servia, J. L., y Carrillo-Rodríguez, J. C. 2010. Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme Dunal) de Oaxaca, México. Revista Fitotecnia Mexicana 33(SPE4): 7-13.

Cruz-Crespo, E., Sandoval Villa, M., Volke Haller, V. H., Can Chulim, Á., y Sánchez Escudero, J. 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(7), 1361-1373.

Cruz C., E., A. Can C., M. Sandoval V., R. Bugarín M., A. Robles B. y P. Juárez L. 2013. Sustratos en la horticultura. México. Bio Ciencias 2(2): 17-26.

Cuartero, J.; Fernández-Muñoz, R. 1999. Tomato and salinity. Scientia Horticulturae 78: 83-125.

Cuervo, B. W. J., Flores, R. V. J. y Gonzáles, M. C. A. 2012. Aspects to consider for optimizing a substrate culture system with drainage recycling. Agronomía Colombiana 30(3):379-387.

- Davies, J. N. y G. E. Hobson. 1981.** The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15(3): 205-280.
- de la Rosa-Rodríguez, R., Lara-Herrera, A., Lozano-Gutiérrez, J., Padilla-Bernal, L. E., Avelar-Mejía, J. J., y Castañeda-Miranda, R. 2016.** Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17: 3439-3452.
- De Rijck, G. y E. Schrevens. 1998.** Comparison of the mineral composition of twelve standard nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition* 21: 2115-2125.
- De-Castro, L. R., Cortez, L. A. B., Vigneault C. 2006.** Effect of sorting, refrigeration and packaging on tomato shelf life. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 4(1): 70-74.
- Dickson T, R. 1999.** Introduction to chemistry. Jhon Willey & Sons, USA. 428-429 pp.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2019.** Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Ehret, D. L., Ho L. C. 1986.** Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany* 58: 679-688.
- Escudero, J. 1993.** Cultivo hidropónico del tomate. *In: Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelos.* Armería: I.E.A.- F.I.A.P.A, p. 263-297 p.
- Espinosa-Palomeque, B., Cano-Ríos, P., Salas-Pérez, L., García-Hernández, J. L., Preciado Rangel, P., Sáenz-Mata, J., y Reyes-Carrillo, J. L. 2019.** Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biocencia* 21(3): 100-107.
- Fanasca, S., G. Colla., G. Maiani., E. Venneria., Y. Rouphael., E. Assini. y F. SACCARDO. 2006.** Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of agricultural and food chemistry.* 54:43194325.
- Fang, L. F., Feng, L., Song, Q. J., Yuan-S. D., Su, C. L. y Wang, K. 2010.** Investigation of SPAD meter-based indices for estimating rice nitrogen status. *Computers and Electronics in Agriculture* 715:560-565.
- FAOSTAT.2013.** Importaciones y exportaciones de tomate. <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E>.
- FAO. 2014.** Anuario estadístico de la FAO. *In.* FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), <http://www.fao.org/3/a-i3592s>; consulta: febrero de 2015.
- Favaro, J.C., Buyatti M.A., Acosta M.R. 2002.** Evaluación de sustratos a base de serrín de Salicáceas (*Salix* sp.) compostados para la producción de plantones. *Investigación Agrícola* 17: 367-373.
- Favela C., E., P. Preciado R. y A. Benavides M. 2006.** Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Antonio Narro. Torreón, Coahuila. 146 p.

- Gallegos C., D. (2012).** Efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva en la producción de licopeno en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- García, E. y D. M. Barret. 2006.** Evaluation of processing tomatoes from two consecutive growing seasons: quality attributes, peelability and yield. *Journal of Food Processing and Preservation* 30: 20–36.
- García R., A. Berenguer., M. Tormo., M. Sanchez., J. Quiros., C. Navarro., R. Arnaud., M. Dorronsoro., M. Chirlaque., A. Barricarte., E. Ardanaz., P. Amiano., C. Martinez., A. Agudo y C. Gonzalez. 2004.** Dietary sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoids in Spain. *British Journal Nutrition*. 91(6):1005-1011. Doi: 10.1079/BJN20041130
- García, O. C., Alcántar, G., Cabrera, R. I., Gavi, F. y Volke, V. 2001.** Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana* 19(3): 249-258.
- Garzón, J. 2011.** Caracterización y evaluación morfoagronómica de la colección de tomate tipo cherry de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Gaytán-Ruelas, M., E. Vargas-Espinoza, M. Rivera-Arredondo y V. J. Morales- Félix. 2016.** Efecto del raleo de frutos en el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico* 3:18-25.
- George, B., C. Kaur, D. S. Khurdiya, H. C. Kapoor. 2004.** Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: 45-51.
- Gómez, P. A. y A. F. Camelo. 2002.** Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira* 20 (1): 38-43.
- Gómez-Hernández, T. y F. Sánchez-del Castillo. 2003.** Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. *Terra Latinoamericana* 21: 57-63.
- González-Céspedes, A., Salas-Sanjuán, M. del C., Urrestarazu-Gavilán, M. 2004.** Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry, pp. 703-747. *In: Tratado de Cultivos sin Suelo*. Urrestarazu-Gavilán, M. (ed.). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- González-Raya, E., Benavides-Mendoza, A., Ramírez, H., Robledo-Torres, V., Maiti, R., Reyes-López, A., y Hernández-Valencia, R. E. M. (2005).** Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. *Terra Latinoamericana* 23(1): 105-111.
- Gutiérrez, M.D., J. Hernández., C.A. Ortiz., R. Anicua y M. Hernández. 2011.** Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17: 183-196.
- Hanna Instruments. 2011.** Conductividad eléctrica. Aspectos teóricos. <http://www.hannainst.es/biblioteca/index.php?pg=0&CodApartado=30&CodTema=50> (revisado el 2 de mayo de 2011).

- Hao, X., A.P. Papadopoulos., M. Dorais., D.L. Ehret., G. Turcotte y A. Gosselin. 2000.** Improving tomato fruit quality by raising the EC of NFT nutrient solutions and calcium spraying: effects on growth, photosynthesis, yield and quality. *Acta Horticulturae* 511:213- 221.
- Hawkins, T., Gardiner, E. y Comer, G. 2009.** Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. *Journal for Nature Conservation* 17:123-127.
- Hernández, S. 2013.** Estudio del comportamiento de distintos tipos de sustratos de lana de roca, en respuesta al aumento de oxígeno disuelto en la solución nutritiva respecto a la producción y calidad de un cultivo de tomate tipo “cherry pera”. En: Universidad de Almería, <http://repositorio.ual.es:8080/jspui/handle/10835/2641#.V2Af8bt97IU>; consulta: abril de 2016.
- Hidalgo-González, J. C., Alcátara-González, G., Baca-Castillo, G. A., Sánchez-García, P., Escalante-Estrada, J. A. 1998.** Efecto de la condición nutrimental de las plantas y de la composición, concentración y pH del fertilizante foliar, sobre el rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana* 16(2): 143-148.
- Howard, M. 1998.** Hydroponic food production. Santa Bárbara, California. 520 p.
- Ilić, Z. S., L. Milenković., L. Šunić y E. Fallik. 2015.** Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95 (13):2660-2667.
- Inman, D., Khosla, R. y Mayfield, T. 2005.** On-the-go active remote sensing for efficient crop nitrogen management. *Sensor Review* 25: 209-214.
- Juárez L., P., Reed D. W., Kent M., Cisneros Z. L., King. S, Castro B. R., Ramírez V. P., Sandoval V. M., Colinas L.T. 2011.** Efecto de la concentración de la solución nutritiva en la calidad de frutos de genotipos nativos de jitomate. *In: Memorias de Resúmenes del XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. SOMECH, A. C. (ed). 10-14 de abril. Culiacán Sinaloa. México. pp: 160.*
- Kader, A. A., Morris, L. L., Stevens, M. A. y Holton, M. A. 1978.** Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. *Journal of American Society for Horticultural Science* 103(1):6-11.
- Kader, A. A. 2002.** Quality and safety factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops. *In: A. A. Kader (ed). Postharvest Technology of Horticultural Crops. Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources Pub. 3311. USA. pp: 279-286.*
- Khadi, B.M., J.V. Goud y V.B. Patil. 1987.** Variation in ascorbic acid and mineral content in fruits of some varieties of chili (*Capsicum annum* L.). *Plant Foods for Human Nutrition* 37: 9-15.
- Lan, Y., H. Zhang., R. Lacey., W. C. Hoffmann y W. Wu. 2009.** Development of an integrated sensor and instrumentation system for measuring crop conditions. *Agricultural Engineering International. The CIGR E-Journal* 11:1-16.
- Landis, T.D., R.W. Tinus., S.E. McDonald y J.P. Barnett. 1990.** Containers and growing media. Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbook 674. U S D A. Forest Service. Washington, DC. EUA. 88 p.

- Landowne, D. 2006.** Cell Physiology. MacGraw-Hill Medical Publishing Division. Miami, FL, USA. 162 p.
- Lara H., A. 1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra 17(3): 221-229.
- Lemaire, F. 2005.** Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones. Madrid: ediciones Mundi Prensa 210 p.
- Lobo, M.A. y Jaramillo V.J. 1984.** Cultivo del tomate. En: Hortalizas, manual de asistencia técnica. Instituto Colombiano Agropecuario ICA.
- López, A. P. P., Cano, M. A., Rodríguez, D. G. S., Torres, F. N., Rodríguez, R. S. M. y Rodríguez, R. R. 2011.** Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. Tecnociencia 5(2):98-104.
- Luna-Fletes, J. A., Can-Chulim, Á., Cruz-Crespo, E., Bugarín-Montoya, R., y Valdivia-Reynoso, M. G. 2018.** Intensidad de raleo y soluciones nutritivas en la calidad de tomate cherry. Revista Fitotecnia Mexicana 41(1): 57-66.
- Machado, J., L. Braz y G. Grilli. 2003.** Desempenho de produção de cultivares de tomateiro tipo Cereja em diferentes espaçamentos (CD). Horticultura Brasileira. 21(2), 356-356.
- Malundo, T. M. M., R. L. Shewfelt y J. W. Scott. 1995.** Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. Postharvest Biology and Technology 6: 103-110.
- Marim, B., D. Silva., M. Guimarães y G. Belfort. 2005.** Sistemas de tutoramento e condução do tomateiro visando produção de frutos para consumo in natura. Horticultura Brasileira 23(4): 951-955. Doi: 10.1590/ S0102-05362005000400018.
- Marín, M., L. A. Valdez-Aguilar., A. M. Castillo-González., J. Pineda-Pineda., J. J. Galván-Luna. 2010.** Modeling growth and ion concentration of *Lilium* in response to nitrogen: potassium: calcium mixture solutions. Journal of Plant Nutrition 34: 12-26.
- Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Chew-Madinaveitia, Y. I., Moreno-Reséndez, A. y Rodríguez-Dimas, N. 2006.** Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(2): 183-188.
- Martínez P., G. L. 2007.** Evaluación de metodologías para caracterización de propiedades físicas de sustratos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. pp. 39-75.
- Miranda-Villagómez E., J. A. Carrillo-Salazar, María-de-las-Nieves Rodríguez-Mendoza, M. T. Colinas-León, M. Livera-Muñoz y E. A. Gaytán-Acuña. 2014.** Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. Revista Fitotecnia Mexicana 37: 31-39.
- Mizrahi, Y. 1982.** Effect of salinity on tomato fruit ripening. Plant Physiology. 69: 966-970.
- Monge-Pérez, J. 2015.** Evaluación de 60 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. InterSedes 16(33): 2215-2458.

- Monti, L.M. 1980.** The breeding of tomatoes for peeling. *Acta Horticulturae* 100: 341–349. Müller C. H. 1940. A revision of the genus *Lycopersicon*. United States Dep. Agriculture, Misc. Publ. 382: 1-29 +10 pl.
- Morel, P., Poncet, L., Riviére, L. 2000.** Les supports de cultura horticoles. Les Matériaux Complémentaires Ternatifs a la tourbe. INRA. Paris. 87 p.
- Navarro-López, E. R., Nieto-Ángel, R., Corrales-García, J., García- Mateos, M. D. R. y Ramírez-Arias, A. 2012.** Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 18(3):263-277.
- Normann, A. 1993.** Substratos hortícolas: Turfa a casca de arroz. *Lavoura Arrozeira* 46 (409):12-13 p.
- Nuez, F. 2001.** El cultivo del tomate. Mundi-Prensa. España. 1: 131-168 pp.
- Ordóñez, A., M. Balanza., F. Martín y C. Flores. 2009.** Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva. Chile. *Información Tecnológica* 20(4): 31-37.
- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J., Sandoval-Castro, E., Salcido-Ramos, B. A., y Manzo-Ramos, F. 2010.** Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai* 6(3): 339-346.
- Pérez, J. E. M. y Coto, M. L. 2019.** Producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero: comparación agronómica entre tipos de tomate. Posgrado y Sociedad. *Revista Electrónica del Sistema de Estudios de Posgrado* 17(1): 1-20.
- Pérez-Espinoza, H. A., Chávez-Morales, J., Carrillo Flores, G., Rodríguez Mendoza, M. D. L. N. y Ascencio Hernández, R. 2017.** Fertilización foliar en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponia bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(2): 333-34.
- Periago, M. J., I. Martínez-Valverde, G. Ros, C. Martínez, G. Ros y G. López. 2001.** Propiedades químicas; biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Anales de Veterinaria Murcia* 17: 51-66.
- Ponce-Valerio, J. J., Peña-Lomelí, A., Sánchez-del-Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J. E., Mora-Aguilar, R., Castro-Brindis, R., & Magaña-Lira, N. 2011.** Evaluación de podas en dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivado en campo. *Revista Chapingo Serie horticultura* 17(3): 151-160.
- Raffo, A., C. Leonardi, V. Flogiano, P. Ambrosino, M. Salucci, L. Gennaro, R. Bugianeso, F. Giuffrida y G. Quaglia. 2002.** Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicum esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 6550-6556.
- Ramírez, L., J. Muro y F. Díaz. 2011.** Efecto de diferentes concentraciones de potasio en parámetros de calidad en jitomate hidropónico. México. *Acta Universitaria* 21(1): 5-10.
- Ramírez, S. L. F., Muro, E. J., Sánchez, G. P. 2009.** Potassium affects the lycopene and β -carotene concentration in greenhouse tomato. *Acta Horticulturae* 821: 223-228.

- Rao, A. V., N. Fleshner, and S. Agarwall. 1999.** Serum and tissue lycopene and biomarkers of oxidation in prostate cancer patients: a case-control study. *Nutrition and Cancer* 33: 159-164.
- Raviv, M.; Wallach, R. and Blom, T. J. 2004.** The effect of physical properties of soilless media on plant performance, a review. *Acta Horticulturae* 644:251- 259.
- Rodríguez, D. E., Salcedo, P. E., Rodríguez, M. R., González, E. D. y Munguía, M. 2013.** Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana* 31(4):275-284.
- Rodríguez, R., Tavares, R. y Medina, H. 2001.** Cultivo Moderno del Tomate 2ª. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 p.
- 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* 38:197-2.
- SAGARPA.2016.** Exportaciones de tomate aumentan 22.7 por ciento en cinco meses. Consultado en abril de 2018 en <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/exportaciones-de-tomate-aumentan-22-7-por-ciento-en-cinco-meses?idiom=es-MX>
- SAGARPA. 2017.** Llegan exportaciones de jitomate a mil 742 MDD de enero a octubre del 2016. Consultado en febrero de 2018 en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0020-14.aspx
- Salas-Pérez, L., González Fuentes, J. A., García Carrillo, M., Sifuentes-Ibarra, E., Parra-Terrazas, S. y Preciado-Rangel, P. 2016.** Calidad biofísica y nutracéutica de frutos de tomate producido con sustratos orgánicos. *Nova Scientia* 8(17): 310-325.
- Salazar, M. R., Rojano, A. A. y López, C. I. L. 2014.** La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5(2):177-183.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994.** Fisiología vegetal. Traducción de la cuarta edición del inglés por Virgilio González Velázquez. Grupo Editorial Iberoamérica. México, 759 p.
- Salunkhe, D. K., S. J. Jadhav and M. H. Yu. 1974.** Quality and nutritional composition of tomato fruits as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Qualitas plantarum. Plant Foods for Human Nutrition* 24(1-2): 85-113.
- SAMPERIO G. 2005.** Un paso más en Hidroponía. Editorial Diana; México.
- San Martín, H. S., Ordaz, C. V. M., Sánchez, G. P., Colinas, L. B. M. T. y Borges, G. L. 2012.** Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46(3):243-254.
- Sánchez, C. F. 2002.** Invernaderos e hidroponía en el contexto de la agricultura: dos alternativas tecnológicas factibles. *In: Sánchez C. F., Maldonado R., Álvarez E., Jensen M., Giacomelli G., Waller P., Ojeda W., Rojano A. y Morales J. A. Invernaderos: Teoría y Práctica. Curso internacional de invernaderos. Tomo I. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. A1-A37.*
- Sánchez, C. 2003.** Abonos orgánicos y Lombricultura. Editorial Ripalme. México.

- Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreolea. 2008.** El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera. *In:* J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Madrid, España. pp. 25-39.
- Sandoval V., M., P. Sánchez G. y G. Alcántar G. 2008.** Principios de la hidroponía y del fertirriego. *In:* G. Alcántar G. y L.I. Trejo-Téllez. (eds). Nutrición de Cultivos. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa. México. pp. 373-438.
- SAS. 1999.** Statistic Analysis System 9.0. Program. Stat Soft. Cary, NC, USA.
- Schaffer, A.A., M. Petreikov, D. Miron, M. Fogelman, M. Spiegelman, Z. Bnei-Moshe, S. Shen, D. Granot, R. Hadas, N. Dai, I. Levin, M. Bar, M. Friedman, M. Pilowsky, N. Gilboa y L. Chen. 1999.** Modification of carbohydrate content in developing tomato fruit. *HortScience* 34: 1024-1027.
- Scita, G. 1992.** Stability of b-carotene under different laboratory conditions. *Methods in Enzymology* 213: 175-185.
- Seginer, I., Straten, G. V., y Buwalda, F. 1998.** Nitrate concentration in greenhouse lettuce: a modeling study. II Modelling Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation 456: 189-198.
- Sengupta, A. and S. Das. 1999.** The anti-carcinogenic role of lycopene, abundantly present in tomato. *European Journal of Cancer Prevention* 8: 325-330.
- Sengupta, A. and Banerjee, H. 2012.** Soil-less culture in modern agriculture. *World Journal of Science Technology* 2(7):103-108.
- Shewfelt, R. L. 1993.** Measuring quality and maturity. *In:* Shewfelt R. L. and S. E. Prussia Postharvest handling. A systems approach. Edit. Academic Press Inc. San Diego Cal., USA. pp. 99-124.
- Sies, H. y Stahl W. 1998.** Lycopene: antioxidant and biological effects and its bioavailability in the human. *Proceedings of the Society Experimental Biology and Medicine* 218:121–124.
- Steiner, A. A. 1961.** A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15: 134-154.
- Steiner, A. A. 1984.** “The Universal Nutrient Solution”. ISSOC. Proceedings 6th International Congress Soilless Culture. Lunteren, Holland Pp.: 633-649.
- Taiz, L., and Zeiger E. 2002.** *Plant Physiology* (3rd Ed), Sinauer Associates. Publishers: Sutherland, MS. p. 40.
- Toor, R. K., G. P. Savage and A. Heeb. 2006.** Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis* 19:20-27. [https:// doi.org/10.1016/ j.fca.2005.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.03.003).
- Trejo-Téllez, L. I. and F. C. Gómez-Merino. 2012.** Nutrient solutions for hydroponics systems: *In:* As T (ed) *Hydroponics-A Standard methodology for biological researches*. InTech, Rijeka. pp.1-23.

Tüzel, Y., I. H. Tüzel and F. Ücer. 2003. Effects of salinity on tomato growing in substrate culture. *Acta Horticulturae* 609: 329-335.

UCDAVIS (University of California, Davis). 2016. Maturity & quality. *In: UCDAVIS, Postharvest Technology: Maintaining Produce Quality & Safety*, <http://postharvest.ucdavis.edu/pfvegetable/TomatoPhotos/?repository=30014&a=83755>; consulta: junio de 2016.

Valenzuela López, M., Partida Ruvalcaba, L., Díaz Valdés, T., Velázquez Alcaraz, T. D. J., Bojórquez Bojórquez, G. y Enciso Osuna, T. 2014. Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(5): 807-818.

Valerio, P., José, J., Peña-Lomelí, A., Rodríguez-Pérez, J. E., Mora-Aguilar, R., Castro-Brindis, R., & Magaña Lira, N. (2012). Densidad y poda en tres variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) cultivado en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3): 325-332.

Vargas T., P., J. Zaragoza-Castellanos R., J. J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina Ch., R. M. López R., C. Martínez S. y J. L. Ojo de agua A. 2008. Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato, México. *Agricultura Técnica en México* 34: 323-331.

Vela-Hinojosa, C., C. Barbosa-Martínez, H. B. Escalona-Buendía, J. A. Mendoza- Espinoza, R. Lobato-Ortiz, J. E. Rodríguez-Pérez, ... y L. J. Pérez-Flores. 2017. Architectural Diversity of the Cuticle and Epidermis of Native and Hybrid Tomato Fruit Genotypes and the Relation to Polygalacturonase Expression. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 46 (1): 45-51.

Velasco H, E., R. Nieto Á. y E. R. Navarro L. 2011. Cultivo del Tomate en Hidroponía e Invernadero. Biblioteca Básica de Agricultura. Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Postgraduados, Mundi-Prensa. México. 126 p.

Velasco H., E., R. Nieto A. y E.R. Navarro L. 2012. Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Tesis doctoral. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados 1: 21-62 pp.

Villarreal-Romero, M., García-Estrada, R. S., Osuna Enciso, T., Armenta-Bojorquez, A. D. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra* 20(3): 311-320.

Winsor, G. W. 1979. Some factors affecting the quality and composition tomatoes. *Acta Horticulturae* 93: 335-346.

Zuang, H., Musard, M. 1986. Cultures legumieres sur substrats. Instalation et conduite. Centre technique interprofessionnel des fruits et legumes. Francia. 276 p.