



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

ESTRATEGIAS DE MANEJO SUSTENTABLE DEL CULTIVO DE JITOMATE
(*Solanum lycopersicum* L.) EN INVERNADERO

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO (A) EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA**

PRESENTA
LORENA PLATAS GALINDO

DIRECTOR DE TESIS
DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Junio de 2021

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

ESTRATEGIAS DE MANEJO SUSTENTABLE DEL CULTIVO DE JITOMATE
(Solanum lycopersicum L.) EN INVERNADERO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

LORENA PLATAS GALINDO

DIRECTOR DE TESIS

DR. JUAN MANUEL BARRIOS DÍAZ

ASESORES

M.C. BENJAMIN BARRIOS DÍAZ

DR. SIGFRIDO DAVID MORALES FERNÁNDEZ

M.C. GUILLERMO JESUITA PEREZ MARROQUIN

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Junio de 2021

La presente tesis titulada: **Estrategias de manejo sustentable del cultivo de jitomate** (*Solanum lycopersicum* L.) **en invernadero**, realizada por **Lorena Platas Galindo**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el Título de:

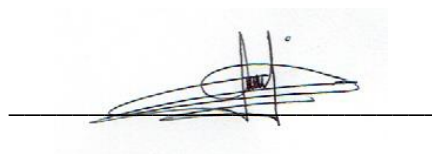
LICENCIADA EN INGENIERÍA AGROHIDRÁHULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: Dr. Juan Manuel Barrios Díaz



Asesor: M.C. Benjamín Barrios Díaz



Asesor: Dr. Sigfrido David Morales Fernández



Asesor: M.C. Guillermo Jesuita Pérez Marroquín



San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Junio de 2021

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico BUAP-CA324 Sistemas Agroforestales y Agrícolas Sostenibles y de la Línea de Investigación: Agricultura protegida y uso eficiente de los recursos agrícola. Dicho trabajo fue financiado con recursos propios.

DEDICATORIA

En primer lugar y antes que nada quiero dedicar este trabajo con mucho cariño y respeto a mis padres, Erasmo Platas García y Cristina Galindo Rodríguez, quienes han sido mi mayor apoyo y mis mejores consejeros en la vida, gracias al esfuerzo de ellos he podido concluir esta carrera la cual considero la mejor herencia, gracias por acompañarme en cada paso y guiar mi camino. Han sido un claro ejemplo de dedicación, esfuerzo y trabajo, sobretodo han sido el mejor ejemplo que he tenido en la vida.

A mis hermanos Edgar Platas Galindo y Diego Erasmo Platas Galindo, quienes han sido mis mejores compañeros en la vida, por su apoyo, sus ánimos, su esfuerzo y su cariño, Gracias.

A mi familia, a mis tíos Miguel y Refugio, a mis abuelitos María Guadalupe, Juan y Refugio quienes me brindaron su apoyo, pero sobre todo a mi abuelita Piedad quien ha sido como una segunda madre para mí, gracias por su apoyo, por sus consejos, por su cariño, su amor y por estar siempre que la he necesitado.

A mis amigos, Eduardo, Víctor, Lesly Carolina, José Guadalupe, Citlaly, Anita, Mariela, Víctor Joel, Fernando y Rodrigo gracias por acompañarme en este proceso de formación y apoyarme cuando lo necesite.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar gracias a Dios por permitirme lograr un objetivo más, por iluminar mi camino, por darme fuerzas y fortalecer mi corazón y mi mente, por haber puesto a todas aquellas personas en mi camino las cuales me han apoyado y acompañado durante todo este proceso.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por ser la casa de estudios que me dio la oportunidad de incursionar en tan noble carrera.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias quien me cobijo y me permitió desarrollarme y prepararme a través de todos mis profesores quienes me enseñaron y me apoyaron en este proceso de formación.

A mi director de tesis el Dr. Juan Manuel Barrios Díaz por su disposición y apoyo para que pudiera realizar este trabajo, por su confianza, paciencia y enseñanzas, gracias.

Al Mtro. Guillermo Jesuita Pérez Marroquín por su apoyo durante esta presente investigación y por brindarme su amistad, gracias. Y a los doctores Benjamín Barrios Díaz y Sigfrido David Morales Fernández por su apoyo para realizar esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General.....	3
2.2 Objetivos Específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Situación de la agricultura protegida	5
4.1.1 Contexto mundial	5
4.1.2 Situación nacional	6
4.2 Cultivo de jitomate en agricultura protegida.	7
4.3 Cultivo de jitomate en invernadero.....	7
4.4 Taxonomía del jitomate.	8
4.5 Morfología del jitomate.	9
4.5.1 Semilla.....	9
4.5.2 Tallo.....	9
4.5.3 Hoja	9
4.5.4 Flor	9
4.5.5 Fruto	10
4.5.6 Raíz.....	10
4.6 Manejo del cultivo de jitomate en invernadero.....	10
4.6.1 Limpieza y desinfección del invernadero.....	10
4.6.2 Acondicionamiento del suelo	11
4.6.3 Trasplante	11
4.6.4 Entutorado	12
4.6.5 Podas.....	12
4.6.6 Polinización	14
4.6.7 Riego.....	14

4.6.8	Fertirrigación	14
4.7	El rendimiento y sus componentes	15
4.7.1	Producción de materia seca	15
4.7.2	Rendimiento comercial.....	16
4.7.3	Calidad de los frutos	17
4.8	Enmiendas para mejorar la fertilidad del suelo.....	17
4.9	Abonos orgánicos.	18
4.9.1	Lombricomposta.....	19
4.9.2	Características de la lombricomposta.....	19
4.10	Principales plagas y enfermedades del cultivo de jitomate en invernaderos	20
4.10.1	Enfermedades en jitomate	20
4.10.2	Plagas en jitomate.....	21
4.11	Eficiencia de uso de agua	22
4.12	Eficiencia en el uso de nutrientes.....	23
4.13	Variables climáticas dentro del invernadero	24
4.13.1	Climatización de los invernaderos.....	24
4.13.2	Radiación	24
4.13.3	Temperatura.....	24
4.13.4	Humedad relativa.....	25
4.13.5	Déficit de presión de vapor.....	25
V.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1	Ubicación del sitio experimental	26
5.2	Material vegetal	26
5.2.1	Descripción del material vegetal	26
5.3	Descripción de tratamientos.....	26
5.4	Establecimiento del experimento.....	27
5.4.1	Fertirrigación	28
5.4.2	Enmienda orgánica	29
5.4.3	Control de plagas y enfermedades en el suelo.....	30
5.4.4	Control de plagas y enfermedades en la planta	31
5.5	Variables evaluadas	31
5.5.1	Variables de crecimiento	31
5.5.2	Variables de desarrollo	32

5.5.3	Variables de rendimiento.....	33
5.5.4	Eficiencia del uso del agua de riego	34
5.5.5	Eficiencia de uso de los nutrientes de fertilizantes.....	35
5.5.6	Variables climáticas del invernadero.....	35
5.6	Diseño experimental	35
5.7	Análisis estadístico	35
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
6.1	Variables de crecimiento de la planta	36
6.1.1	30 días después del trasplante (ddt).....	36
6.1.2	66 días después del trasplante (ddt).....	37
6.1.3	91 días después del trasplante (ddt).....	38
6.1.4	122 días después del trasplante (ddt).....	39
6.2	Dinámica del crecimiento	40
6.2.1	Diámetro de tallo	40
6.2.2	Altura de planta	41
6.2.3	Distancia entre racimos	42
6.2.4	Número de flores	43
6.2.5	Número de frutos.....	44
6.3	Crecimiento y sanidad de la raíz.....	45
6.4	Distribución del peso fresco y materia seca de la planta	46
6.4.1	45 días después del trasplante (ddt).....	46
6.4.2	90 días después del trasplante (ddt).....	49
6.4.3	120 días después del trasplante (ddt).....	51
6.5	Rendimiento.....	54
6.5.1	Distribución del rendimiento con base a la clasificación por peso de fruto.....	55
6.5.2	Distribución del rendimiento con base al diámetro promedio de fruto	57
6.6	Eficiencia en el uso del agua.....	59
6.7	Eficiencia en el uso de fertilizantes	61
6.8	Variables climáticas del invernadero.....	63
6.8.1	Radiación	63
6.8.2	Temperatura.....	64
6.8.3	Grados días de desarrollo	64
6.8.4	Humedad relativa.....	65

6.8.5 Déficit de presión de vapor.....	66
VII. CONCLUSIÓN.....	68
VIII. LITERATURA CITADA	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.....	27
Cuadro 2. Concentración de la solución nutritiva (me/L) para los tratamientos con fertirrigación “COMPLETA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.	28
Cuadro 3. Cantidad de fertilizantes (g/L) para preparar la solución nutritiva para los tratamientos con fertirrigación “COMPLETA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.....	28
Cuadro 4. Concentración de la solución nutritiva (me/L) para los tratamientos con fertirrigación “LIMITADA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.....	29
Cuadro 5. Cantidad de fertilizantes (g/L) para preparar la solución nutritiva para los tratamientos con fertirrigación “LIMITADA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.....	29
Cuadro 6. Descripción de tratamientos con enmienda Orgánica.....	30
Cuadro 7. Descripción de tratamientos de acuerdo al tipo de control de plagas y enfermedades del suelo.....	30
Cuadro 8. Escala de severidad de daño provocado por <i>Meloidogyne</i> spp. y pudrición causada por <i>Fusarium</i> spp., en el cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en invernadero.	32
Cuadro 9. Clasificación de fruto por peso en jitomate de tipo saladette.	34
Cuadro 10. Clasificación de los frutos de jitomate saladette en base a su peso.	34
Cuadro 11. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) a 30 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.....	36
Cuadro 12. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) a 66 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.....	37
Cuadro 13. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) a 91 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.....	38

Cuadro 14. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) a 122 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.....	40
Cuadro 15. Variables de crecimiento de raíz y severidad de daño provocado por <i>Meloidogyne</i> spp. y pudrición causada por <i>Fusarium</i> spp., en el cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en invernadero y al final del ciclo evaluado en Teziutlán, Puebla, México.	46
Cuadro 16. Distribución del peso fresco en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 45 días después del trasplante.	47
Cuadro 17. Distribución de la materia seca en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 45 días después del trasplante.	47
Cuadro 18. Distribución del peso fresco total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 90 días después del trasplante.	49
Cuadro 19. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 90 días después del trasplante.	50
Cuadro 20. Distribución del peso fresco total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 120 días después del trasplante.	52
Cuadro 21. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 120 días después del trasplante.	53
Cuadro 22. Distribución del rendimiento (g/planta) con base a la clasificación por peso de fruto.	56
Cuadro 23. Distribución del rendimiento (g/planta) con base a la clasificación por peso de fruto.	58

Cuadro 24. Cantidad de agua aplicada al cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.	60
Cuadro 25. Eficiencia de uso de nutrimentos expresada como cantidad de nutrimento aplicado por tonelada de jitomate cosechado (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.	62
Cuadro 26. Cantidad de nutrimentos aplicados por hectárea aplicados al cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de tratamientos.	27
Figura 2. Diámetro de tallo del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.	41
Figura 3. Altura de planta del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.	42
Figura 4. Distancia entre racimos del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.	43
Figura 5. Numero de flores del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.	44
Figura 6. Número de frutos del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.	45
Figura 7. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a 45 días después del trasplante.	48
Figura 8. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a 90 días después del trasplante.	51
Figura 9. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 120 días después del trasplante.	54
Grafica 10. Rendimiento total de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) con diferentes estrategias de manejo de cultivo en condiciones de invernadero en Teziutlán, Pue. Coeficiente de variación=20.84 % y diferencia mínima significativa honesta=13.54 t/ha.	55
Figura 11. Distribución del rendimiento total (kg/planta) con base a la clasificación por peso de los frutos de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) y de acuerdo a la estrategia de manejo del cultivo en condiciones de invernadero en Teziutlán, Puebla, México.	

Extra Jumbo (>180 g); Jumbo (160 a 180 g); XL (120 a 160 g); L (100 a 120 g); M (80 a 100 g); S (60 a 80 g); Destrío (<60 g, deformes o con daños físicos).....57

- Figura 12. Distribución del rendimiento total (kg/planta) con base a la clasificación por diámetro promedio de los frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) y de acuerdo a la estrategia de manejo del cultivo en condiciones de invernadero en Teziutlán, Puebla, México. EG (>71 mm); G (60 a 71 mm); M (52 a 60 mm); CH (38 a 52 mm); Destrío (<38 mm, deformes o con daños físicos).....59
- Figura 13. Eficiencia de uso del agua del cultivo de jitomate en invernadero con diferentes estrategias de manejo en Teziutlán, Pue. Coeficiente de variación=13.51 % y diferencia mínima significativa honesta=6.27 kg/m³.61
- Figura 14. Radiación registrada al interior de un invernadero cultivado con jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) en Teziutlán, Pue.63
- Figura 15. Temperatura registrada dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) con diferentes estrategias de manejo del cultivo en Teziutlán, Pue.....64
- Figura 16. Grados días de desarrollo acumulados por el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) con diferentes estrategias de manejo del cultivo bajo condiciones de invernadero en Teziutlán, Pue.65
- Figura 17. Humedad relativa registrada dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) con diferentes estrategias de manejo de cultivo en Teziutlán, Pue.66
- Figura 18. Déficit de presión de vapor registrado dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) con diferentes estrategias de manejo de cultivo en Teziutlán, Pue.67

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial y por lo tanto de las más cultivadas a campo abierto y en invernadero, por ambas razones continuamente se buscan alternativas sustentables para el manejo del cultivo que incrementen el rendimiento y mejoren la calidad de los frutos cosechados. La presente investigación tuvo como objetivo principal, evaluar diferentes prácticas agrícolas para el manejo sustentable de la fertilidad del suelo y el control de plagas y enfermedades presentes en el suelo, que afectan al cultivo de jitomate en condiciones de invernadero. El experimento se desarrolló en el municipio de Teziutlán, Puebla, México. Fueron establecidos siete tratamientos que incluyeron el aporte de enmiendas orgánicas, la fertirrigación del cultivo con la dosis completa de cada nutrimento y una dosis limitada, además el control de plagas y enfermedades del suelo a base de productos orgánicos y químicos. Para la obtención del rendimiento, materia seca, calidad física de los frutos, afectación de las raíces por plagas y enfermedades e índices de eficiencia de uso de agua y nutrimentos fue considerada una planta como unidad experimental y se tuvieron diez repeticiones de cada tratamiento distribuidas completamente al azar. La plantación fue establecida a una hilera con distancia entre plantas de 0.18 m, en camas de 23 m de largo y 0.8 m de ancho. Los resultados mostraron que el tratamiento con enmienda orgánica, fertirrigación completa y control orgánico de plagas y enfermedades en el suelo (T5), alcanzó el mayor rendimiento (139.37 t/ha) y mejor calidad física de los frutos cosechados (33.60 t/ha de frutos “L” con peso de 100 a 120 g y 68.63 t/ha de frutos “G” con diámetro promedio entre 60 y 71 mm); T5 fue eficiente en el uso de agua (44.01 kg/m³) y nutrimentos (N=8.96, P₂O₅=5.48, K₂O=13.60, CaO=11.88, MgO=3.05 kg/t), además demostró mayor resistencia a *Meloidogyne* sp. y *Fusarium* sp.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, invernadero, enmienda orgánica, fertirrigación, control fitosanitario.

ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the vegetables with the highest consumption worldwide and therefore the most cultivated in the open field and in the greenhouse, for both reasons, sustainable alternatives are continuously being sought for crop management that increase yield and improve the quality of the harvested fruits. The main objective of this research was to evaluate different agricultural practices for the sustainable management of soil fertility and the control of pests and diseases present in the soil, which affect tomato cultivation in greenhouse conditions. The experiment was developed in the municipality of Teziutlán, Puebla, México. Seven treatments were established that included the contribution of organic amendments, fertigation of the crop with the full dose of each nutrient and a limited dose, as well as the control of pests and soil diseases based on organic and chemical products. To obtain the yield, dry matter, physical quality of the fruits, affectation of the roots by pests and diseases and indices of efficiency of use of water and nutrients, a plant was considered as an experimental unit and there were ten repetitions of each treatment distributed completely random. The plantation was established in a row with a distance between plants of 0.18 m, in beds 23 m long and 0.8 m wide. The results showed that the treatment with organic amendment, complete fertigation and organic control of pests and diseases in the soil (T5), reached the highest yield (139.37 t / ha) and the best physical quality of the harvested fruits (33.60 t / ha of “L” fruits weighing 100 to 120 g and 68.63 t / ha of “G” fruits with average diameter between 60 and 71 mm); T5 was efficient in the use of water (44.01 kg / m³) and nutrients (N = 8.96, P₂O₅ = 5.48, K₂O = 13.60, CaO = 11.88, MgO = 3.05 kg / t), it also demonstrated greater resistance to *Meloidogyne* sp. and *Fusarium* sp.

Key words: *Solanum lycopersicum*, greenhouse, organic amendment, fertigation, phytosanitary control.

I. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de sur de América, específicamente de la región andina (Perú, Bolivia y Ecuador), aunque biológicamente, el cultivo de jitomate es una planta semipermanente apta para vivir y producir frutos durante varios años se cultiva como anual por razones económicas y comerciales (INTA, 2004). Es la hortaliza más popular y difundida mundialmente, por lo tanto la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. A esta hortaliza se le encuentra en los mercados durante todo el año, se consume tanto en fresco como en procesado y es una fuente rica en vitaminas (Velasco *et al.*, 2011).

La producción de cultivos en invernadero es de suma importancia ya que nos da una ventaja sobre la producción a cielo abierto, porque se establece una barrera entre el ambiente externo y el cultivo, creando un microclima interno que permite proteger el cultivo de condiciones adversas (Perea, 2009). En México, la mayoría de la producción de hortalizas en invernaderos se dedica al cultivo de jitomate, debido a las ventajas agronómicas que se tienen por el incremento en rendimiento y adaptabilidad a diferentes sistemas de producción (Sánchez, 2010). Además por la oportunidad de negocio que representa para los productores de hortalizas como un sistema económicamente rentable (Terrones, 2011).

Desde el punto de vista económico, el jitomate es una de las especies hortícolas más importantes debido al valor de su producción y la demanda de mano de obra que genera, además es el principal producto hortícola de exportación (Ortega, 2010).

La producción sostenible de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos con limitadas cantidades de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, inocuos, y con un alto valor nutricional (Márquez, 2008). Aunado a lo anterior, las enmiendas orgánicas para mejorar la fertilidad del suelo (estiércol fresco, seco o composta) se consideran un mejorador universal ampliamente difundido y sus beneficios en las propiedades físicas del suelo están ampliamente probadas (Castellanos, 2009). Un ejemplo de lo citado anteriormente es la mejora de la estructura del suelo, lo que significa que va a poder trabajarse más fácil y tendrá una mejor aireación y una adecuada retención del agua. Además provee de nutrientes a las

plantas gracias a su lento y sostenido flujo de sustancias nutritivas y sus ácidos orgánicos hacen a los nutrientes del suelo más disponibles para las plantas y estas sean más fuertes, tolerantes al ataque de las plagas y resistan mejor el cambio de pH (Hernández, 2003). En este sentido, los sistemas de horticultura protegida implican bastantes aspectos en los que se fundamenta su productividad, pero el manejo que se hace del suelo y el agua afecta directamente a los indicadores de sostenibilidad, eficiencia productiva y calidad de las cosechas. Por ejemplo, el manejo de la fertilidad del suelo es de suma importancia para optimizar la nutrición de los cultivos tanto a corto como a largo plazo y lograr una producción sostenible, lo cual significa un mínimo de pérdidas al ambiente; además, con respecto al uso del agua para el riego de cultivos hortícolas en invernaderos es fundamental definir el requerimiento de agua del cultivo, la cantidad de agua utilizada y evaluar las prácticas actuales de riego, la programación del riego en suelo y en sustrato y la eficiencia de uso del agua.

Con base a lo indicado previamente y ante las nuevas tecnologías aplicables en invernaderos, las cuales suponen rendimientos de alta calidad y mayores producciones por metro cuadrado, el agricultor o inversionista tiene frente a sí un campo de inversión muy alentador; no obstante, dichas alternativas deben ser evaluadas en su aspecto ambiental, técnico y financiero (Morales-Hernández *et al.*, 2017). Por lo anterior, la siguiente propuesta pretende evaluar como inciden en el cultivo de jitomate, las prácticas que comúnmente realizan los productores para mejorar la fertilidad del suelo y controlar plagas y enfermedades que se presentan en invernaderos de mediana tecnología que se tienen en muchas regiones del estado de Puebla.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar diferentes prácticas agrícolas para el manejo sustentable de la fertilidad del suelo, plagas y enfermedades; que afectan al cultivo de jitomate en condiciones de invernadero, en el municipio de Teziutlán, Puebla.

2.2 Objetivos Específicos

- Medir a los 30, 66, 91 y 122 días después del trasplante el crecimiento y desarrollo de las plantas de jitomate cultivadas.
- Estimar con una muestra de los frutos cosechados el rendimiento por planta y por superficie; además caracterizar su calidad física en cuanto a peso y tamaño.
- Determinar la eficiencia en el uso de N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO aportados con los fertilizantes empleados.
- Medir la eficiencia en el uso del agua de riego por el cultivo de jitomate en condiciones de invernadero.
- Monitorear las variables de radiación, temperatura y humedad relativa dentro del invernadero.

III. HIPÓTESIS

La aplicación de enmiendas orgánicas y el manejo de plagas y enfermedades con productos de origen biológico, afectará positivamente el crecimiento y desarrollo de la planta, el rendimiento y calidad física de los frutos cosechados, la eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes, lo cual permitirá incrementar la rentabilidad del cultivo de jitomate en condiciones de invernadero; en comparación con el manejo convencional del cultivo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Situación de la agricultura protegida

La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. La agricultura, por su naturaleza, se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este sistema tenga como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a esta actividad. Los riesgos pueden ser: climatológicos, económicos (rentabilidad, mercado) o de limitaciones de recursos productivos (agua o de superficie). Adicionalmente, se establece que la AP ha modificado las formas de producir alimentos y genera múltiples ventajas para los productores. Entre otras ventajas, permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, se enfrenta con éxito plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en menor espacio, sanos y con un mejor precio en los mercados. Generando, evidentemente, en un mejor ingreso para los productores (FAO-SAGARPA, 2007).

Para la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2015). La agricultura protegida, es aquella actividad que pretende minimizar los problemas de externalidades que se presentan en los cultivos realizados a campo abierto, este método tiene la ventaja que los cultivos pueden producirse fuera de temporada y 5 veces incrementar la producción con relación a la de campo abierto, puesto que cuentan con un sistema que puede adaptarse a las necesidades requeridas.

La horticultura protegida se define como el sistema de producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos hortícolas, con el propósito de alcanzar un crecimiento óptimo y con ello, un alto rendimiento. Este sistema permite ofrecer productos de alta calidad, con mejores precios de venta y con mayores niveles de inocuidad. La horticultura protegida contribuye a sustentar y fomentar el desarrollo agroindustrial, a general divisas y empleo para el país y una vida más digna entre la gente del medio rural (Sánchez, 2008).

4.1.1 Contexto mundial

La importancia de la horticultura en México se refleja en los datos estadísticos. Con solo 550 000 ha (2.7 % de la superficie agrícola nacional, las hortalizas contribuyen con el 14.3 % del

valor de la producción, ocupan 17.5 % de la fuerza de trabajo y aportan la mitad de las divisas generadas por el sector agrícola (Schwentenius, 1994).

La demanda de jitomate de invernadero en los EUA ha tenido un incremento sin precedentes en los últimos años. La importación creció de 19,000 ton en 1994 a 180,000 ton en el 2000, es decir, un incremento de casi 10 veces en solo seis años. En cuanto al origen de este volumen de importación, 101,000 t proceden de Canadá, 44,000 t de México, 35,000 t de la unión Europea y el resto de países como Marruecos e Israel (Cook, 2003).

Es importante destacar que tanto en México como en España, el 80 % de la producción bajo invernadero se realiza en suelo. Una de las ventajas del cultivo en suelo es el que tiene una alta capacidad de amortiguamiento desde el punto de vista nutricional y de manejo de agua. Además este sistema se presta para iniciar un proceso de aprendizaje en la horticultura protegida, pues es muy similar al manejo de la fertirrigación en la horticultura a cielo abierto y en el cual, por lo general, los productores de hortalizas ya tienen experiencias (Castellanos, 2003). Sánchez (2003) menciona que mundialmente se producen 84,412,578.46 toneladas de jitomate, encontrándose México en el décimo lugar como país productor.

4.1.2 Situación nacional

El 50 % de la superficie con agricultura protegida se concentra en cuatro estados: Sinaloa (22 %), Baja California (14 %), Baja California Sur (12 %) y Jalisco (10 %). Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son el jitomate (70 %), pimiento (16 %), pepino (10 %). En los últimos años se ha intensificado la diversificación de cultivos como la papaya, fresa, chile habanero, flores, plantas aromáticas (SAGARPA, 2015).

En México, las hectáreas protegidas han evolucionado desde 1998 a 2008 a una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de 34.5 %, existiendo diferentes versiones de su inventario. De la información obtenida en el II Simposio Internacional de Invernaderos 2008, de 8,834 ha con AP, 49 % eran de invernaderos tecnificados y de mediana tecnificación y el 51 % de malla sombra. Es decir, la dinámica de la TMCA corresponde en un porcentaje importante (70 %) al crecimiento de los invernaderos de mediana y baja tecnología. En México, los invernaderos de

mediana tecnología han proliferado en la región del bajío y los de baja tecnología se han instalado, preferentemente, en los estados de Baja California y Sinaloa (Moreno, *et. al.*, 2011).

4.2 Cultivo de jitomate en agricultura protegida.

El desarrollo del cultivo de jitomate empleando sustratos, bajo condiciones de la agricultura protegida, es capaz de generar frutos de excelente calidad además de cumplir con los estándares de inocuidad alimentaria. Por otra parte, en años recientes, la demanda de productos desarrollados orgánicamente se ha incrementado, debido a que los abonos orgánicos permiten, cuando se emplean como parte de los medios de crecimiento, mejorar las características cualitativas de los vegetales consumidos por el hombre (Rodríguez, 2009).

Jaramillo (2006) señala que el sistema de producción de jitomate bajo condiciones protegidas en México es relativamente nuevo, generando un impacto importante en los últimos años, por su incremento, superficie cultivada, productividad, rentabilidad y calidad del producto. El rendimiento promedio obtenido con este sistema es entre 5 y 8 kg por planta, superando tres veces el que se obtiene a libre exposición, que oscila entre 1.5 y 2 kg por planta.

4.3 Cultivo de jitomate en invernadero

El jitomate es una de las tres principales hortalizas cultivadas en el mundo, donde china es el principal productor con 52,586,860 toneladas (SIAP, 2017). EE.UU., es el principal importador de jitomate y México es el principal exportador de esta hortaliza, destinando el 99.7 % de sus exportaciones al mercado estadounidense. El cultivo a campo abierto abre cada vez más paso al cultivo bajo cubierta, esto debido a la gran medida a que la producción de jitomate bajo agricultura protegida (malla sombre o invernadero) ha puesto un incremento en el rendimiento por unidad de superficie (INTAGRI, 2018). En México se siembran alrededor de 80,000 ha con un rendimiento promedio de 28.7 t/ha. Comercialmente se producen 45 millones de toneladas de jitomate por año en 2.2 millones de hectáreas (Rojop, 2008).

El jitomate es una planta arbustiva, de crecimiento determinado e indeterminado, puede tener un ciclo de vida de más de un año, aunque se maneja como una planta anual. En condiciones de invernadero se usan variedades de crecimiento indeterminado ya que permiten tener producción

en periodos largos si se manejan adecuadamente, ya que estas plantas requieren de un manejo intensivo (Castellanos, 2009).

La necesidad de incrementar la producción agrícola de México en un contexto de escasa superficie cultivable por habitante y por productor, de irregularidades en el clima como la falta de agua y las heladas, y de serias limitantes en la fertilidad de los suelos, acentuadas por topografía accidentada, erosión hídrica y eólica y salinidad, ha llevado a considerar como una opción tecnológica el uso de sistemas de producción intensivo y de menos riesgo como la hidroponía y los invernaderos (Sánchez, 1998).

De acuerdo con Juárez *et al.*, (2011) las ventajas de producción de jitomate bajo invernadero son:

- Aumento de la calidad y del rendimiento de los frutos por unidad de superficie.
- Ampliación de la época de producción o doble ciclo.
- Ahorro de agua y fertilizantes por unidad de producto.
- Mejora del control de plagas y enfermedades.
- Precocidad en la producción de frutos.

4.4 Taxonomía del jitomate.

Según Navarro (2011) la taxonomía del jitomate se describe como:

Reino: Vegetal

Especie: lycopersicum

Clase: Dicotiledoneas

Nombre científico: *Solanum lycopersicum*

Familia: Solanales

Subfamilia: Solanoideae

Género: Solanum

4.5 Morfología del jitomate.

4.5.1 Semilla

La semilla del jitomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadamente de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forman una yema apical, dos cotiledones, el hipocotílo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable (Castellanos, 2009).

4.5.2 Tallo

Es grueso, pubescente, anguloso y de color verde. Mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. En el tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales, y en la porción distal se ubica el meristemo apical, de donde surgen nuevos primordios florales y foliares (Monardes, 2009). Inicialmente el tallo tiene una apariencia herbácea; está compuesto de epidermis con pelos glandulares, corteza, cilindro vascular y tejido medular (Escobar *et al.*, 2009).

4.5.3 Hoja

Es pinnada y compuesta. Presenta de siete a nueve folíolos peciolados que miden 4-60 mm x 3-40 mm, lobulados y con borde dentado, alternos, opuestos y, por lo general, de color verde, glanduloso-pubescente por el haz y ceniciento por el envés. Se encuentra recubierta de pelos glandulares y dispuestos en posición alternada sobre el tallo. La posición de las hojas en el tallo puede ser semierecta, horizontal o inclinada (Monardes, 2009).

Se denomina simpodio a un sector del tallo compuesto de tres hojas y un ramillete floral para el caso de las variedades de crecimiento indeterminado, que son las que usan en los invernaderos. Las hojas son las responsables de la fotosíntesis por lo que deben tener una buena disposición para una mayor captación de la radiación (Castellanos, 2009).

4.5.4 Flor

Es perfecta y regular. Los sépalos, los pétalos y los estambres se insertan en la base del ovario. El cáliz y la corola constan de cinco o más sépalos y de cinco pétalos de color

amarillo, que se encuentran dispuestos de forma helicoidal. Poseen cinco o seis estambres que se alternan con los pétalos, formando los órganos reproductivos. El ovario tiene dos o más segmentos (Infoagro Systems S.L., 2016).

Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimo, en grupos de tres a diez en variedades comerciales de jitomate medianas y grandes. Las inflorescencias se ubican en las axilas, cada dos o tres hojas (INTA, 2014). Es normal que se forme la primera flor en la yema apical, mientras que las demás aparecen en posición lateral y por debajo de la primera, siempre colocándose alrededor del eje principal, siendo el pedicelo el que une la flor al eje floral (Infoagro Systems S.L., 2016).

4.5.5 Fruto

Es una baya bilocular o plurilocular, subesférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600g. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En estado inmaduro es verde y, cuando madura, es rojo (EDIFORM, 2006).

4.5.6 Raíz

Ayuda a la planta a anclarse al suelo o al sustrato, absorbe y transporta nutrientes y agua a la parte superior de la planta. Está constituido por la raíz principal y las raíces secundarias y adventicias; estas últimas son numerosas y potentes y no superan los 30 cm de profundidad (Monardes 2009, INTA 2014). El interior de la raíz presenta tres partes: epidermis, córtex y cilindro vascular. La epidermis contiene pelos que absorben el agua y los nutrientes, mientras que el córtex y el cilindro vascular cumplen la función de transportar los nutrientes (Infoagro Systems S.L., 2016).

4.6 Manejo del cultivo de jitomate en invernadero

4.6.1 Limpieza y desinfección del invernadero

Osuna (2007) recomienda sacar todos los residuos de plantas, maleza y basura del interior. Es común que durante el ciclo del cultivo se adhieran residuos de las plantas y extractos que

generalmente se observan como manchones de colores verdosos sobre las mallas y las estructuras metálicas. Por ello es conveniente lavar y desinfectar todas las superficies al interior de los módulos mediante el procedimiento siguiente:

Lavado: Disolver 1.0 g de detergente en polvo por litro de agua y lavar hasta escurrimiento, con bomba aspersora de preferencia de motor, todas las superficies del interior incluyendo la malla antiafidos.

Desinfección: Preparar el volumen requerido para desinfección del interior, disolviendo 2 mililitros por litro de Busan 30[®] (TCMTB) o de Anibac 580[®] (cuaternario de amonio) por litro de agua; posteriormente se asperjan todas las superficies, incluyendo malla antiafido, bolsas con sustrato, rafia, alambre de tutoreo, etc. Es conveniente realizar esta actividad pocos días antes del trasplante para evitar re-contaminación de interior de los módulos por partículas arrastradas por el viento o por otros medios.

4.6.2 Acondicionamiento del suelo

Existen diferentes tipos de mejoradores de suelos, principalmente cal agrícola para suelos ácidos y yeso agrícola para suelos sódicos. Otro de los mejoradores universales ampliamente difundidos y cuyos beneficios en las propiedades físicas están probados, es la materia orgánica, ya sea en forma de estiércol fresco, seco o como composta. Estos mejoradores ayudan a un mejor desarrollo del sistema radicular ya que mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, con lo cual tendremos una mejor retención de humedad temperatura aireación etc. Todos estos beneficios en la zona radicular conllevan a una mejor calidad del fruto y a un mayor rendimiento (Ricardez *et al.*, 2009).

4.6.3 Trasplante

Mongue (2016) menciona que es un proceso mediante el cual las plántulas del semillero pasan a su lugar definitivo, sea al campo o al invernadero. Se realiza de acuerdo con la calidad y el vigor de la planta. Para el trasplante definitivo, este se realiza aproximadamente entre cuatro a cinco semanas después de la siembra en semillero. Es conveniente realizarlo cuando

la planta tenga entre tres a cuatro hojas bien formadas o cuando su altura oscile los 10 a 15 cm (Jaramillo *et al.*, 2006).

4.6.4 Entutorado

El tutorado consiste en guiar verticalmente las plantas a lo largo de una cuerda de plástico o de tela que va desde la base de la planta (tercera o cuarta hoja) hasta un alambre ubicado directamente sobre las plantas a 2,5 a 3,0 metros de altura y tendido en el mismo sentido del surco. Para sostener la planta a lo largo de la cuerda se pueden usar abrazaderas de plástico, las cuales se anillan al tallo por debajo del peciolo de una hoja completamente desarrollada y resistente. También se puede tutorar la planta enrollándola a la cuerda, en el sentido de las manecillas del reloj, cada 2 o 3 hojas o una vuelta por cada racimo. Se debe tratar de hacer esta labor sin maltratar a las plantas, es decir, no envolverlas más de lo necesario y no estrangularlas. La labor de enrollado de las plantas se hace semanalmente y hasta dos veces por semana durante las primeras semanas de desarrollo a temperatura elevada, cuando el crecimiento de las plantas es muy rápido. Posteriormente, cuando comienza la formación de frutos el enrollado se puede hacer una vez por semana. Es importante enfatizar que durante el enrollado la parte superior de la planta (la cabeza) debe quedar libre para permitir una expansión normal de las hojas y evitar su entorchamiento. A medida que crece la planta, será necesario descolgarla para facilitar su mantenimiento (Gómez, 2000).

4.6.5 Podas

La poda es la práctica de remover cualquier tipo de estructura de la planta. El principal objetivo de las podas es balancear el crecimiento reproductivo y vegetativo, permitiendo que los fotoasimilados se canalicen hacia los frutos, pero también tiene otros beneficios principalmente de tipo fitosanitario. El número de tallos o ejes a emplear por planta se considerará en la poda de formación. Esta práctica mejora la aireación de la planta, facilita la aporca y la aplicación de agroquímicos e influye en el tamaño de los frutos (Infoagro Systems S.L., 2016).

4.6.5.1 Poda de formación

Mediante esta poda se decide el número de tallos que va a tener la planta. Lo aconsejable para variedades de crecimiento indeterminado es la poda a un solo tallo, ya que la planta es más vigorosa y se facilita su tutorado y manejo. En caso de que se tome la decisión de dejar dos tallos en la planta, se deben escoger los dos tallos más vigorosos. El tallo más vigoroso es el principal y el segundo tallo es aquel que aparece inmediatamente por debajo de la primera inflorescencia (Sánchez, 2002).

4.6.5.2 Poda de brotes axilares o destallado

Esta poda se basa en la eliminación de los brotes axilares o yemas y tiene el propósito de mejorar el desarrollo del tallo principal. Generalmente se realiza una vez cada quince días, junto con la aplicación de un fungicida-bactericida para evitar la entrada de patógenos a la planta (Infoagro Systems S.L., 2016).

4.6.5.3 Poda de hojas o deshojado

Es el proceso mediante el cual se eliminan las hojas bajas viejas o enfermas. Facilita la ventilación y reduce la humedad relativa en la planta y la fuente de inóculo de patógenos. Si la variedad de jitomate tiene bastante follaje, se puede deshojar en la parte media de la planta. Se debe evitar la eliminación de más de tres hojas por encima del racimo de los frutos, ya que la planta podría ser sometida a un estrés (Rojas, 2015).

4.6.5.4 Poda apical o despunte

Consiste en eliminar la parte apical del tallo con el objetivo de detener el crecimiento vertical en los cultivares de crecimiento indeterminado, para mejorar el calibre de los frutos, dejando dos o tres hojas arriba de la última inflorescencia para dar sombra, nutrir el ramo y proteger el fruto del golpe de sol. Generalmente se realiza entre el sexto y el octavo racimo floral. El manejo de esta poda depende del cultivar a sembrar, las condiciones climatológicas, el desarrollo de la planta y su vigor, así como de las exigencias del mercado (Escalona *et al.*, 2009).

4.6.6 Polinización

La planta del jitomate es “autopolinizadora”, por lo cual no se requiere de polinización cruzada. Los jitomates son polinizados normalmente por el viento cuando crecen al aire libre. En cambio, en los invernaderos, el movimiento de aire es insuficiente para que las flores se polinicen por sí mismas, siendo necesaria la vibración de los racimos florales para obtener una buena polinización. En los cultivos bajo invernadero, los productores hacen una vibración de la planta golpeando el sistema de tutorado (Cuellar *et al.*, 2002).

Se lleva a cabo en condiciones de invernadero y consiste en hacer vibrar las plantas para que ocurra el desprendimiento del polen. También se pueden utilizar abejorros (*Bombus terrestris*). En otros países se ha comprobado que esta práctica incrementa en un 34 % la producción, además de eliminar la malformación de la fruta (Escobar y Lee, 2009).

4.6.7 Riego

El cultivo de jitomate, al igual que el resto de productos hortícolas, requiere una determinada cantidad de agua para obtener buenos rendimientos comerciales en épocas en las que la precipitación resulta insuficiente para el cultivo (Rojas y Castillo, 2007).

Los coeficientes de riego para el cultivo de jitomate presenta valores cercanos a los 0.8 de la evapotranspiración, en la etapa de plena producción, lo cual indica que el cultivo requiere de cantidades moderadas de agua (FAO, 2006). Por cada 33.88 kilogramos de fruto fresco de jitomate se necesitan un metro cubico de agua, lo cual es importante porque algunos híbridos pueden utilizarse en zonas donde se presentan problemas de agua (Carillo *et al.*, 2003). Por otra parte Alvarez *et al.*, (2011) mencionan que los frutos regados con menor cantidad de agua presentan el mayor peso y la mejor calidad. La lamina de riego de 0.8 presento los mejores resultados en área foliar y masa de frutos. El agua de riego con altas cantidades de sales está afectando negativamente la masa promedio de los frutos (Balaguera, 2009).

4.6.8 Fertirrigación

La fertirrigación es una técnica mediante la cual se aportan nutrientes a través del agua de riego. Entre sus ventajas se incluyen una uniforme aplicación del fertilizante y la

determinación de la cantidad de agua y nutrientes adecuados según la demanda del cultivo (Rincón, 2003).

Los fertilizantes utilizados normalmente en el fertirriego son sólidos o líquidos. Los sólidos deben ser altamente solubles en agua y tener las concentraciones más altas de nutrientes. Los fertilizantes a base de nitrógeno son: el nitrato de amonio, el nitrato de calcio, el nitrato de potasio y la urea; los que contienen fósforo son: el fosfato monopotásico, el ácido fosfórico y el fosfato monopotásico; los que llevan potasio son: el sulfato de potasio y el nitrato de potasio; los fertilizantes a base de magnesio son: el sulfato de magnesio y el nitrato de magnesio. Otros fertilizantes empleados en el fertirriego son el sulfato de zinc, el sulfato de manganeso, el sulfato de cobre, el ácido bórico y el molibdato sódico, entre otros (Molina, 2016).

El jitomate es relativamente tolerante a la salinidad. En el suelo saturado la conductividad eléctrica debe ser menor a 2,5 mS/cm y en el agua de riego, menor a 1,8 mS/cm, aunque puede elevarse un poco para mejorar los brix y la vida poscosecha de la fruta. Se recomienda utilizar agua de buena calidad y colocar dos cintas de riego a cada lado de la planta y cubiertas plásticas (Tjalling, 2006).

4.7 El rendimiento y sus componentes

4.7.1 Producción de materia seca

Actualmente, los sistemas de producción agrícola como la agricultura protegida, se manejan de forma intensiva y son caracterizados por grandes entradas de insumos como agua y fertilizantes (Beck, 1997). Cabe destacar que la humedad de los tejidos se excluye de los estudios de crecimiento debido a que es la masa seca la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Werner, 2005).

El rendimiento de un cultivo está determinado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha. Las hortalizas de fruto, cultivadas bajo condiciones de invernadero, se caracterizan, en su mayoría, por un crecimiento indeterminado, en donde los frutos son los principales órganos sumidero, los cuales compiten entre ellos y con los órganos vegetativos, por los asimilados disponibles (Peil, 2005). Por ello el análisis de

crecimiento de plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas tales como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, número de ramas, etc. (Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la razón de peso foliar (RPF), la tasa de asimilación neta (TAN), y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Ascencio *et al.*, 1973). Mientras los primeros (peso seco, longitud, etc), tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos (tasas de crecimiento) explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Geraud *et al.*, 1995).

4.7.2 Rendimiento comercial

La eliminación de brotes laterales reduce la competencia interna por agua y fotoasimilados, y el tutorado ayuda al soporte de la planta a la vez que mejora la iluminación del dosel (Nuez, 1995); también la manipulación de la densidad de plantas permite optimizar la radiación interceptada, importante para usarse como una estrategia para incrementar los rendimientos (Sánchez *et al.*, 1999). Una alta densidad de plantas aumenta la precocidad y reduce el ciclo biológico, pero los frutos producidos son de menor tamaño y calidad (Nuez, 1995).

El sistema de producción de jitomate en invernadero que más se ha generalizado en el mundo, consiste en utilizar variedades de crecimiento indeterminado (generalmente de tipo bola), en donde se manejan densidades de 2 a 3 plantas·m⁻² que llegan a crecer más de 7 m de largo, con área foliar que sobrepasa de 1.0 m² por planta. Con este sistema, en invernaderos con muy buen control de clima y del ambiente en la raíz, se logran cosechar de 15 a 25 racimos por planta por año, lo que implica ciclos largos de cultivo, que llegan a durar hasta 10 meses desde el trasplante hasta el final de la cosecha (Ponce *et al.*, 2000). Con esto es posible obtener hasta 500 t·ha·año (Resh, 2001). No obstante cuando el rendimiento ya no aumenta con el incremento de la densidad de población se debe a que el sombreado mutuo entre plantas afecta negativamente la producción de fotoasimilados, al grado de que el número de frutos por planta o el peso medio de cada fruto disminuyen de manera importante (Villegas *et al.*, 2004).

4.7.3 Calidad de los frutos

La composición química es una de las características más importantes de los frutos del jitomate, ya que determina su atracción y valor nutritivo como alimento, su metabolismo y ciertos requerimientos y prácticas de manejo en postcosecha (Thybo *et al.*, 2006)

En los frutos del jitomate, los porcentajes relativos de carbohidratos, lípidos, proteínas, fibras y vitaminas son medios, debido a la gran cantidad de agua que contiene esta especie (Sortino *et al.*, 2013). En este caso considerando las apreciaciones del consumidor y las necesidades del mercado, el estudio de la calidad se ha centrado en los aspectos organolépticos, los cuales dependen principalmente de una mezcla compleja formada por azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos y compuestos volátiles (Baldwin *et al.*, 2008). Por esta razón el sabor y la textura de los frutos son factores cruciales, ya que son componentes críticos de la percepción de los consumidores a la hora de seleccionar el producto (Chaib *et al.*, 2007).

Actualmente, la calidad interna del jitomate es estimada tanto a partir de estudios sensoriales como mediante mediciones de indicadores como: sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (Anjanappa *et al.*, 2013). La calidad sensorial del jitomate fresco y su aceptabilidad por los consumidores es una cuestión muy compleja y está determinada no solamente por la apariencia, firmeza, textura y el sabor de los frutos, sino también por otros factores, incluyendo el color, la textura, el aroma y la composición química de metabolitos primarios y secundarios (Davila-Alviña *et al.*, 2011).

4.8 Enmiendas para mejorar la fertilidad del suelo

El mantenimiento perdurable de la capacidad productiva del suelo requiere la integración de prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo, que permitan un manejo adecuado de los nutrientes para evitar su carencia o pérdidas por lixiviación, y de la materia orgánica para potenciar la biodiversidad edáfica y optimizar los parámetros edáficos ligados a su conservación (Labrador, 1996). La incorporación de materiales orgánicos, tales como los estiércoles, el rastrojo de maíz o los residuos de la cobertura de leguminosas, son prácticas

de manejo agrícola realizadas por los productores campesinos para disminuir o hacer más eficiente el uso de fertilizantes inorgánicos en el sistema de producción de maíz. Las enmiendas orgánicas aportan al suelo materia orgánica y nutrientes, con lo que se favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas (Pool-Novelo *et al.*, 2000);

4.9 Abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos pueden satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando las características de los vegetales consumidos (Rodríguez *et al.*, 2009) además, los abonos orgánicos mejoran las características de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación (Nieto *et al.*, 2002). Sin embargo, su composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo, varía según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Abawi *et al.*, 1994).

Los fertilizantes orgánicos ejercen un efecto multilateral sobre las propiedades agronómicas de los suelos y, cuando se utilizan correctamente, elevan de manera adecuada la cosecha de los cultivos agrícolas. Por tales razones, se justifica la evaluación de alternativas naturales, tales como residuos de cosecha, estiércol, abonos verdes y composta, para incrementar tanto los rendimientos como los niveles de materia orgánica en el suelo (Romera *et al.*, 2000).

El aprovechamiento de los desechos orgánicos hoy en día representa una alternativa de importancia tecnológica, ecológica y económica para la obtención de composta, el cual puede ser utilizado como fertilizante orgánico y mejorador de los suelos, tanto en huertos familiares como en invernaderos, es posible disminuir la aplicación de fertilizantes mediante el uso de abonos orgánicos; es en este aspecto donde la composta tiene un papel determinante y reduce la inversión que se realiza para adquirir los fertilizantes inorgánicos (Gómez *et al.*, 1999).

Los beneficios de los abonos orgánicos son evidentes, la composta ha mejorado las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana (Nieto *et al.*, 2002) y como

sustrato para cultivos en invernadero que no contamina el ambiente (Rodríguez *et al.* 2008). En tanto que la vermicomposta es el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.*, 1984).

4.9.1 Lombricomposta.

El compostaje es el proceso por el cual la mezcla de materiales de origen animal y vegetal son parcialmente descompuestos bajo la acción de factores biológicos, incluyendo lombrices, hasta un producto final análogo al humus de composición variable. Este proceso requiere de condiciones adecuadas de oxígeno, humedad y temperatura (Hernández, 1996).

La vermicomposta, también conocida como humus de lombriz, o lombricomposta, es considerado, por muchos investigadores y productores como uno de los mejores abonos orgánicos del mundo, la cantidad de elementos nutritivos dependerá de las características químicas del sustrato con que se alimentaran las lombrices (Legall, 2007). La lombricomposta, material similar a la tierra, es producido a partir de residuos orgánicos, contiene un elevado contenido de elementos nutritivos (Ruiz, 2011).

4.9.2 Características de la lombricomposta.

La lombricomposta contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser inmediatamente asimilables por las raíces de las plantas. Por otra parte, impide que estos sean lavados por el agua de riego manteniéndolos por más tiempo en el suelo; el cual permite de la disponibilidad de los elementos nutritivos cuando la planta los requiere (SAGARPA, 2010). Además la lombricomposta contiene sustancias que actúan como reguladores de crecimiento, elevada la capacidad de intercambio catiónico (CIC), alto contenido de ácidos húmicos, y aumenta la retención de humedad y la de porosidad lo que facilita la aireación y el drenaje (Hashemimajd *et al.*, 2014).

Ruiz (2011) menciona que las ventajas de la Lombricomposta son:

- Incrementa la flora microbiana y fauna del suelo en los terrenos de cultivo.

- Los elementos nutritivos (N, P, K, Ca, Mg, y B), están disponibles para las plantas.
- Favorece la retención de agua en el suelo.
- Mejora las características físicas, químicas y estructurales en el suelo.

4.10 Principales plagas y enfermedades del cultivo de jitomate en invernaderos

Uno de los problemas que más afecta la producción de jitomate en México es el control de plagas y enfermedades. No solo por aumentar los costos del cultivo sino que también ocurre cierta resistencia a los productos químicos por parte de las plagas cuando estas eran controladas aceptablemente con los mismos productos años atrás (Alarcón y Bolkan, 1994). Según Carrillo *et al.* (2003), en los últimos años, la superficie dedicada al cultivo de jitomate ha disminuido gradualmente, debido a diversos factores; entre ellos, la incidencia creciente de plagas y enfermedades. Dentro de estas podemos mencionar al gusano alfiler (*Keiferia lycopersicella*), los gusanos del fruto (*Heliothis zea* y *H. virescens*), el gusano soldado (*Spodoptera exigua*), el gusano franja amarilla (*Spodoptera ornitogalli*), mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), trips (*Frankliniella occidentalis*), áfidos (*Mizus persicae*) y el minador de la hoja (*Lyriomiza sativae*), los cuales producen hasta un 90 % de pérdidas. Dentro de las enfermedades, una de las más importantes, es el tizón tardío causada por el hongo *Phytophthora infestans* (Félix, 1993).

4.10.1 Enfermedades en jitomate

Flores (2012) señala que las enfermedades son procesos dinámicos causados por organismos que son denominados patógenos. Para que éstas se manifiesten deben convenir tres factores.

1. Enfermedad virulenta: que existan los organismos con capacidades para producir enfermedad (hongos, bacterias, virus, etc.).

2. Planta susceptible: una planta incapaz de defenderse debido a condiciones de estrés por exceso de fertilización, suelo salino, exceso de agua, y condiciones ambientales que la predisponga a la enfermedad.

3. Ambiente favorable: condiciones ambientales de temperatura, humedad, entre otras, que le permitan al agente causal enfermar a la planta.

Entre los agentes causales destacan hongos, bacterias, virus y nematodos, los que pueden provocar pérdidas importantes de rendimiento, como también en la calidad comercial de los jitomates bajo invernadero. Estos agentes pueden afectar a las plantas en diferentes estados de desarrollo y disminuir su vida útil. Dependiendo de la incidencia y severidad de los problemas fitopatológicos, pueden transformarse en factores limitantes para la producción, provocando pérdidas económicas a los productores (Allende, 2017).

Bernal (2010) menciona que las principales enfermedades en jitomate son:

Enfermedades Causadas Por Hongos:

- Mancha gris de las hojas
- Algunos aspectos del ciclo de la enfermedad y su epidemiología
- Moho de la hoja
- Mancha de la hoja
- Moho gris
- Tizón temprano
- Tizón tardío
- Pudrición de frutas y raíces
- Marchitamiento
- Moho blanco
- Mildú pulverulento
- Podredumbre corchosa de las raíces
- Marchitamiento
- Pudrición de las raíces y corona

Enfermedades causadas por bacterias

- Cancro bacteriano
- Marchitamiento bacteriano
- Pudrición bacteriana del tallo
- Necrosis de la médula
- Mancha bacteriana
- Pequeñas manchas bacterianas

Enfermedades producidas por virus

- Peste negra del jitomate
- Virus del mosaico del jitomate

4.10.2 Plagas en jitomate

Allende (2017) señala que el Manejo Integrado de Plagas (MIP) es una estrategia sostenible, que combina diferentes herramientas de control. Entre sus características destaca el uso óptimo y reducido de plaguicidas, favoreciendo la acción de los enemigos naturales y el control

biológico. Su fundamento está constituido por principios ecológicos que reconocen e interpretan los cambios en la dinámica poblacional de la plaga y sus relaciones.

Una adecuada implementación de un programa de MIP considera:

- Identificación de las plagas y sus enemigos naturales.
- Monitoreo de las plagas, determinando los niveles de infestación de la plaga, la presencia de enemigos naturales y el efecto de las condiciones ambientales sobre éstas.
- Umbral de daño económico.
- Toma de decisión de manejo, en relación a los datos obtenidos desde el monitoreo.
- Herramientas de manejo: control natural, cultural, físico, biológico, químico, entre otros.

Castellanos (2009) menciona las principales plagas en el cultivo de jitomate bajo invernadero:

- Mosca blanca
- Paratrioza
- Trips
- Pulgones
- Araña roja

4.11 Eficiencia de uso de agua

El uso eficiente del agua en el campo es uno de los factores fundamentales para poder garantizar la producción alimentaria y el trabajo de las familias mexicanas vinculadas con el sector agrícola (Álvarez, 2011). La “eficiencia en el uso del agua (EUA)” o “productividad del agua (PA)” es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste en un determinado momento (Salazar-Moreno, 2014). Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m³ de agua utilizada (Fernández y Camacho, 2005).

La productividad del agua es un indicador importante en áreas con recursos hídricos esenciales y permite calcular el valor económico del agua de riego que puede ser maximizado y por lo tanto será uno de los prerrequisitos para las políticas de su uso en la producción de alimentos (Salazar-Moreno, 2014).

Las necesidades de agua de los cultivos bajo invernadero son menores que los cultivos a campo abierto. En regiones con alta radiación solar, un invernadero de plástico puede reducir el uso del agua en un cultivo en 30% (FAO, 1991).

4.12 Eficiencia en el uso de nutrientes

El balance de nutrientes es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos (incluyendo residuos de cultivos no generados en el mismo lote). La eficiencia de uso de los nutrientes es un factor de importancia a nivel productivo, económico y ambiental. Se debe tener en cuenta que incrementando la eficiencia de uso de los nutrientes y, consecuentemente, la eficiencia global del sistema, se genera una mayor potencialidad en beneficios económicos y sustentables en el largo plazo de producción. La eficiencia de uso de los nutrientes o fertilizantes describe como las plantas o los sistemas de producción utilizan los nutrientes. La eficiencia se puede estudiar desde los rendimientos de los cultivos, la recuperación en planta y la extracción de nutrientes por el sistema (Ciampitti y García, 2008).

Los egresos de nutrientes de un lote pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio en granos y forrajes cosechados y los rendimientos de los cultivos, los ingresos de nutrientes se estiman a partir de las cantidades de fertilizantes o abonos orgánicos aplicados y su concentración en nutrientes (Ciampitti y García, 2007). El uso eficiente de nutrientes es un aspecto de gran relevancia debido al incremento en los costos de los fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental asociada con el uso inapropiado de nutrientes (Espinosa, 2012).

4.13 Variables climáticas dentro del invernadero

4.13.1 Climatización de los invernaderos.

Dentro del invernadero se maneja un microclima que favorezca el crecimiento de las plantas. Una elevada radiación solar y temperatura se traducen en un alto índice de evapotranspiración del cultivo lo que provoca daños y muerte de las plantas (Nuño, 2007).

4.13.2 Radiación

La radiación solar no solo es la energía que impulsa la productividad de los cultivos por el proceso de la fotosíntesis, sino que también determina el uso del agua por el proceso involucrado en la evaporación y la transpiración, la radiación solar es un recurso importante para determinar el crecimiento y rendimiento de los cultivos intercalados en el componente, sobre todo cuando otros recursos (por ejemplo, agua y nutrientes) se ve muy limitados en el crecimiento de los cultivos (Vásquez, 2018).

La radiación solar es la fuente de energía utilizada por las plantas para el proceso de fotosíntesis mediante el cual las plantas se desarrollan, producen y crecen de materia vegetal (Caldari, 2007). Parte del material vegetal es el producto de la cultura, es decir, el fruto, hoja, tallo o raíz. Existe una relación directa entre la cantidad de radiación solar recibida por el cultivo y la cosecha, como el crecimiento y rendimiento de los cultivos está relacionada con la cantidad de radiación solar recibida durante el periodo de crecimiento (Hernández *et al.*, 2001).

4.13.3 Temperatura

Para la mayoría de los productores hortícolas, entre más alta sea la temperatura durante el desarrollo del fruto, más temprana es su cosecha. Las altas temperaturas aumentan la transpiración y por lo tanto disminuye el peso del fruto (Reina, 1998). Es decir la temperatura que favorece al crecimiento de la planta de jitomate es el clima caliente a mayor temperatura mayor será la velocidad de crecimiento, pero si hay poca luminosidad hay poca floración y un desarrollo raquíutico. El rango de temperatura óptima es de 24°-28°C (Nuño, 2007).

4.13.4 Humedad relativa

La Humedad relativa optima está en el rango de 70-80 % lo que permite una adecuada transpiración, cuando se exceden estos rangos se crea un ambiente favorable para el desarrollo de patógenos y deficiencias de calcio en frutos y hojas de jitomate (Nuño, 2007). Una humedad relativa alta proporciona mayor peso y volumen del jugo dándole un buen sabor (Reina, 1998).

4.13.5 Déficit de presión de vapor

La presión de vapor real (e_a) es una de las expresiones más comunes del contenido de vapor de agua en la atmósfera y es una variable necesaria para el cálculo del déficit de presión de vapor ($e_s - e_a$), la mejor estimación de la evapotranspiración de referencia se obtiene a partir del déficit de presión de vapor que emplea la temperatura media para la determinación de la presión de vapor a saturación y la humedad relativa media para la determinación de la presión de vapor real (Irigoyen, 2005).

La presión real de vapor de agua es un elemento importante en la existencia de la humedad circundante en la atmósfera (Cervantes-Osornio, 2013). Determinar el déficit de presión de vapor resulta necesario para el cálculo de la evapotranspiración (Allen *et al.*, 1998), variable relacionada con los requerimientos de agua de los cultivos y que influye finalmente en la lámina de riego durante la programación de riegos de los cultivos; de igual manera, la presión real de vapor de agua representa un elemento básico como variable en la modelación de crecimiento de cultivos (Jensen *et al.*, 1990).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de 1,250 m² de tipo baticenital, ubicado dentro de las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en la localidad de San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, con coordenadas: 19° 49' 04'' de latitud norte y 97° 21' 39'' de longitud oeste. El clima es templado con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 15 °C y una precipitación media anual de 1,609 mm. Se localiza a una altitud de 1,675 msnm (INEGI, 2017).

5.2 Material vegetal

Las plántulas de jitomate fueron adquiridas del semillero el Cuadrito, ubicado en la comunidad de San Martín Tonalapa, Tetela de Ocampo, Puebla. Se trasladaron al invernadero cuando éstas tenían una edad aproximadamente de cuatro a cinco semanas, cuando su altura oscila entre 15 o 20 cm. El trasplante se realizó el día 12 de Marzo de 2020.

5.2.1 Descripción del material vegetal

La variedad utilizada fue el híbrido Aguamiel® de la casa comercial Vilmorin. Jitomate indeterminado para invernadero y campo abierto, semitardío, de buen vigor.

Planta: Con entrenudos cortos, buena cobertura y alta producción.

Fruto: Alargado, de buen tamaño. Homogeneidad en tamaño y peso del fruto. Frutos muy firmes. Buena conservación.

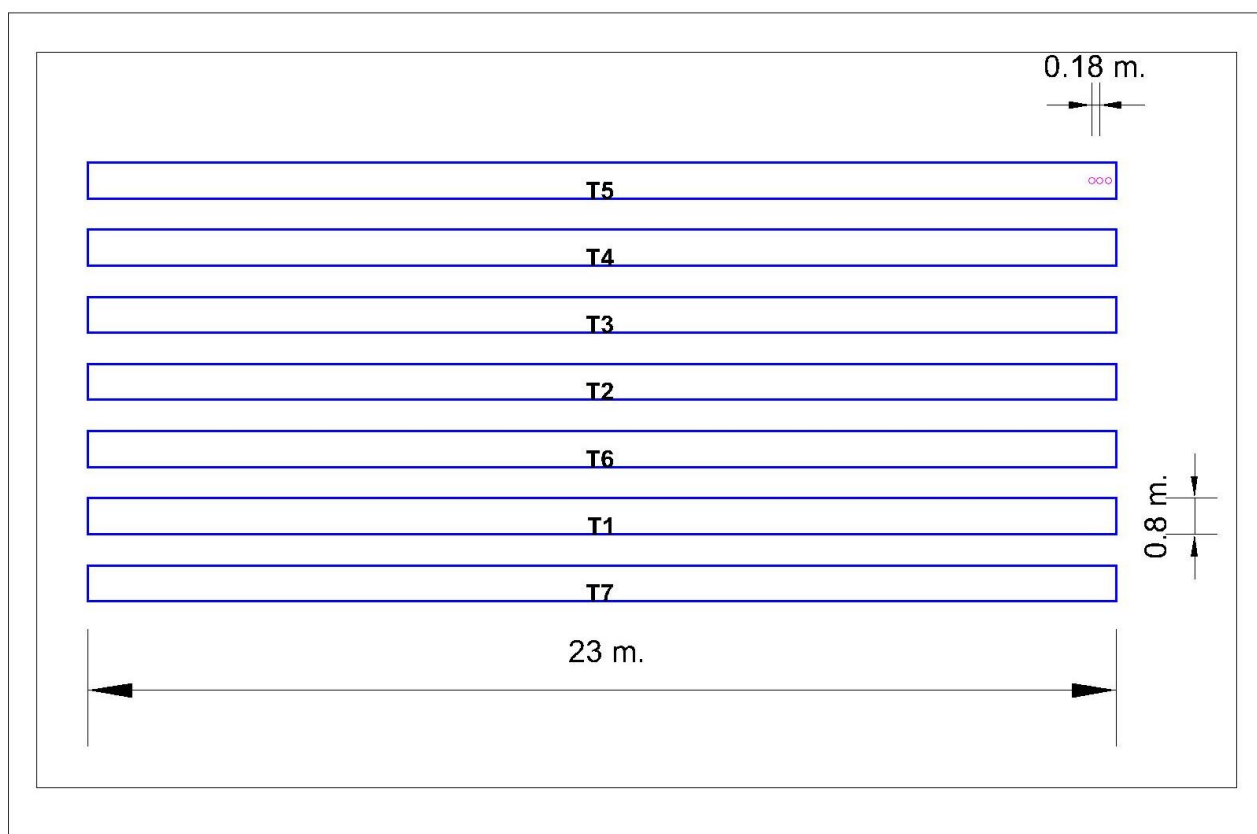
Resistencia alta a: Virus del mosaico del jitomate (ToMV), *Verticillium dahliae* (V), *Fusarium oxysporum* f.sp (Fol: 0.1), Virus del bronceado del jitomate (TSWV). Resistencia intermedia a *Meloidogyne* (M) y Virus de la cuchara del Jitomate (TYLCV).

5.3 Descripción de tratamientos

Los tratamientos evaluados y las camas de siembra en los que fueron evaluados se describen en el Cuadro 1 y la Figura 1.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Descripción
T1	Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo.
T2	Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo.
T3	Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno
T4	Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo.
T5	Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo.
T6	Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo.
T7	Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo.

**Figura 1. Distribución de tratamientos.**

5.4 Establecimiento del experimento

Cada tratamiento fue establecido en el suelo, en una cama de 23 m de largo y 0.8 m de ancho. La plantación se estableció en una hilera con una distancia de siembra a 0.18 m por planta, con un total de 120 plantas por cama. Para el sistema de riego se utilizó cinta de riego de 5/8" (16 mm), con gotero a cada 0.20 m. el nivel de humedad del suelo se monitoreo con el uso de tensiómetros y aplicando el riego de acuerdo a la dosis establecida a cada etapa.

5.4.1 Fertirrigación

Para todos los tratamientos durante los primeros 15 días después del trasplante se aplicó la misma solución nutritiva con la finalidad de homogeneizar el desarrollo inicial del cultivo.

Posteriormente a la etapa inicial, en los tratamientos 3, 4, 5, 6 y 7, la solución nutritiva utilizada se denominó “COMPLETA” y es superior a la propuesta en el manual de producción de jitomate en invernadero (Castellanos, 2009). Por otra parte, para los tratamientos 1 y 2, la solución nutritiva se denominó “LIMITADA” y aproximadamente corresponde a los rangos propuestos por Castellanos (2009). Las concentraciones iónicas y cantidad de fertilizantes utilizadas para preparar las soluciones nutritivas se presentan en los Cuadros 2, 3, 4, y 5.

Cuadro 2. Concentración de la solución nutritiva (me/L) para los tratamientos con fertirrigación “COMPLETA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.

Nutrimento	Etapa de establecimiento	Etapa de desarrollo vegetativo	Etapa de floración e inicio de fructificación	Etapa de cosecha
	0-15 DDT	15-60 DDT	60-90 DDT	90-150 DDT
NO ₃ ⁻	15.0	11.0	14.0	18.0
H ₂ PO ₄ ⁻	2.0	2.0	3.0	2.0
SO ₄ ²⁻	3.0	6.0	8.0	8.0
K ⁺	7.0	5.0	9.0	11.0
Ca ²⁺	10.0	10.0	11.0	12.0
Mg ²⁺	3.0	4.0	5.0	5.0

DDT: Después del trasplante.

Cuadro 3. Cantidad de fertilizantes (g/L) para preparar la solución nutritiva para los tratamientos con fertirrigación “COMPLETA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.

Fertilizante	Etapa de establecimiento	Etapa de desarrollo vegetativo	Etapa de floración e inicio de fructificación	Etapa de cosecha
	0-15 DDT	15-60 DDT	60-90 DDT	90-150 DDT
Nitrato de potasio	0.505	0.101	0.303	0.606
Sulfato de magnesio	0.369	0.492	0.615	0.615
Nitrato de calcio	1.180	1.180	1.298	1.416
Fosfato de potasio	0.272	0.272	0.408	0.272
Sulfato de potasio	0.000	0.174	0.261	0.261

DDT: Después del trasplante.

Cuadro 4. Concentración de la solución nutritiva (me/L) para los tratamientos con fertirrigación “LIMITADA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.

Nutrimento	Etapa de establecimiento	Etapa de desarrollo vegetativo	Etapa de floración e inicio de fructificación	Etapa de cosecha
	0-15 DDT	15-60 DDT	60-90 DDT	90-150 DDT
NO ₃ ⁻	15.0	5.5	7.0	9.0
H ₂ PO ₄ ⁻	2.0	1.0	1.5	1.0
SO ₄ ²⁻	3.0	3.0	4.0	4.0
K ⁺	7.0	2.5	4.5	5.5
Ca ²⁺	10.0	5.0	5.5	6.0
Mg ²⁺	3.0	2.0	2.5	2.5

DDT: Después del trasplante.

Cuadro 5. Cantidad de fertilizantes (g/L) para preparar la solución nutritiva para los tratamientos con fertirrigación “LIMITADA” del cultivo de jitomate en suelo, en cuatro etapas de su desarrollo.

Fertilizante	Etapa de establecimiento	Etapa de desarrollo vegetativo	Etapa de floración e inicio de fructificación	Etapa de cosecha
	0-15 DDT	15-60 DDT	60-90 DDT	90-150 DDT
Nitrato de potasio	0.505	0.051	0.152	0.303
Sulfato de magnesio	0.369	0.246	0.308	0.308
Nitrato de calcio	1.180	0.590	0.649	0.708
Fosfato de potasio	0.272	0.136	0.204	0.136
Sulfato de potasio	0.000	0.087	0.131	0.131

DDT: Después del trasplante.

5.4.2 Enmienda orgánica

Como mejorador de suelo a los tratamientos 1, 2, 3, 4, y 5 se les agrego composta y estiércol fresco de borrego (Cuadro 6). La composta utilizada es a base de estiércol de bovino y proviene de la casa comercial VIOHACHE Compostas[®] y cuenta con la siguiente composición garantizada: 22.04 % de Materia Orgánica, 0.90 % de Nitrógeno, 0.02 % de Fosforo. 1.40 % de Potasio, 0.26 % de Calcio, 0.78 % de Sulfato, 0.5 % Acido Húmico. 0.5 % Acido Fulvico, con un pH de 8.89 y CE de $\leq 1.4 \text{ dSm}^{-1}$.

La descripción de la enmienda orgánica aplicada a los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 se muestra a continuación en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Descripción de tratamientos con enmienda Orgánica.

Tratamiento	Enmienda orgánica
T1	
T2	Dos kg de composta y un kg de estiércol fresco de borrego por cada metro
T3	lineal de cama.
T4	12.5 kg/cama de cal hidratada.
T5	

5.4.3 Control de plagas y enfermedades en el suelo

Las estrategias de manejo fitosanitario del cultivo se enfocaron en el marco de control orgánico y químico, los tratamientos 1, 4 y 7 fueron con el control químico, por su parte los tratamientos 2, 5 y 6 fueron de control orgánico y únicamente para el tratamiento 7 se utilizó peróxido de hidrogeno para la desinfección del suelo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Descripción de tratamientos de acuerdo al tipo de control de plagas y enfermedades del suelo.

Tratamiento	Control de plagas y enfermedades en el suelo.
T1, T4 y T7	Control químico Abamectina Cipermetrina Propamocarb Fosetil Thiametoxam Lambda cyalotrina
T2, T5 y T6	Control orgánico Extracto de higuera (<i>Ricinus communis</i>) <i>Paecilomyces lilacinus</i> Quitosano Extractos Vegetales Silicio Organico <i>Trichoderma harzianum</i> Bacterias Heterotroficas Aerobias Bacterias fijadoras de Nitrógeno

	Hongos Solubilizadores de Fosforo
	<i>Pisolithus tinctorius</i>
T3	Peróxido de Hidrogeno

5.4.4 Control de plagas y enfermedades en la planta

El control de las plagas y enfermedades que se presentaron durante el desarrollo del cultivo fue el mismo para todos los tratamientos y se realizó mediante productos biológicos entre los cuales se tienen principalmente: Larrea T[®] (Extracto de gobernadora) y SmartKill[®] (Extractos vegetales), Ambios[®] (Extractos vegetales y polisulfuros).

5.5 Variables evaluadas

5.5.1 Variables de crecimiento

Las variables de crecimiento medidas se evaluaron a los 30,66, 91 y 122 ddt.

5.5.1.1 Diámetro del tallo

Se midió con ayuda de un vernier digital marca Steren[®], los valores fueron registrados en mm.

5.5.1.2 Altura de planta

La altura de planta se determinó con un flexómetro marca Trupper[®], tomando como base la superficie de la cama y midiendo hasta la punta de la planta. Los valores se registrarán en cm.

5.5.1.3 Distancia entre racimos

La distancia entre racimos se tomó con un flexómetro marca Trupper[®], lo cual nos permitió tener una idea de la nutrición de la planta. Los valores se registraron en cm.

5.5.1.4 Crecimiento y sanidad de la raíz

El crecimiento y la sanidad de la raíz se evaluó al final del ciclo del cultivo, se midió la longitud de la raíz con ayuda de un flexómetro marca Trupper®, con una báscula electrónica se tomó el peso fresco y seco la de raíz y la evaluación de nematodos y enfermedades se evaluó con la escala de severidad que se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Escala de severidad de daño provocado por *Meloidogyne* spp. y pudrición causada por *Fusarium* spp., en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero.

Nematodos		<i>Fusarium</i>	
Clasificación	No.	Clasificación	No.
0	Raíces sanas y completas	0	Sin daños
1	0 - 5 masas	1	0 - 25 %
2	5 - 10 masas	2	25 - 50 %
3	10 - 15 masas	3	50 - 75 %
4	15 + masas	4	75 - 100 %

5.5.1.5 Determinación de materia seca

La materia seca se evaluó en tres etapas (45, 90 y 120 días después del trasplante) considerando tres plantas por tratamiento y se determinó a 70 °C de temperatura en una estufa con circulación forzada de aire, el peso seco total se dividió en hojas, tallos y frutos.

5.5.2 Variables de desarrollo

El desarrollo de la planta se evaluó en términos de la aparición de las diferentes estructuras de la planta, considerando principalmente hojas, flores, frutos (cuajado, maduración fisiológica y comercial). Se utilizó el concepto de grados días de desarrollo para medir las presencias de las distintas etapas fenológicas.

5.5.2.1 Cálculo de los grado días de desarrollo

Se descargaron las temperaturas horarias de una estación meteorológica Vantage Pro 2.0 ubicada dentro del invernadero y el cálculo de los grados-días se desarrolló utilizando la siguiente metodología:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b)$$

Donde:

T_i= temperatura media diaria (°C)

T_b= temperatura basal (°C)

n= número de días del periodo

5.5.3 Variables de rendimiento

5.5.3.1 Número de flores y frutos por racimo

El número de frutos cuajados de cada racimo se contabilizo visualmente, también se realizó una estimación de las flores y/o frutos abortados, contando al inicio y al final de la floración de cada racimo el número de flores y el número de frutos finalmente cuajados.

5.5.3.2 Rendimiento

Se obtuvo con frutos cosechados de 10 plantas por tratamiento cuando estas alcanzaron la madurez comercial y/o fisiológica, estos frutos se pesaron en una báscula electrónica. Registrando los valores en g.

5.5.3.3 Calidad comercial de frutos

Se pesaron los frutos cosechados de 10 plantas con las que se determinó el rendimiento; las características de calidad del fruto del jitomate en cuanto al tamaño, con base a su diámetro ecuatorial se realizó de acuerdo con la norma mexicana NMX-FF-031-1997 “Productos alimenticios no industrializados para consumo humano, hortalizas frescas, jitomate

(*Lycopersicon esculentum* Mill.) publicado en el diario oficial de la federación y se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Clasificación de fruto por peso en jitomate de tipo saladette.

Tamaño	Diámetro mm (in)			
	Mínimo		Máximo	
	mm	(in)	mm	(in)
Chico	38	(2 1/2)	52	(2 1/16)
Mediano	51	(2)	60	(2 3/8)
Grande	59	(2 5/16)	71	(2 13/16)
Extragrande	70	(2 3/4)	En adelante	

También se determinó el peso fresco promedio de los frutos en cada una de las calidades establecidas en el Cuadro 10, el porcentaje por cada tamaño clasificado con respecto al rendimiento total. Además se midió el diámetro longitudinal, ecuatorial y se estimó el diámetro promedio.

Cuadro 10. Clasificación de los frutos de jitomate saladette en base a su peso.

Tamaño (g)	Mínimo	Máximo
Destrío		<60
Small (S)	60	80
Mediano (M)	81	100
Largo (L)	101	120
XL	121	160
Jumbo	161	180
Extra		>180

5.5.4 Eficiencia del uso del agua de riego

La eficiencia en el uso del agua de riego se cuantificó como la relación entre el rendimiento comercial cosechado del cultivo por unidad de agua utilizada por éste (Fernández y Camacho, 2005).

5.5.5 Eficiencia de uso de los nutrientes de fertilizantes

La eficiencia de uso de los principales nutrientes aportados como fertilizantes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio) se calculó con la relación entre el rendimiento comercial y la cantidad de cada nutriente aportado como fertilizante (Fageria *et al.*, 2008).

5.5.6 Variables climáticas del invernadero

El registro de las variables climáticas dentro del invernadero se realizó por medio de una estación meteorológica electrónica de la marca Davis®, modelo Vantage Pro 2.0

Las variables que se registraron cada hora durante toda la evaluación del cultivo fueron: temperatura (°C), humedad relativa (%) y radiación solar (W/m²).

5.6 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con siete tratamientos y diez repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por una planta.

El modelo estadístico propuesto es (Infante y Zárate de Lara, 2012):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Respuesta en la j -ésima unidad experimental con el tratamiento i -ésimo.

μ : Media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos.

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento.

ϵ_{ij} : Error experimental en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

5.7 Análisis estadístico

Los análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($p=0.05$) se realizaron con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) para Windows (SAS Institute, 1999).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Variables de crecimiento de la planta

6.1.1 30 días después del trasplante (ddt)

Los resultados obtenidos del crecimiento de las plantas a 30 ddt se muestran en el Cuadro 11 y en éste se observa que los tratamientos afectaron significativamente las variables de diámetro de tallo, altura de planta y distancia de racimos, no así el número de flores y frutos.

El diámetro de tallo fue el máximo en T1 (13.36 mm) y en contraparte con T3 y T6 se tuvieron los valores mínimos (12.10 y 12.19 mm, respectivamente).

La altura de planta en T4 (1.44 m) fue significativamente mayor que en T7 (1.37 m), es importante señalar que entre estos tratamientos la variación únicamente consistió en el uso de enmienda orgánicas. Vázquez (2015) argumenta que al emplear compostas, éstas contienen elementos nutritivos necesarios que favorecen el desarrollo del tomate bajo condiciones de invernadero y se manifiesta en el incremento de altura de planta, por lo cual considera que en la producción orgánica la cantidad de compostas que se debe aplicar en las camas de siembra de los invernaderos puede ser desde 3 a 6 toneladas

En la distancia de racimos se observó que hubo diferencias significativas entre T4 y con respecto a T2 y T5, la cual fue del orden de 6.00 a 8.00 cm, respectivamente.

Cuadro 11. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) a 30 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	Diámetro de tallo		Altura de planta		Distancia de racimos		Número de flores		Número de frutos	
	mm		m		m					
T1	13.36	a	1.44	bc	0.46	ab	6.50	a	6.50	a
T2	12.44	ab	1.43	bcd	0.40	c	6.80	a	6.80	a
T3	12.10	b	1.49	ab	0.40	bc	5.60	a	5.60	a
T4	12.73	ab	1.54	a	0.46	a	7.10	a	7.10	a
T5	12.86	ab	1.43	bcd	0.38	c	6.10	a	6.10	a
T6	12.19	b	1.40	cd	0.43	abc	5.90	a	5.90	a
T7	12.57	ab	1.37	d	0.41	abc	6.60	a	6.40	a

CV (%)	6.6	3.4	11.4	24.98	25.09
DMSH	1.1	0.1	0.06	2.16	2.16

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente ($p=0.05$)

CV = Coeficiente de variación

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

6.1.2 66 días después del trasplante (ddt)

De acuerdo a los análisis de varianza realizados para cada variable de crecimiento a 66 ddt no hubo diferencias mínimas significativas entre tratamientos y los valores promedio que se obtuvieron fueron: 13.97 mm de diámetro de tallo, 2.39 m de altura de planta, la distancia al primer racimo en promedio fue de 0.89 m y tuvo en promedio 7.33 flores y frutos. González (2005), menciona que al aplicar soluciones nutritivas con diferente concentración de nitrato no encontró diferencias para la altura de la planta y el diámetro del tallo. Los resultados se observan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) a 66 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	Diámetro de tallo		Altura de planta		Distancia de racimos		Número de flores		Número de frutos	
	mm		m		m					
T1	13.62	a	2.39	a	0.92	a	7.90	a	7.90	a
T2	14.17	a	2.38	a	0.85	a	7.40	a	7.40	a
T3	13.77	a	2.41	a	0.89	a	6.80	a	6.80	a
T4	14.40	a	2.43	a	0.87	a	7.80	a	7.80	a
T5	14.44	a	2.34	a	0.90	a	7.60	a	7.60	a
T6	14.08	a	2.32	a	0.90	a	7.00	a	7.00	a
T7	13.28	a	2.47	a	0.91	a	6.80	a	6.80	a
CV (%)	8.53		6.89		13.79		14.43		14.43	
DMSH	1.62		0.22		0.16		1.44		1.44	

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa,

control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

6.1.3 91 días después del trasplante (ddt)

Los análisis de varianza realizados por cada variable del crecimiento de la planta de jitomate a 91 ddt, resultó con diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos únicamente en el diámetro del tallo y número de frutos. En T7 y para ésta etapa del crecimiento se obtuvo el menor diámetro de tallo de todos los tratamientos (13.76 mm) y con respecto al mayor número de frutos se presentó en T5 (7.90) y el menor fue en T1 (4.90). Prácticamente en todos los tratamientos donde hubo aplicación de enmienda orgánica y control orgánico de plagas y enfermedades del suelo tuvieron mayor diámetro del tallo que en T7 donde no hubo aplicación de enmienda y el control fue químico. Al respecto, Ruiz-Cisneros (2018) indica que las cepas de *Trichoderma* tienen un efecto positivo en el diámetro del tallo y promueven la acumulación de clorofila en hojas. Con respecto al número de frutos, Atherton y Harris (1986), afirman que un mayor porcentaje de cuajado de frutos en las primeras inflorescencias puede promoverse mediante la eliminación oportuna del ápice del tallo principal (despunte) que inhibe la generación de nuevas hojas, brotes e inflorescencias, por lo que quedan disponibles más fotoasimilados para el desarrollo de los frutos. Murillo (2015) reportó mayor número de frutos cuajados con el uso de vermicompost. Los resultados completos para esta etapa del crecimiento se observan a continuación en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) a 91 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	Diámetro de tallo		Altura de planta		Distancia de racimos		Número de flores		Número de frutos	
	mm		m		m					
T1	15.94	a	3.42	a	1.25	a	6.00	a	4.90	b
T2	16.29	a	3.39	a	1.29	a	6.50	a	5.70	ab
T3	15.36	a	3.52	a	1.28	a	6.80	a	6.50	ab
T4	15.26	a	3.47	a	1.35	a	7.10	a	6.30	ab
T5	15.47	a	3.52	a	1.27	a	8.10	a	7.90	a
T6	15.66	a	3.52	a	1.30	a	7.60	a	6.90	ab

T7	13.76 b	3.39 a	1.28 a	6.40 a	5.60 ab
CV (%)	6.78	6.38	8.15	23.19	30.52
DMSH	1.42	0.30	0.14	2.18	2.60

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

6.1.4 122 días después del trasplante (ddt)

Los resultados obtenidos del crecimiento de las plantas a 122 ddt se muestran en el Cuadro 14 y en éste se observa que los tratamientos afectaron significativamente el diámetro de tallo, el número de flores y número de frutos.

El tallo de las plantas en T7 resultaron con el menor diámetro que todos los tratamientos (13.50 mm), lo cual ya había sido registrado a 91 ddt e incluso tuvo un descenso que pudo deberse a consecuencia de falta de radiación y el incremento de la humedad del suelo y el ambiente por la ubicación de este tratamiento al interior del invernadero.

El número de flores por racimo en T5 (8.60) fue muy superior con respecto a T1 (5.50); es importante mencionar que en T5 se obtuvo mejor floración gracias a que la fertirrigación fue completa y hubo manejo orgánico de plagas y enfermedades del suelo, a diferencia de T1 que tuvo fertirrigación limitada y control químico. Al respecto, Atherton (1986) plantea que el número de flores iniciadas en la primera inflorescencia puede variar ampliamente, según el genotipo, pero también puede ser afectado por el ambiente de la parte aérea. Por su parte, Calvert (1964), señala que el periodo sensitivo en que el número de flores puede ser afectado por el ambiente empieza unos ocho días después de la expansión de los cotiledones y continúa por una o dos semanas.

En el número de frutos, T5 resultó con la mayor cantidad de frutos cuajados (8.00) a diferencia de T1 que solo registró 4.10 frutos cuajados por racimo. Carrillo (2013) señala que el promedio de frutos cuajados es mayor en variedades silvestres y semidomesticados que en

los tipos saladette y riñón, siendo este último grupo el que produce en promedio mayor cantidad de flores por racimo, pero teniendo un porcentaje de amarre muy bajo.

Cuadro 14. Variables de crecimiento del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) a 122 ddt en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	Diámetro de tallo mm		Altura de planta m		Distancia de racimos m		Número de flores		Número de frutos	
T1	14.87	ab	3.42	a	1.63	a	5.50	c	4.10	b
T2	16.07	a	3.39	a	1.59	a	7.00	abc	6.70	ab
T3	15.19	a	3.52	a	1.60	a	7.00	abc	6.40	ab
T4	15.28	a	3.47	a	1.65	a	8.10	ab	6.40	ab
T5	15.50	a	3.52	a	1.56	a	8.60	a	8.00	a
T6	15.52	a	3.52	a	1.61	a	6.90	abc	5.80	ab
T7	13.50	b	3.39	a	1.62	a	6.00	bc	5.30	b
CV (%)	7.0		6.4		7.4		23.7		32.5	
DMSH	1.4		0.3		0.2		2.3		2.7	

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

6.2 Dinámica del crecimiento

6.2.1 Diámetro de tallo

El incremento en el diámetro de tallo se muestra en la Figura 2 y en esta se observa que fue muy similar entre los tratamientos evaluados, excepto a 30 ddt, etapa en la que hubo variación ya discutida anteriormente. El diámetro de tallo que en promedio se alcanzó fue de 15 mm aproximadamente. De acuerdo con Castellanos (2009) el diámetro puede llegar a ser de 2.0 a 4.0 cm y menciona que la planta de tomate bola con adecuado equilibrio nutrimental, el grosor del tallo promedio tiene incrementos por semana de 11 a 12 mm; si el diámetro se incrementa 13 mm o más se considera una planta en condición vegetativa, por el contrario si el incremento semanal es de 10 mm o menor, entonces la planta está en condición generativa. El diámetro del tallo puede llegar a ser de 25 mm, de tal forma que a mayor diámetro se incrementa el número de frutos y en consecuencia el rendimiento. En relación a lo anterior, Moorby (1981) indica

que una mayor área de parénquima implica mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados en el fruto en crecimiento, así como una mayor área de xilema posibilita un mayor transporte de agua y nutrimentos hacia los órganos reproductivos. Aun cuando la discusión anterior fue basada en referencias para jitomate tipo bola, podemos inferir que el diámetro de tallo de las plantas muestreadas en esta investigación estuvo en relación directa con el rendimiento obtenido.

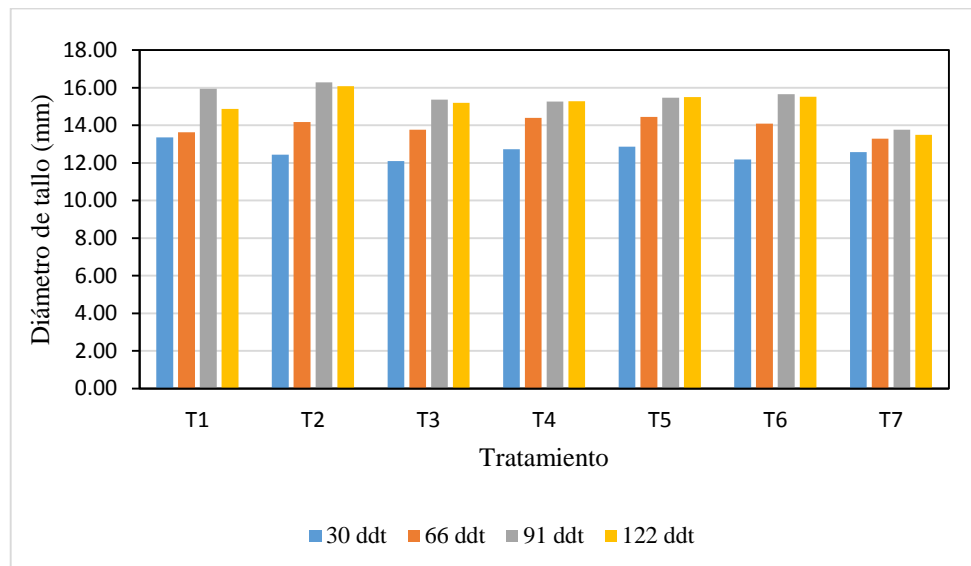


Figura 2. Diámetro de tallo del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.

6.2.2 Altura de planta

El incremento en altura de las plantas registrado en cada etapa de evaluación se muestra en la Figura 3, en esta gráfica se observa que no hubo gran variación entre los diversos tratamientos y es por ello que solo a 30 ddt se presentaron diferencias significativas, lo cual ya fue expuesto previamente. El incremento semanal de altura que en promedio se obtuvo de todos los tratamientos hasta la primera etapa de evaluación (30 ddt) fue de 34 cm; en la segunda etapa (de 30 a 66 ddt) fue de 18 cm; finalmente, en la última etapa (66 a 91 ddt) fue de 30 cm, pues cabe mencionar que la altura de las plantas a 91 y 122 ddt son las mismas ya que se realizó el corte del ápice de crecimiento a una altura de 3.50 m, esto con el fin de tener un mejor crecimiento en frutos. Al respecto, Castellanos (2009), menciona que la elongación óptima de los cultivares tipo saladette

es de 20 a 27 cm por semana, también menciona que en este aspecto juega un papel fundamental la temperatura. Además, se ha reportado que la altura de planta es una característica fenotípica de cada cultivar (Van der Ploeg *et al.*, 2007) que se incrementa con la dosis de nutrimentos suministrados, especialmente de N y P, que inducen un incremento del crecimiento vegetativo, debido a su función dentro del metabolismo energético de la planta como la fotosíntesis y la respiración (Mengel y Kirkby, 2001).

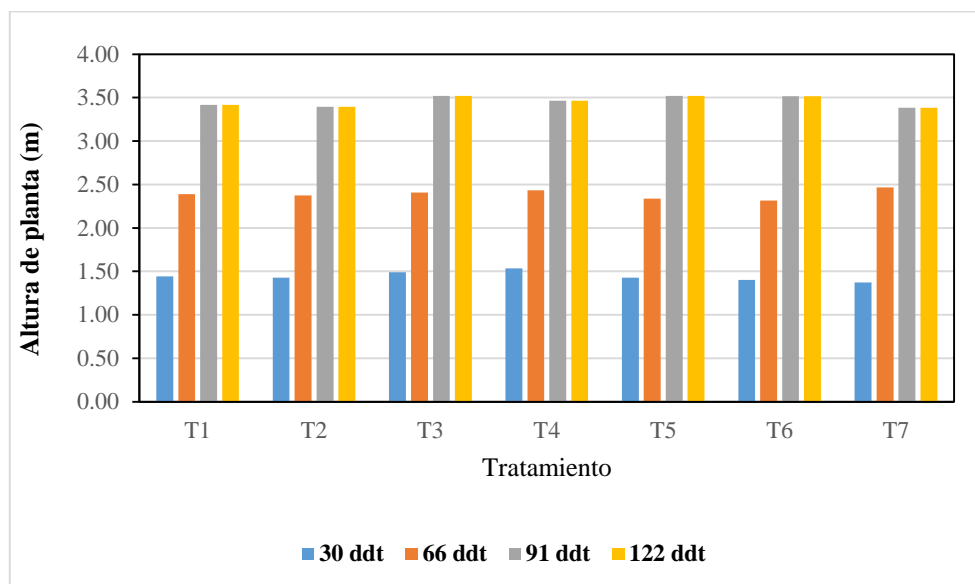


Figura 3. Altura de planta del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.

6.2.3 Distancia entre racimos

La variación de distancia medida entre los cuatro primeros racimos también solo fue diferenciada entre tratamientos durante los primeros 30 ddt. En la gráfica mostrada en la Figura 4 se observa lo señalado. A 91 ddt se tuvo un promedio de la distancia entre los cuatro primeros racimos de 32 cm. Al respecto, Vargas (2017) argumenta que existe una relación directa entre la distancia de racimos y la altura de planta, debido a que mientras mayor sea la distancia entre racimos o nudos de la planta, esta tiende a desarrollar mayor altura, ambas variables están relacionadas al vigor de la planta. Por otra parte, en un estudio realizado por Van der Ploeg *et al.* (2007) se reportó distancia promedio de 30 cm, muy similar a los resultados de esta investigación. Barrios *et al.* (2015), reportaron que el promedio para el híbrido Annibal fue 34.1

cm y 24.7 cm para el híbrido Reserva; Chávez-García (2013), con la variedad Cid reportó 31 cm en campo abierto y 28.8 cm en malla sombra. Como se puede notar estos resultados son muy similares a los obtenidos en la presente investigación.

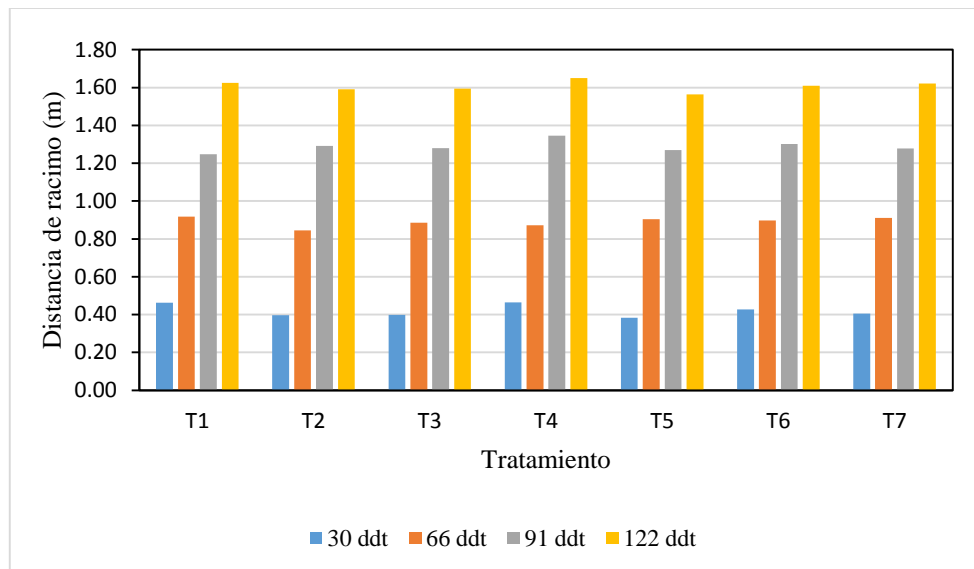


Figura 4. Distancia entre racimos del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.

6.2.4 Número de flores

El número de flores fue muy semejante entre tratamientos durante todas las etapas de evaluación y únicamente a 122 ddt se registraron diferencias significativas. La variación dentro de los tratamientos se observa en la Figura 5. La formación de flores está muy ligada a las condiciones ambientales y nutricionales de la planta. Al respecto, Castellanos (2009) indica que las temperaturas diurnas son más efectivas que las nocturnas en la promoción del desarrollo de las flores, pero también el incremento en el suministro del nitrógeno estimula el desarrollo reproductivo bajo condiciones de alta radiación y por el contrario, cuando la luz es limitada se inhibe el desarrollo floral y la fructificación, también el suministro de agua afecta la formación de flores y posteriormente el crecimiento del fruto.

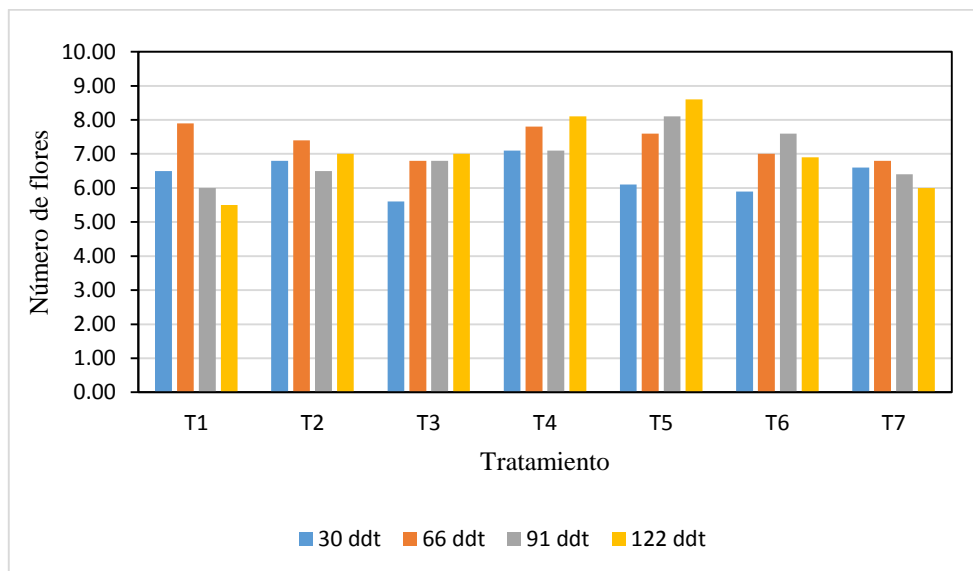


Figura 5. Número de flores del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.

6.2.5 Número de frutos

La variación del número de frutos entre tratamientos fue diferenciado en las dos últimas etapas de evaluación. La variación por cada tratamiento se observa en la Figura 6. En esta gráfica se observa que el número de frutos cuajados en la planta muestra una tendencia ascendente durante los primeros 66 ddt, pero a partir de que llega aproximadamente a los 90 ddt comienza una tendencia decreciente, lo anterior probablemente a que se refleja el inicio de cosecha de frutos, disminuyendo el número de éstos presentes en la planta. Russell y Morris (1983) mencionan que el número de frutos está muy relacionado con la cantidad de hojas que actúan como fuente de asimilados de acuerdo con su filotaxia; además, señalan que al realizar la poda de frutos, los asimilados son atraídos por los frutos presentes y adyacentes que aumentan su peso y tamaño.

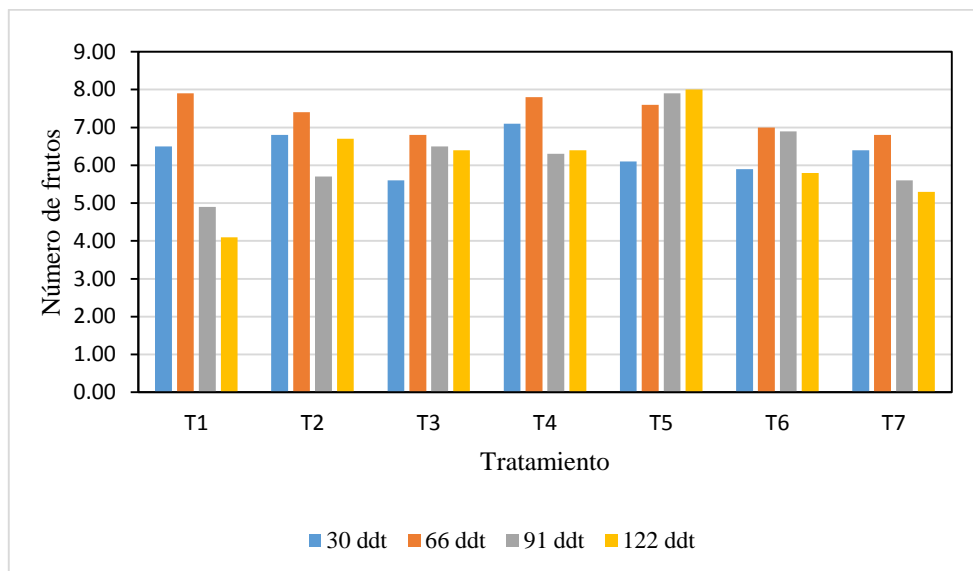


Figura 6. Número de frutos del cultivo de jitomate en invernadero a diferentes días después del trasplante y con diferentes estrategias de manejo.

6.3 Crecimiento y sanidad de la raíz

Los análisis de varianza para las variables de crecimiento de raíz no mostraron diferencias mínimas significativas entre tratamientos en la longitud de la raíz, pero si en el peso fresco y seco y entre T6 y T7 hubo los mayores contrastes. El peso fresco de T6 (46.74 g) fue el máximo y T7 (11.40 g) fue el mínimo registrado. El peso seco de T6 fue muy superior (17.88 g) al de T7 (6.09 g). En T6 se utilizó un producto orgánico a base de *T. harzianum* para el control de enfermedades fungosas presentes en el suelo y los resultados fueron similares a los reportados por Tucci (2011), quien menciona que con el uso de *Trichoderma* en cultivares de jitomate dio como resultado mayor peso fresco y seco en raíces, así también se mejoró significativamente el desarrollo de la raíz lateral, pero no tuvo efecto sobre la longitud de la raíz.

Por otra parte, con respecto al estado fitosanitario de la raíz, evaluado al final del ciclo de cultivo, los tratamientos T5 y T6 mostraron mayor resistencia a *Meloidogyne* y *Fusarium*, lo cual se constata en el Cuadro 15; es importante señalar que ambos tratamientos tuvieron control orgánico al suelo de plagas y enfermedades. De acuerdo con Pérez (2006), considera que *Trichoderma spp.* es antagonista y un biorregulador eficaz contra los nematodos *Meloidogyne sp.*, promueve follaje más exuberante en las plantas de tomate y fue más eficiente para lograr

mejores rendimientos y rentabilidad económica en frijol y pepino. Escobar (2004), expresa que existe un porcentaje de inhibición del crecimiento que producen distintas cepas de *T. harzianum* sobre las cepas de los patógenos, cepas que inhibieron el crecimiento entre 46 y 52 %, logrando un control más eficiente sobre *R. solani* y *F. solani*.

Cuadro 15. Variables de crecimiento de raíz y severidad de daño provocado por *Meloidogyne* spp. y pudrición causada por *Fusarium* spp., en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero y al final del ciclo evaluado en Teziutlán, Puebla, México.

Tratamiento	Longitud cm	Peso fresco g	Peso seco g	<i>Meloidogyne</i> escala	<i>Fusarium</i> escala
T1	46.70 a	20.17 bc	8.51 bc	1.0 a	2.1 abc
T2	47.80 a	25.13 b	11.21 b	1.0 a	2.3 ab
T3	49.90 a	31.70 b	13.50 ab	1.0 a	1.6 bcd
T4	42.20 a	25.56 b	10.01 bc	1.0 a	1.5 bcd
T5	43.70 a	29.86 b	13.02 ab	0.6 b	0.5 d
T6	55.10 a	46.74 a	17.88 a	0.2 c	1.0 cd
T7	44.40 a	11.40 c	6.09 c	1.0 a	2.9 a
CV (%)	24.27	35.31	32.15	30.41	47.62
DMSH	15.58	13.09	5.01	0.34	1.1

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

6.4 Distribución del peso fresco y materia seca de la planta

6.4.1 45 días después del trasplante (ddt)

Durante la evaluación realizada a 45 ddt, los análisis de varianza no reflejaron diferencias mínimas significativas entre tratamientos para peso fresco y materia seca de hoja, tallo, flor y fruto y peso fresco total de las plantas como se muestra en los cuadros 16 y 17.

Cuadro 16. Distribución del peso fresco en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 45 días después del trasplante.

Tratamiento	Hoja	Tallo	Flor y Fruto	Total
g				
T1	381.50 a	148.13 a	127.23 a	656.87 a
T2	394.70 a	185.40 a	95.50 a	675.60 a
T3	385.83 a	175.90 a	199.80 a	761.53 a
T4	214.97 a	126.93 a	64.00 a	405.90 a
T5	376.90 a	157.13 a	154.40 a	688.43 a
T6	278.97 a	134.60 a	58.93 a	472.50 a
T7	262.97 a	120.07 a	61.70 a	444.73 a
CV (%)	27.81	24.73	72.26	32.11
DMSH	254.30	103.26	219.19	525.20

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

Cuadro 17. Distribución de la materia seca en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 45 días después del trasplante.

Tratamiento	Hoja	Tallo	Flor y Fruto	Total
g				
T1	53.10 a	16.07 a	8.53 a	77.70 a
T2	58.23 a	18.50 a	6.50 a	83.23 a
T3	54.23 a	16.80 a	12.17 a	83.20 a
T4	35.00 a	11.53 a	2.90 a	49.43 a
T5	51.33 a	15.83 a	9.47 a	76.63 a
T6	41.27 a	11.80 a	3.63 a	56.70 a
T7	39.90 a	10.73 a	3.40 a	54.03 a
CV (%)	20.41	25.95	67.95	24.99
DMSH	27.08	10.47	12.61	47.86

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

A 45 ddt la distribución porcentual de la materia seca de los órganos de la planta fue en promedio de 70 % en las hojas, seguida de los tallos con 21 % y por último en la flor y el fruto con promedio de 9 %, como se muestra en la Figura 7. Peil y Gálvez (2005) mencionan que el rendimiento de un cultivo está dado por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantizan un incremento del rendimiento, así la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo.

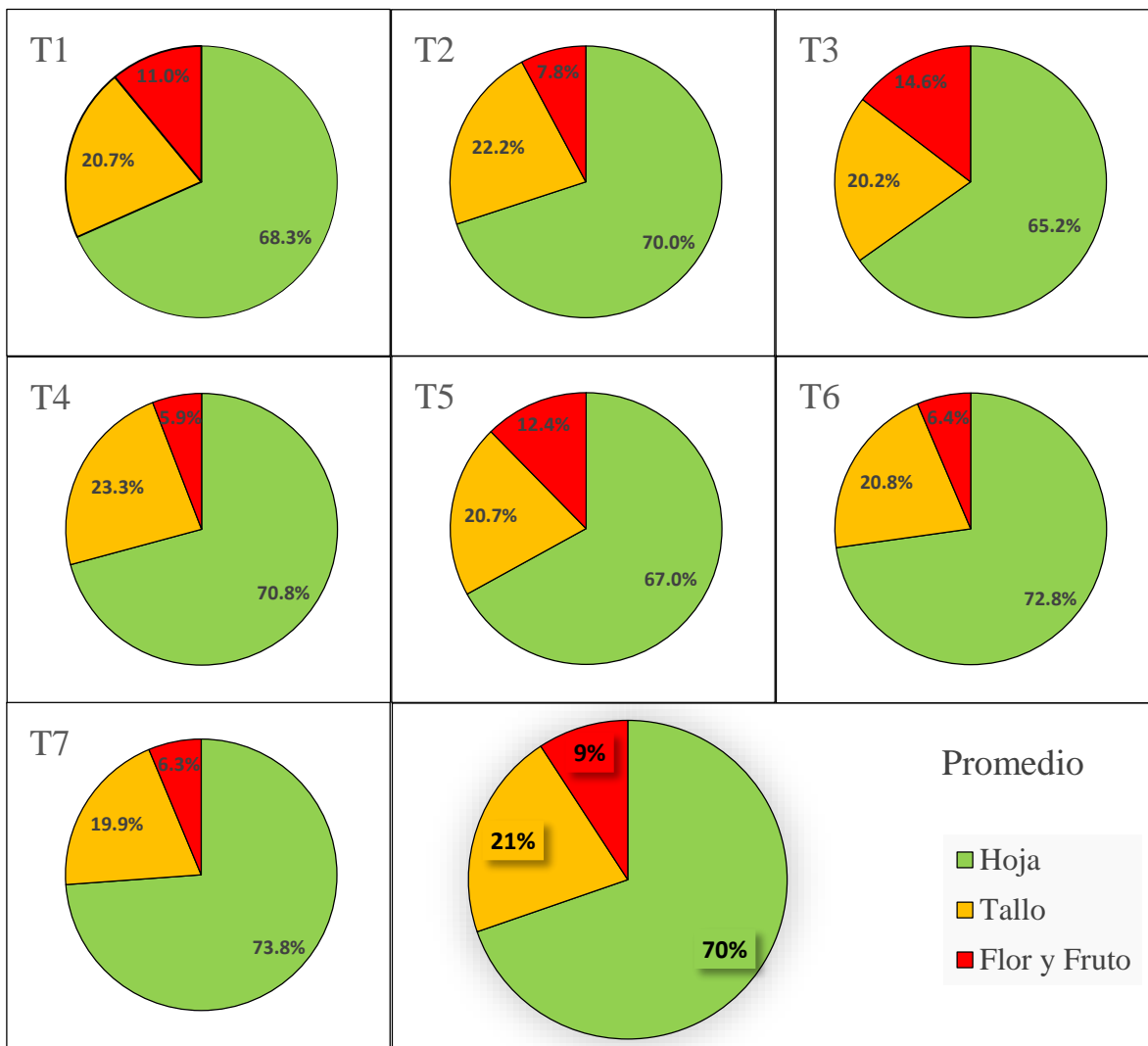


Figura 7. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a 45 días después del trasplante.

6.4.2 90 días después del trasplante (ddt)

El análisis de varianza de la distribución de peso fresco a 90 ddt mostró diferencias mínimas significativas, en el peso fresco de hoja fue el mayor en T2 (981.67 g) y diferente a T3 (493.27 g) y T7 (473.60 g). En el peso fresco del tallo también hubo diferencias significativas, T2 (418.00 g) y T1 (415.33 g) fueron superiores a T3 (239.33 g). Con respecto al peso fresco de flor y fruto no se encontró diferencia mínima significativa entre tratamientos. Con respecto al peso fresco total de la planta de jitomate, T2 fue diferente con respecto a T3 y T7, pues T2 tuvo un peso fresco de 4,295.33 g, mientras que en T3 y T7 fueron de 2,097.93 y 2,413.60 g, respectivamente. Estos resultados se muestran en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Distribución del peso fresco total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 90 días después del trasplante.

Tratamiento	Hoja	Tallo	Flor y Fruto	Total
	----- g -----			
T1	813.10 ab	415.33 a	2,614.33 a	3,842.77 ab
T2	981.67 a	418.00 a	2,895.67 a	4,295.33 a
T3	493.27 b	239.33 b	1,365.33 a	2,097.93 b
T4	683.87 ab	302.23 ab	2,070.33 a	3,056.43 ab
T5	676.00 ab	281.27 ab	2,084.67 a	3,041.93 ab
T6	685.87 ab	324.13 ab	2,443.33 a	3,453.33 ab
T7	473.60 b	258.67 b	1,681.33 a	2,413.60 b
CV (%)	21.50	16.16	25.49	20.94
DMSH	411.76	144.17	1,539.10	1,851.60

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

Por otra parte, con respecto a la distribución de materia seca a 90 ddt en T2 se tuvo la mayor cantidad de materia seca de hojas (121.93 g) y la menor cantidad fue con T7 (42.90 g). En peso seco del tallo, T2 también obtuvo el máximo valor (61.77 g) muy significativamente mayor a T7 (25.67 g). En la distribución de materia seca de flor y fruto no se encontró diferencia mínima significativa entre los tratamientos evaluados. Al integrar la materia seca de cada parte de la

planta, el mayor peso total de fue de 273.55 g en T2 y significativamente muy diferente al resultado obtenido con T7 (115.82 g). El detalle de los resultados se observa en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 90 días después del trasplante.

Tratamiento	Hoja	Tallo	Flor y Fruto	Total
T1	83.43 ab	49.30 ab	72.82 a	205.56 ab
T2	121.93 a	61.77 a	89.85 a	273.55 a
T3	56.50 b	34.43 bc	43.48 a	134.41 bc
T4	78.80 b	46.00 ab	72.57 a	197.37 abc
T5	68.97 b	38.90 bc	67.30 a	175.17 bc
T6	67.30 b	42.80 abc	72.84 a	182.94 bc
T7	42.90 b	25.67 c	47.26 a	115.82 c
CV (%)	19.92	16.62	28.45	16.57
DMSH	41.26	19.78	52.82	84.82

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$),

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

La distribución porcentual de la materia seca a 90 ddt se muestra en la Figura 8 y con respecto a los valores promedio de todos los tratamientos, el mayor porcentaje a las hojas con 40 %, seguido de flores y frutos con 37 % y finalmente el tallo con 23 %.

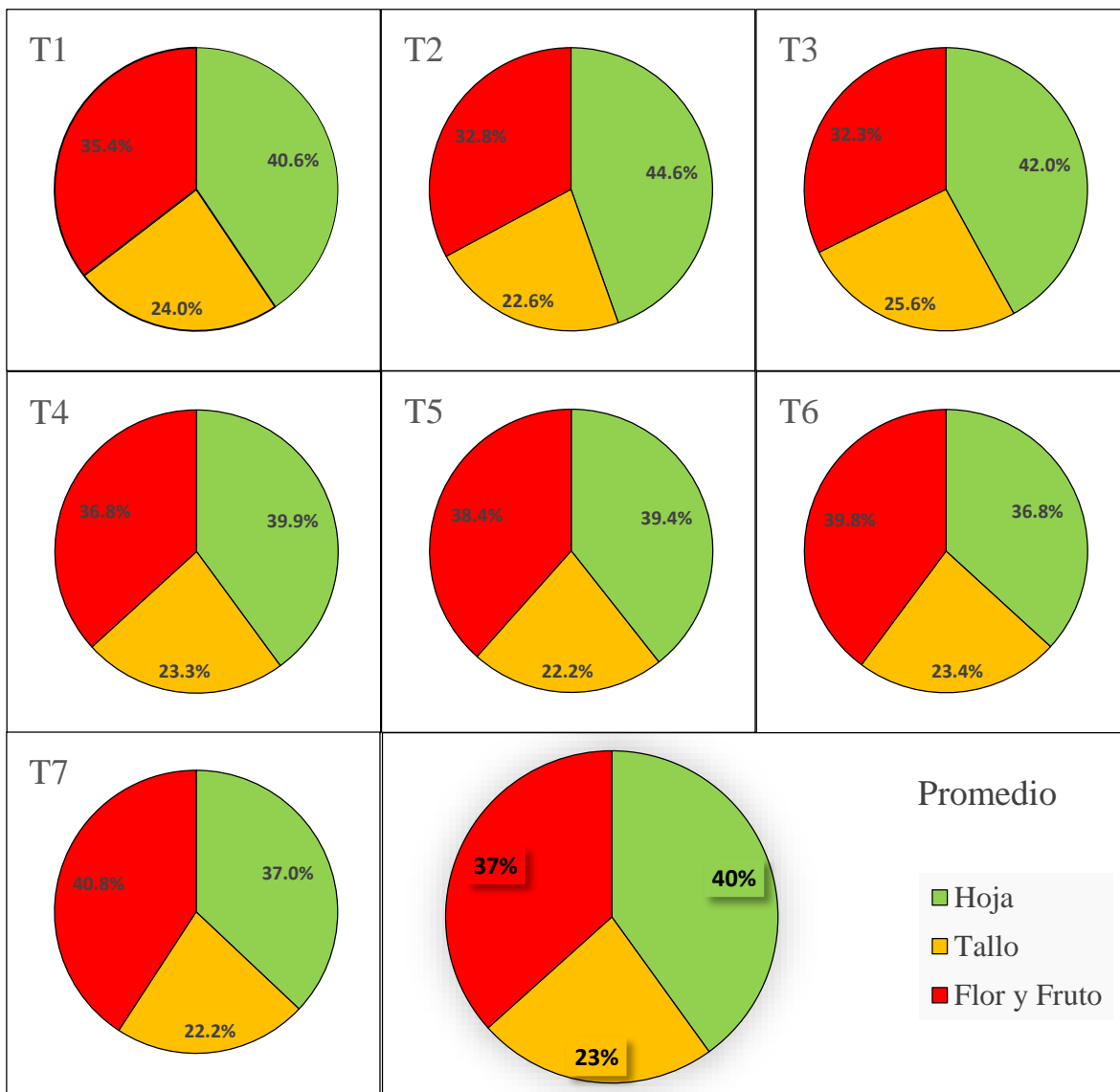


Figura 8. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a 90 días después del trasplante.

6.4.3 120 días después del trasplante (ddt)

El análisis de varianza para la distribución del peso fresco a 120 ddt no encontró diferencias significativas en hoja y tallo, pero si en flor y fruto, donde T5 resultó con mayor peso fresco (1,823.33 g) que T6 (1,191.33 g). Las diferencias significativas obtenidas en flor y fruto

implicaron también diferencias significativas en el peso fresco total de T3 (3,108.67 g) con respecto a T6 (2,445.00 g) y T1 (2,456.00 g). Los resultados se muestran en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Distribución del peso fresco total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 120 días después del trasplante.

Tratamiento	Hoja	Tallo	Flor y Fruto	Total
	g			
T1	742.33 a	249.67 a	1,464.00 ab	2,456.00 b
T2	907.00 a	392.00 a	1,682.33 a	2,981.33 ab
T3	965.00 a	465.33 a	1,678.33 a	3,108.67 a
T4	652.33 a	434.00 a	1,632.67 ab	2,719.00 ab
T5	670.67 a	336.67 a	1,823.33 a	2,830.67 ab
T6	799.67 a	454.00 a	1,191.33 b	2,445.00 b
T7	661.33 a	316.67 a	1,676.33 a	2,654.33 ab
CV (%)	24.91	23.54	10.33	7.37
DMSH	535.77	248.37	458.72	563.94

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

Por otra parte, en la distribución de la materia seca, el análisis de varianza correspondiente a 120 ddt mostró que T7 (345.33 g) fue significativamente mayor a todos los tratamientos en cuanto a hojas, pero en tallo solo fue diferente con respecto a T1 (86.70 g vs. 50.37 g). En flores y frutos también hubo diferencias mínimas significativas entre el valor máximo de T5 (170.25 g) y el mínimo en T6 (70.91 g). Finalmente, por efecto del mayor peso seco de hojas y tallos obtenidos con T7, la materia seca total en este tratamiento (540.90 g) también fue significativamente superior a todos los tratamientos. Los resultados se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 120 días después del trasplante.

Tratamiento	Hoja	Tallo	Flor y Fruto	Total
	----- g -----			
T1	96.43 b	50.37 b	92.30 b	239.10 b
T2	128.67 b	62.83 ab	97.83 ab	289.33 b
T3	145.30 b	65.87 ab	88.12 b	299.29 b
T4	88.23 b	61.30 ab	168.40 a	317.93 b
T5	94.97 b	54.30 ab	170.25 a	319.51 b
T6	109.67 b	62.73 ab	70.91 b	243.31 b
T7	345.33 a	86.70 a	108.87 ab	540.90 a
CV (%)	26.02	19.86	23.41	13.03
DMSH	104.56	35.13	74.30	116.78

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

La distribución porcentual de cada componente de la materia seca total de las plantas se observa en la Figura 9 y en ésta se observa claramente que en T4 y T5 el porcentaje de flores y frutos fue mayor que en el resto de los tratamientos. Vargas (2014) postula que la mayor acumulación de materia seca se presenta en el tallo y las hojas, posteriormente inicia una acumulación dominante en flores y frutos; los resultados que obtuvo a 125 ddt aproximadamente fueron: 60 % en flores y frutos, 30 % en hojas y poco menos de 10 % en tallo, resultados similares a los de esta investigación. El promedio de la distribución de la materia seca fue 43 % en la hoja, 37 % en flores y frutos y 20 % en el tallo.

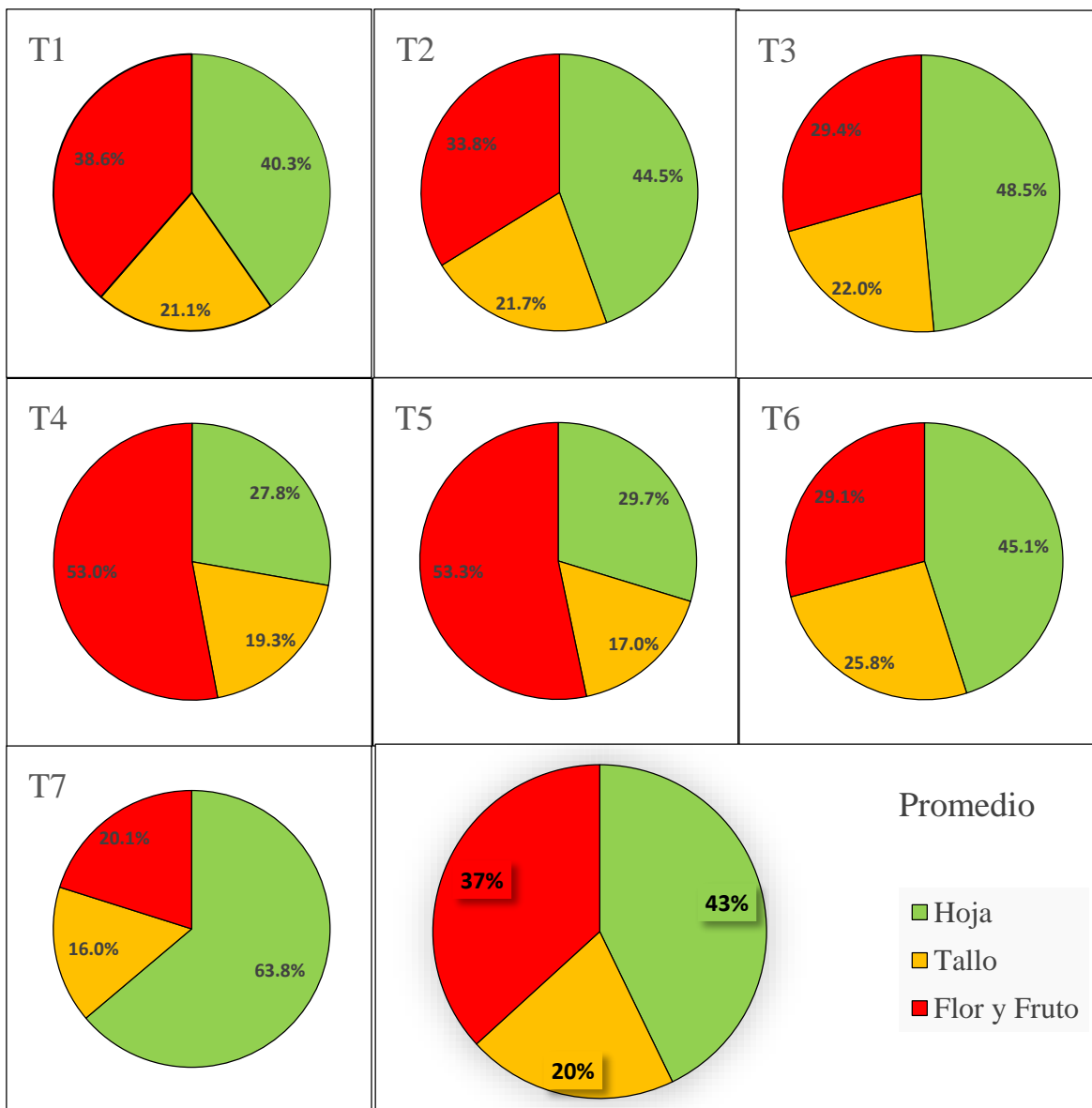
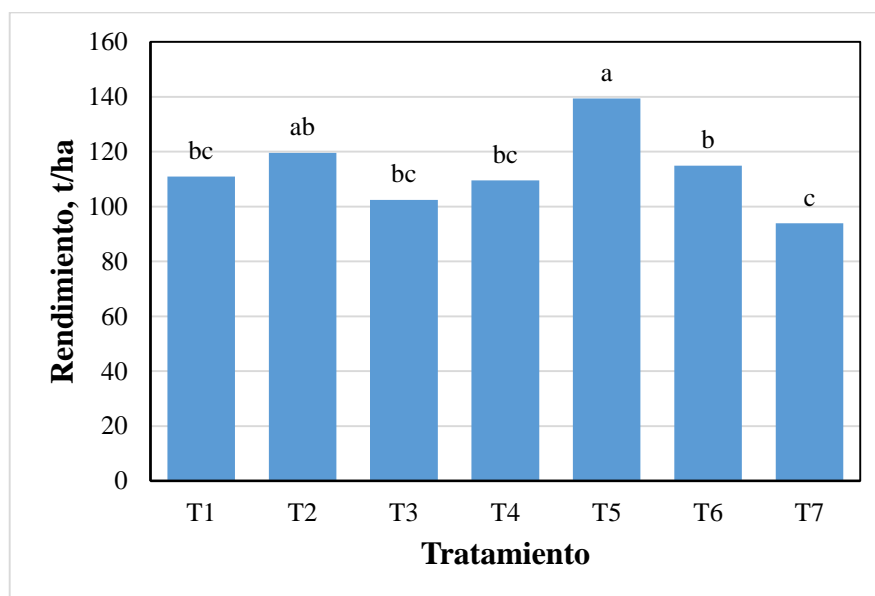


Figura 9. Distribución de la materia seca total en los diferentes órganos de la planta de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cultivada en invernadero en Teziutlán, Puebla, a los 120 días después del trasplante.

6.5 Rendimiento

En cuanto al rendimiento total, el análisis de varianza mostro diferencias significativas entre tratamientos y con T5 se obtuvo el mayor rendimiento (4,977.60 g/planta o 139.37 t/ha), mientras que con T7 se obtuvo el mínimo (3,353.39 g/planta o 93.89 t/ha). El detalle de estos resultados se muestra en la Figura 10 y Cuadro 22. De acuerdo con lo mencionado por Kleinhenz *et al.* (2006), el uso de compostas aumenta el rendimiento de 1.3 a 4 veces respecto

a cuándo no se utiliza la composta como mejorador de la fertilidad del suelo. Además, los resultados obtenidos en la presente investigación son similares a los reportados por Vázquez (2015) quien obtuvo un rendimiento de 12.34 kg/m² con la aplicación de los abonos orgánicos en forma de té de composta y composta y recomendó el uso de abonos orgánicos como alternativa de producción de jitomate bajo condiciones invernadero debido a que contribuye a la disminución del uso de fertilizantes inorgánicos.



Grafica 10. Rendimiento total de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con diferentes estrategias de manejo de cultivo en condiciones de invernadero en Teziutlán, Pue. Coeficiente de variación=20.84 % y diferencia mínima significativa honesta=13.54 t/ha.

6.5.1 Distribución del rendimiento con base a la clasificación por peso de fruto

La distribución del rendimiento de acuerdo al peso de los frutos se muestra en el Cuadro 22. De acuerdo a los análisis de varianza en las clases Extra Jumbo (>180 g), Jumbo (160 a 180 g) y XL (120 a 160 g) no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos debido a una gran variabilidad de los datos y reflejado en coeficientes de variación (CV) demasiado grandes. Los frutos de la clasificación L (100 a 120 g) se obtuvieron en mayor cantidad en T5 (1,199.90 g/planta) respecto a los tratamientos T3 y T7 con rendimiento promedio de 681.28 y 650.47

g/planta, respectivamente. En los frutos clasificados como M (80 a 100 g) los resultados fueron similares a los encontrados para la clasificación L y las diferencias significativas estuvieron entre T5 (1,557.10 g/planta) y los tratamientos T4 y T7 con rendimiento de 1,013.10 y 1,032.52 g/planta, respectivamente. En el rendimiento de frutos más pequeños clasificados como S (60 a 80 g), el tratamiento T3 (895.10 g/planta) manifestó diferencias significativas con respecto a T2 (539.80 g/planta). Finalmente, en aquellos frutos clasificados como Destrío (<60 g, deformes o con daños físicos), el análisis de varianza no reflejó diferencias significativas entre tratamientos y el CV fue de 49 %.

Cuadro 22. Distribución del rendimiento (g/planta) con base a la clasificación por peso de fruto.

Tratamiento	Extra Jumbo	Jumbo	XL	L	M	S	Destrío	Total
	----- g/planta -----							
T1	18.80 a	102.70 a	751.30 a	869.00 ab	1,150.80 ab	676.43 ab	393.11 a	3,962.14 bc
T2	122.00 a	119.90 a	932.72 a	1,075.54 ab	1,184.86 ab	539.80 b	294.80 a	4,269.62 ab
T3	37.80 a	67.40 a	440.30 a	681.28 b	1,194.20 ab	895.10 a	341.04 a	3,657.12 bc
T4	20.00 a	51.90 a	678.80 a	768.00 ab	1,013.10 b	853.70 ab	524.40 a	3,909.90 bc
T5	19.50 a	102.50 a	938.90 a	1,199.90 a	1,557.10 a	760.50 ab	399.20 a	4,977.60 a
T6	20.00 a	34.00 a	783.40 a	1,023.90 ab	1,133.40 ab	706.30 ab	403.40 a	4,104.40 b
T7	38.20 a	0.00 a	390.50 a	650.47 b	1,032.52 b	785.80 ab	455.90 a	3,353.39 c
DMSH	170.97	168.05	684.98	497.03	510.95	340.82	270.18	744.35
CV (%)	318.02	180.53	71.61	40.75	31.76	33.57	49.38	13.54

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

Extra Jumbo (>180 g); Jumbo (160 a 180 g); XL (120 a 160 g); L (100 a 120 g); M (80 a 100 g); S (60 a 80 g); Destrío (<60 g, deformes o con daños físicos).

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

La distribución del rendimiento por cada una de las clases de frutos analizadas y en cada tratamiento se muestra en la Figura 11. En esta gráfica se observa que el tamaño de frutos que se presentó con mayor frecuencia en todos los tratamientos fue el clasificado como M. En T5 que fue el tratamiento con mayor rendimiento y suministrado con enmienda orgánica, fertirrigación completa y control orgánico de plagas y enfermedades del suelo la distribución del rendimiento se inclina a favor del tamaño de frutos L y XL; otros tratamientos que presentaron esta tendencia fueron T1, T2 y T6, los dos primeros a base de enmiendas orgánicas y fertirrigación limitada y el último sin enmienda orgánica y fertirrigación completa. En T3, T4

y T7 los frutos de tamaño pequeño clasificados como S fueron los que se obtuvieron en mayor proporción.

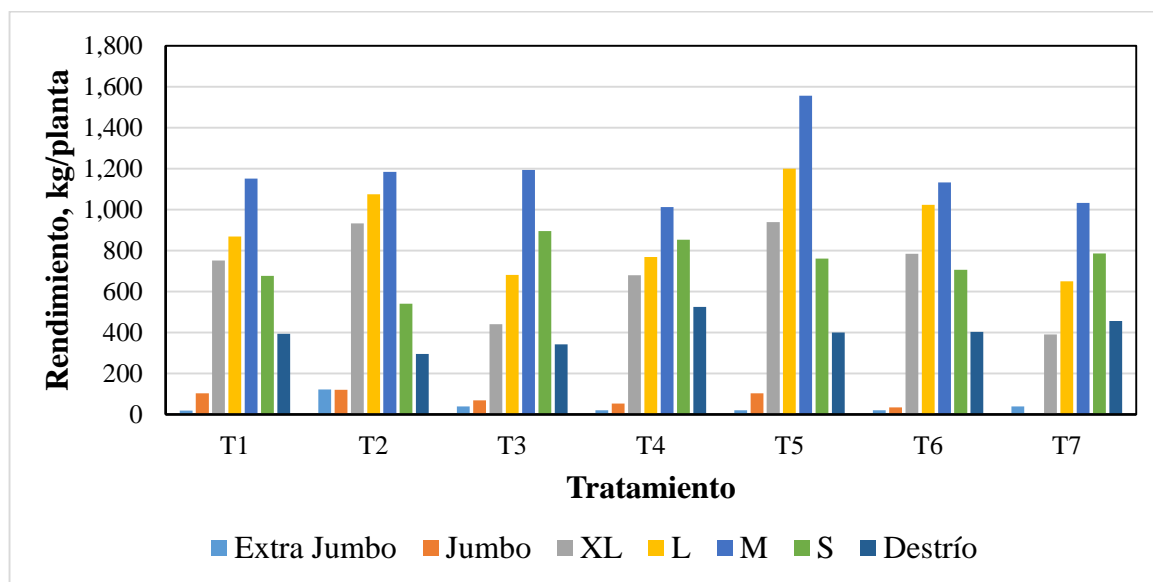


Figura 11. Distribución del rendimiento total (kg/planta) con base a la clasificación por peso de los frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y de acuerdo a la estrategia de manejo del cultivo en condiciones de invernadero en Teziutlán, Puebla, México. Extra Jumbo (>180 g); Jumbo (160 a 180 g); XL (120 a 160 g); L (100 a 120 g); M (80 a 100 g); S (60 a 80 g); Destrío (<60 g, deformes o con daños físicos).

6.5.2 Distribución del rendimiento con base al diámetro promedio de fruto

Dentro de las características de calidad del fruto con base al diámetro promedio de los frutos, los análisis de varianza reflejaron diferencias mínimas significativas para las clasificaciones G (60 a 71 mm), M (52 a 60 mm) y CH (38 a 52 mm); con respecto a las clasificaciones EG (>71 mm) y Destrío (<38 mm, deformes o con daños físicos) no hubo diferencias. Los resultados se muestran en el Cuadro 23.

En la clasificación G, los tratamientos T5 y T2 fueron los de mayor rendimiento (2,451.00 y 2,306.03 g/planta, respectivamente), contrariamente T7 (1,074.17 g/planta) fue donde se obtuvo el menor rendimiento para esta clase de frutos. Es importante señalar que T5 y T2

comparten el control orgánico de plagas y enfermedades del suelo y enmienda orgánica, dando como resultado frutos de mejor calidad comercial. Estos resultados de rendimiento son similares a los reportados por Preciado *et al.* (2011) quienes obtuvieron de 1.30 a 2.42 kg/planta con el uso de abonos orgánicos como té de composta y té de vermicomposta, por mencionar algunos. Para la clasificación M, T5 volvió a obtener el mayor rendimiento (1,963.40 g/planta) y en T2 se registró el mínimo (1,367.53 g/planta) aun cuando éste no fue diferente a T1, T4 y T6. En los frutos de la clasificación CH se encontraron diferencias mínimas significativas entre T4 (34.00 g/planta) con respecto a T1 (410.95 g/planta) y T2 (340.50 g/planta).

Cuadro 23. Distribución del rendimiento (g/planta) con base a la clasificación por peso de fruto.

Tratamiento	EG	G	M	S	Destrió	Total
	g/planta					
T1	162.60 a	1,974.40 abc	1,372.59 b	410.95 b	41.60 a	3,962.14 bc
T2	219.76 a	2,306.03 a	1,367.53 b	340.50 b	35.80 a	4,269.62 ab
T3	41.70 a	1,158.88 bc	1,859.70 ab	539.54 ab	57.30 a	3,657.12 bc
T4	42.80 a	1,649.90 abc	1,398.80 b	734.00 a	84.40 a	3,909.90 bc
T5	31.30 a	2,451.00 a	1,963.40 a	456.80 ab	75.10 a	4,977.60 a
T6	68.20 a	2,030.70 ab	1,432.00 b	514.10 ab	59.40 a	4,104.40 b
T7	0.00 a	1,074.17 c	1,610.22 ab	625.70 ab	43.30 a	3,353.39 c
DMSH	238.21	944.05	531.24	285.54	68.87	744.35
CV (%)	216.16	38.36	24.81	40.52	89.56	13.54

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

EG (>71 mm); G (60 a 71 mm); M (52 a 60 mm); CH (38 a 52 mm); Destrió (<38 mm, deformes o con daños físicos).

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

En la Figura 12 se muestra la distribución del rendimiento por tamaño de frutos según su diámetro promedio y claramente se observa que en T1, T2, T4, T5 y T6 predominó el tamaño de frutos G (60 a 71 mm), cabe señalar que a los primeros cuatro tratamientos les fue suministrada enmienda orgánica mientras que en T6 hubo control orgánico de plagas y enfermedades del suelo. Las clases de frutos que predominaron después y en todos los tratamientos fueron M (52 a 60 mm) y CH (38 a 52 mm), principalmente en T7 que no incluyó enmienda orgánica, la fertirrigación fue completa y el control de plagas y enfermedades del suelo fue químico.

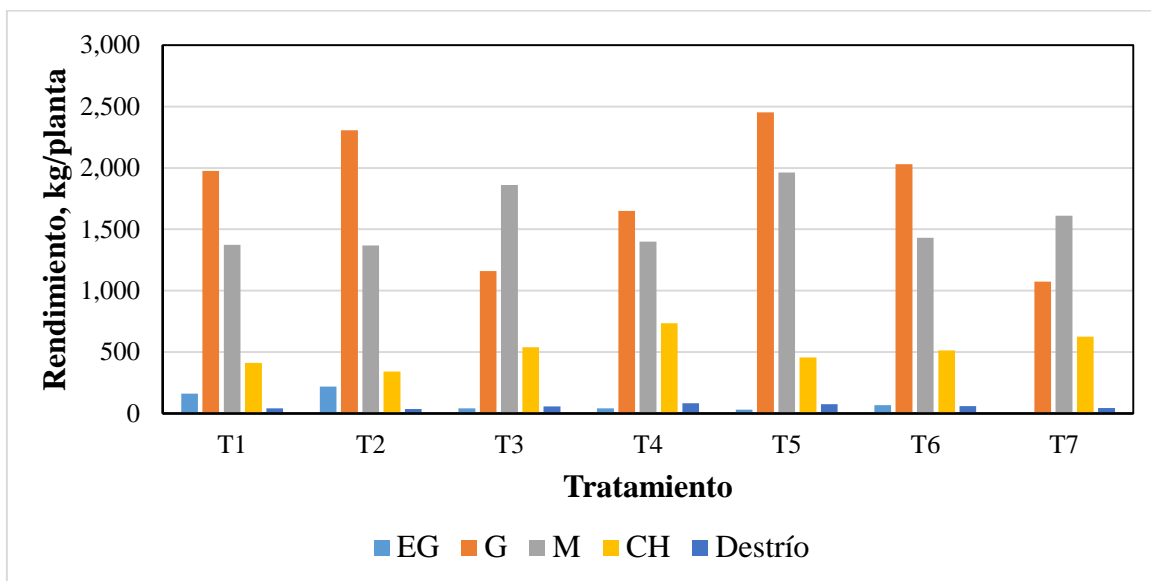


Figura 12. Distribución del rendimiento total (kg/planta) con base a la clasificación por diámetro promedio de los frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) y de acuerdo a la estrategia de manejo del cultivo en condiciones de invernadero en Teziutlán, Puebla, México. EG (>71 mm); G (60 a 71 mm); M (52 a 60 mm); CH (38 a 52 mm); Destrío (<38 mm, deformes o con daños físicos).

6.6 Eficiencia en el uso del agua

La cantidad de agua (volumen y lámina) aplicada al cultivo de jitomate en condiciones de invernadero se muestra en el Cuadro 24. La lámina de riego aplicada por día en T1 y T2 fueron 2.44 y 2.46 mm, respectivamente (lámina total de riego de 36.62 y 36.92 cm), por su parte en T3 fue 2.38 mm (35.75 cm de lámina de riego total) y para T4, T5, T6 y T7 se aplicó la lámina de riego de 2.17 mm (32.58 cm de lámina de riego total). Estos valores están dentro del rango reportado por Macías (2002) como requerimiento de riego para el cultivo de tomate en invernadero, el cual fluctúa desde 1.92 hasta 5.11 mm/día.

La cantidad de agua aplicada por planta y registrada en los tratamientos T1 y T2 fue similar, 127.16 y 128.20 L respectivamente, lo cual corresponde a un volumen total de 3,662.21 m³/ha en T1 y 3,692.28 m³/ha en T2, mientras que para T3 el volumen aplicado fue de 124.11 L por planta y volumen total de 3,574.50 m³/ha. Para los tratamientos T4, T5, T6 y T7 el volumen aplicado fue de 113.11 L por planta, equivalente a 3,257.58 m³/ha. Estos valores son inferiores a los reportados por Flores (2007), quien aplicó un volumen bruto por planta durante todo el ciclo de 143 L. Sin embargo, los resultados de la presente investigación son similares a los

reportados por Macías (2002), quien aplicó volúmenes de agua de 3,289 y 4,103 m³/ha, con los cuales obtuvo mejores rendimientos.

Cuadro 24. Cantidad de agua aplicada al cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	Volumen total m ³ /ha	Lámina total de riego cm	Volumen por planta L	Lámina de riego por día mm
T1	3,662.21	36.62	127.16	2.44
T2	3,692.28	36.92	128.20	2.46
T3	3,574.50	35.75	124.11	2.38
T4	3,257.58	32.58	113.11	2.17
T5	3,257.58	32.58	113.11	2.17
T6	3,257.58	32.58	113.11	2.17
T7	3,257.58	32.58	113.11	2.17
Promedio	3,422.76	34.23	118.85	2.28

La densidad de plantas considerada fue de 28,800 plantas/ha y la duración del ciclo de cultivo fue de 150 días.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

Por otra parte, en lo referente a la productividad del agua o eficiencia de uso del agua (EUA), en la Figura 13 se muestran los resultados obtenidos con base en el rendimiento total de frutos de jitomate cosechados. En la gráfica se observa que el mejor tratamiento fue T5 con EUA de 44.01 kg/m³, lo cual fue significativamente superior a los tratamientos T3 y T7 que tuvieron EUA de 29.47 y 29.65 kg/m³, respectivamente. Sin embargo los resultados obtenidos de EUA en esta investigación fueron superiores a los reportados por Macías (2002), en cuya investigación la EUA varió entre 12.62 y 15.10 kg/m³. Por su parte, Nurundi (2001) obtuvo una eficiencia de hasta 24.5 kg/m³ para tomate en invernadero, asimismo Fernández y Camacho (2005) reportan que en la producción de jitomate bajo invernadero en Almería, España, la EUA es de 37 kg/m³ y mayor en comparación con aquella de la producción a campo abierto y que varía de 16 a 20 kg/m³.

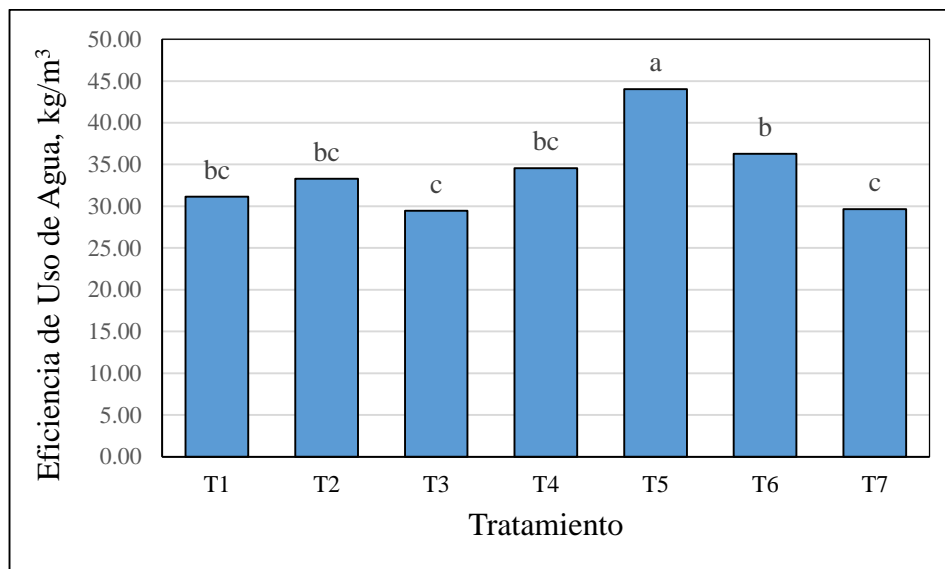


Figura 13. Eficiencia de uso del agua del cultivo de jitomate en invernadero con diferentes estrategias de manejo en Teziutlán, Pue. Coeficiente de variación=13.51 % y diferencia mínima significativa honesta=6.27 kg/m³.

6.7 Eficiencia en el uso de fertilizantes

Para la eficiencia del uso de fertilizantes se observa que los tratamientos T1 y T2 fueron los más eficientes, a diferencia de T7, ya que estos demandaron menos cantidad de nutrimentos para la producción de una tonelada de jitomate; estos resultados se muestran en el Cuadro 25. El tratamiento T7 consumió más cantidad de nutrimentos por tonelada cosechada que T1 y T2, en cuanto a nitrógeno el consumo fue superior en 6.82 y 7.19 kg/t respectivamente, de fósforo fueron 4.21 y 4.43 kg/t, en potasio fueron 10.55 y 11.11 kg/t, en el consumo de calcio la diferencia fue de 9.13 y 9.61 kg/t y finalmente respecto al magnesio hubo una diferencia de 2.42 y 2.54 kg/t. Estos resultados fueron mayores a lo citado por Castellanos (2009), quien menciona que el rango de variación está en función del contenido de calcio y magnesio presente en el agua de riego y de la capacidad del suelo para retener cationes en su fase de intercambio.

Cuadro 25. Eficiencia de uso de nutrimentos expresada como cantidad de nutrimento aplicado por tonelada de jitomate cosechado (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	----- kg/t -----				
T1	6.65 d	4.02 d	9.89 d	8.72 d	2.16 d
T2	6.28 d	3.80 d	9.33 d	8.24 d	2.04 d
T3	12.20 ab	7.45 ab	18.51 ab	16.17 ab	4.15 ab
T4	11.52 ab	7.04 ab	17.48 ab	15.27 ab	3.92 ab
T5	8.96 c	5.48 c	13.60 c	11.88 c	3.05 c
T6	10.80 bc	6.60 bc	16.39 bc	14.32 bc	3.67 bc
T7	13.47 a	8.23 a	20.44 a	17.85 a	4.58 a
CV (%)	15.09	15.11	15.12	15.11	15.15
DMSH	2.05	1.25	3.1	2.71	0.69

Tratamientos con la misma letra por columnas no difieren significativamente (Tukey, $p=0.05$).

CV = Coeficiente de variación.

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

T1: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control químico al suelo), T2: (Enmienda orgánica, fertirrigación limitada, control orgánico al suelo), T3: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control con Peróxido de Hidrogeno), T4: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo), T5: (Enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T6: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control orgánico al suelo), T7: (Sin enmienda orgánica, fertirrigación completa, control químico al suelo).

Los tratamientos T1 y T2 consumieron menos nutrimentos que el resto ya que en éstos se aplicó fertirrigación limitada. La cantidad de nutrimentos aplicados por hectárea se muestran en el Cuadro 26. Los resultados de los tratamientos T1 y T2 son ligeramente superiores a los citados por Castellanos (2009), pero no así los correspondientes a los tratamientos T3, T4, T5, T6 y T7, pues son muy superiores. De los tratamientos evaluados, T1 y T2 fueron los mejor en cuanto eficiencia en el uso de nutrimentos, sin embargo también puede considerarse a T5 como tratamiento eficiente en el uso de nutrimentos debido a su rendimiento.

Cuadro 26. Cantidad de nutrimentos aplicados por hectárea aplicados al cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero y con diferentes estrategias de manejo.

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	----- kg/ha -----				
Fertirrigación limitada					
T1, T2	752	455	1,117	986	244
Fertirrigación completa					
T3, T4, T5, T6, T7	1,267	775	1,923	1,680	431

6.8 Variables climáticas del invernadero

6.8.1 Radiación

La radiación registrada dentro del invernadero durante el ciclo del cultivo se muestra en la Figura 14, en la gráfica se observa que el promedio general fue de $7.7 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$, valor mayor al mencionado por Jasso (2012) quien expresa que iluminaciones limitadas originan reducción en la fotosíntesis neta e implican mayor competencia por los productos asimilados, con incidencia en el desarrollo y en la producción y que valores de radiación total diaria alrededor de 0.85 MJ/m^2 , son umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado siendo preferible mayor iluminación en menor periodo de tiempo que iluminaciones bajas durante un mayor tiempo. La radiación más baja registrada fue $1.2 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$ y la más alta fue $12.0 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$. Castellanos (2009) estima que para que el cultivo de tomate produzca con mínimas restricciones fotosintéticas, debe ocurrir una radiación incidente fuera del invernadero del orden del 14 a $16 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$.

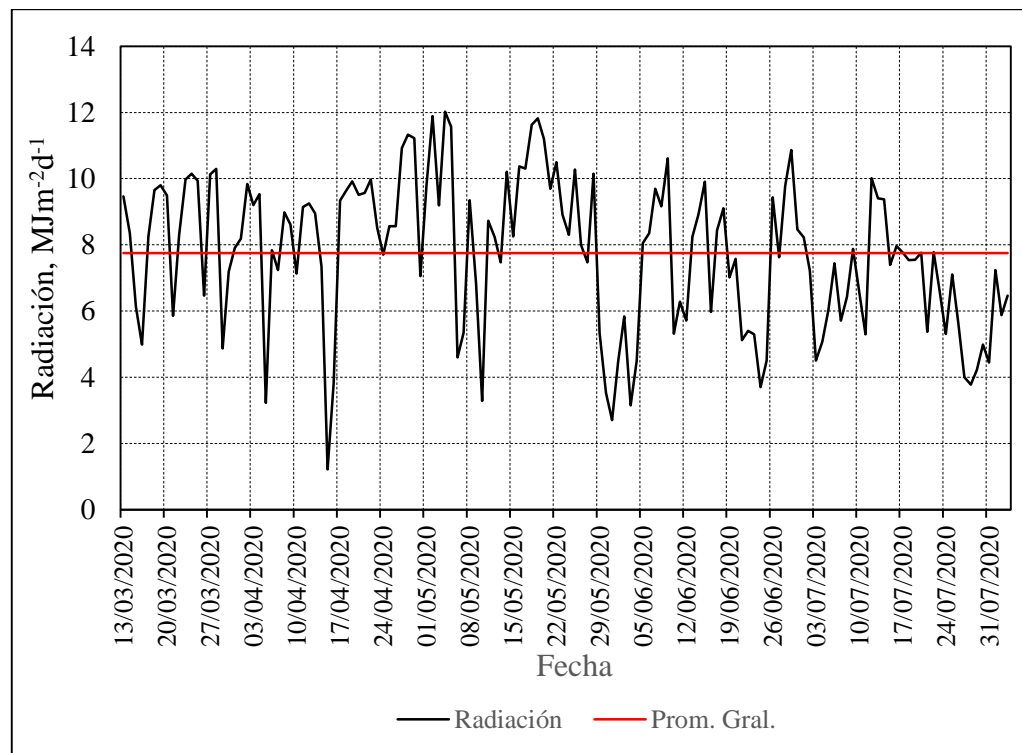


Figura 14. Radiación registrada al interior de un invernadero cultivado con jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Teziutlán, Pue.

6.8.2 Temperatura

La temperatura registrada dentro del invernadero durante 140 días del cultivo de jitomate se muestra en la Figura 15, de los registros se obtuvo que el promedio de temperatura máxima fue 28.8 °C, el promedio de temperatura mínima 13.6 °C y el promedio general fue 19.9 °C, estos valores están dentro del rango sugerido por Allende (2017), quien menciona que la temperatura es el parámetro más importante y el rango óptimo para que ocurra la floración del tomate va de 18 a 25 °C, cuando la temperatura supera los 35 °C se produce aborto floral y cuando es menor a 13 °C se producen problemas de cuaje y se obtienen frutos deformes.

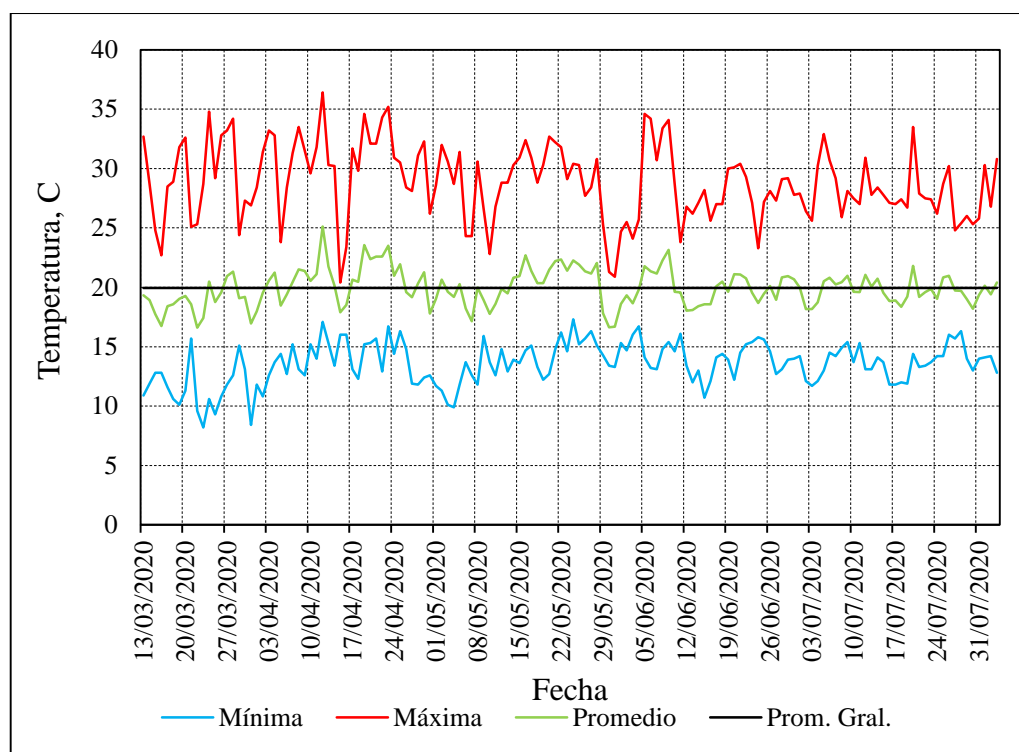


Figura 15. Temperatura registrada dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con diferentes estrategias de manejo del cultivo en Teziutlán, Pue.

6.8.3 Grados días de desarrollo

Para evaluar las distintas etapas fenológicas del cultivo de jitomate bajo invernadero se utilizó el concepto de grados días de desarrollo (GDD). Rodríguez (2018), define que los GDD

son una medida indirecta del crecimiento de muchos organismos y representa la integración de la temperatura entre la cual, el organismo se encuentra activo y tiene su máximo desarrollo. Los resultados en este estudio mostraron que la acumulación promedio fue de 10 °C día, como se observa en la Figura 16, estos resultados son similares a los establecidos por Ardila *et al.* (2011), quienes establecieron una equivalencia entre los días después del trasplante (ddt) y los GDD del cultivo de jitomate (60 ddt = 632.5 GDD, 75 ddt = 797.5 GD, 90 ddt = 948.5 GDD, 105 ddt = 1100.5 GDD, 120 ddt = 1247.5 GDD y 135 ddt = 1398.5 GDD).

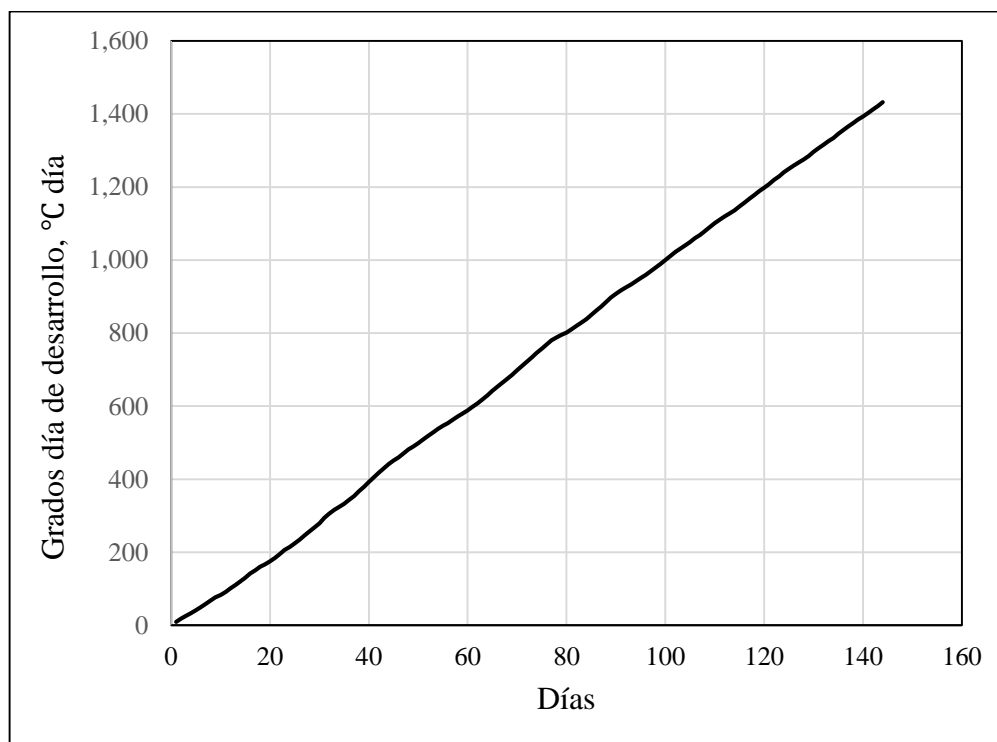


Figura 16. Grados días de desarrollo acumulados por el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con diferentes estrategias de manejo del cultivo bajo condiciones de invernadero en Teziutlán, Pue.

6.8.4 Humedad relativa

La humedad relativa registrada dentro del invernadero se muestran en la Figura 17, como se observa en la gráfica y con el promedio de los valores registrados, la humedad relativa máxima fue 95.2 % y la mínima 62.3 %, estos valores fueron por lo general más elevados a los establecidos por Allende (2017), quien señala que el rango óptimo para la adecuada

polinización se encuentra entre 60 y 70 % de, valores superiores ocasionan compactación del polen que dificulta la polinización y la humedad relativa inferior a 60 % reduce la fijación del polen al estigma de la flor al momento de la polinización. El promedio general de la humedad relativa registrada dentro del invernadero fue 82.5 %, rango que se encuentra entre lo recomendado por Escobar y Lee (2009) quienes mencionan que la humedad relativa ideal para el desarrollo, crecimiento y fertilidad del cultivo de tomate oscila entre el 60 y 85 % y requiere de 6 a 8 horas diarias de luz.

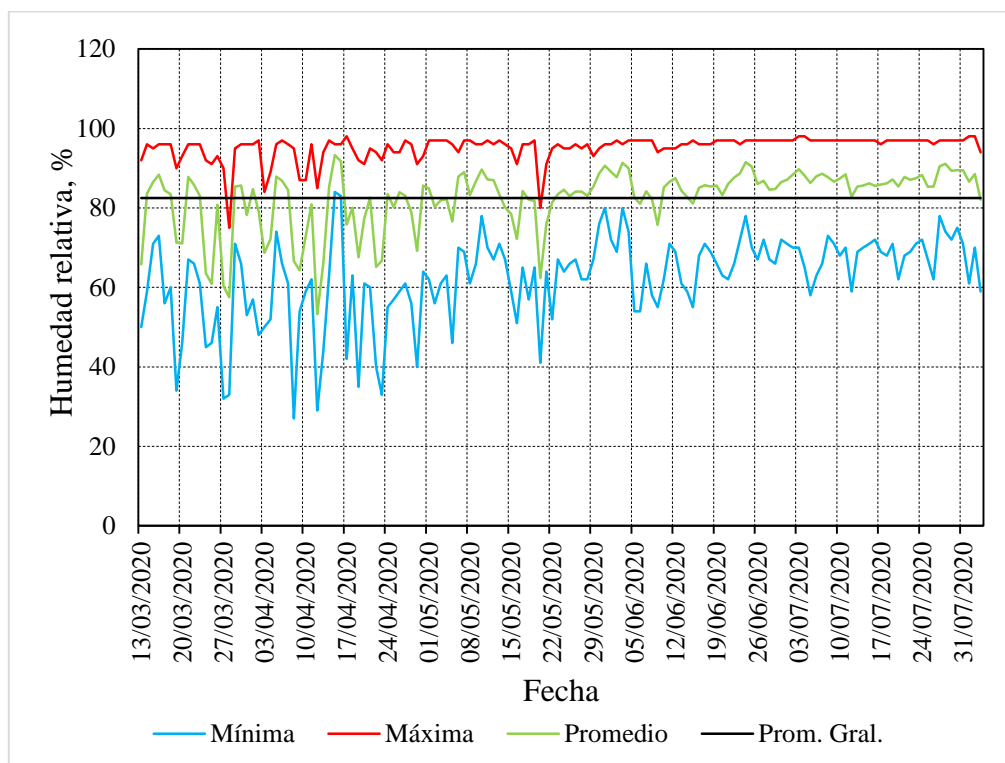


Figura 17. Humedad relativa registrada dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con diferentes estrategias de manejo de cultivo en Teziutlán, Pue.

6.8.5 Déficit de presión de vapor

El déficit de presión de vapor (DPV) más alto registrado dentro del invernadero fue 2.30 kPa y el más bajo reportado fue 0.23 kPa, el promedio general de DPV fue 0.8 kPa, este resultado es favorable para el cultivo, ya que como lo menciona BioAgro (2020) el DPV recomendado

es de 0.5 a 2.0 kPa, pues cuando el DPV alcanza valores superiores a 2.0 kPa por periodos largos de tiempo la planta presenta problemas de estrés hídrico y cuando el DPV indica valores inferiores a 0.5 kPa, las plagas y enfermedades tienden a incrementarse. Los valores de DPV presentes durante el ciclo de cultivo fueron considerados como favorables, ya que prácticamente se mantuvieron en el rango considerado como óptimo y no provocaron daños al cultivo. Los resultados se muestran en la Figura 18.

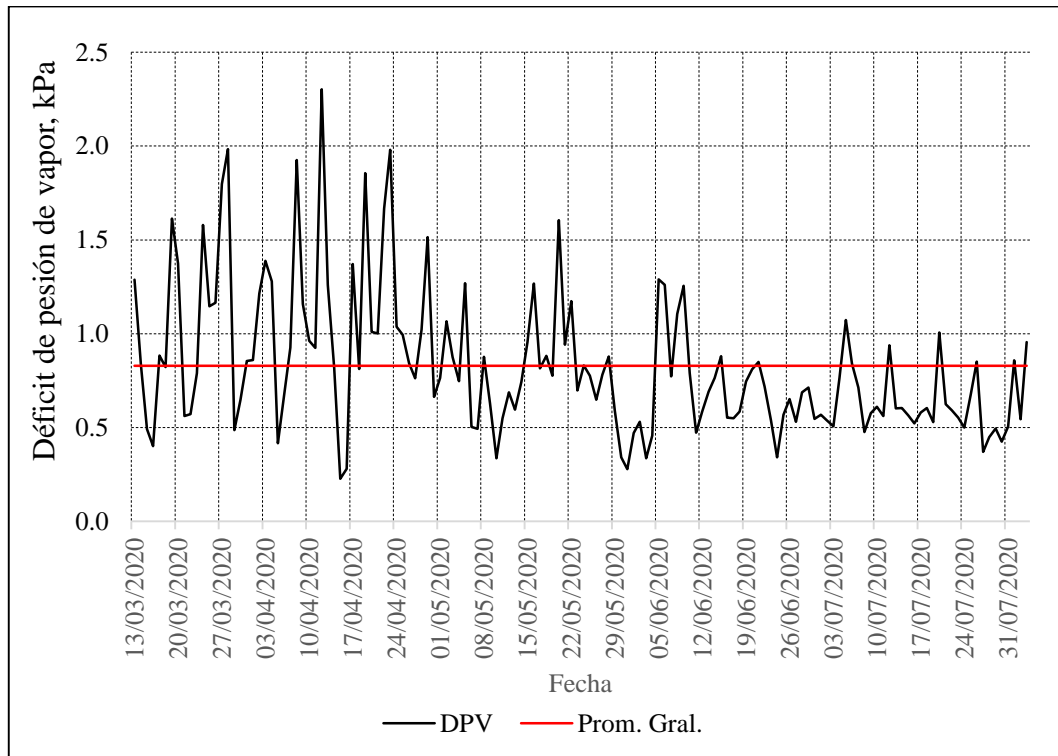


Figura 18. Déficit de presión de vapor registrado dentro del invernadero de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con diferentes estrategias de manejo de cultivo en Teziutlán, Pue.

VII. CONCLUSIÓN

La utilización en las camas del cultivo de 10 t/ha de composta y 5 t/ha de estiércol fresco de borrego en complemento con la fertirrigación en kg/ha de 1,267 N, 775 P₂O₅, 1,923 K₂O, 1,680 CaO y 431 MgO, aunado al control orgánico de plagas y enfermedades del suelo, fue la mejor estrategia de manejo del cultivo de jitomate en condiciones de invernadero en Teziutlán, Puebla, México, con 139.37 t/ha de rendimiento total y mayor cantidad de frutos cosechados, con peso de 100 a 120 g (tipo “L”) y diámetro promedio de 60 a 71 mm (tipo “G”); la eficiencia de uso del agua fue de 44.01 kg/m³ y fueron aplicados 8.96, 5.48, 13.60, 11.88 y 3.05, kg/t de N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO respectivamente; también demostró mayor resistencia a *Meloidogyne sp.* y *Fusarium sp.*

VIII. LITERATURA CITADA

- Abawi, G., Thurston, H. y Thurston, H. (1994). Efecto de las coberturas y enmiendas orgánicas al suelo y de los cultivos de cobertura sobre los patógenos del suelo y las enfermedades radicales: Una revisión. *Tapado: los sistemas de siembra con cobertura* .
- Alarcón, M. S., Bolkan, H. 1994. Situación y perspectiva del tomate en México. Campbell's Sinalopasta S. A. de C. V., Guasave, Sinaloa, México. Informe Interno.
- Allende, M., Salinas, L., & Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate bajo invernadero.
- Anjanappa, M., Gowda, G. S. J., & Kumara, B. S. (2013). Shelf life and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by 1-methylcyclopropene (MCP) under cold storage condition. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 47(1), 58-65.
- Ardila G, Fischer G, Balaguera-López HE. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Rev Colomb Cienc Hortic*. 2011; 5(1):44-56.
- Ascencio, J. y J.F. Fargas. 1973. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva. *Turrialba* 23(4), 420-428.
- Atherton, J. G. and G. P. Harris. 1986. Flowering. In: *The Tomato Crop*. Atherton, J. G and J. Rundich (eds.). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. Pp: 167-200.
- Balwid, E.A., Goodner, K., Plotto, A. 2008. Interaction of volátiles, sugars, and acids on perception of tomato roma and flavor descriptors. *Journal of Food Science*, 73:S294-307.
- Barrios-Díaz, J. M., Suárez-Blanco, B., Cruz-Romero, W., Barrios-Díaz, B., Vázquez-Huerta, G., Ibáñez-Martínez, A. y Moreno-Velázquez, D. 2015. Fertilización fosfatada en rendimiento y calidad de tomate en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(4):897-904.

- Beck, M. 1997. Ecological irrigation and fertigation of soil grown plants in greenhouses. *Acta Horticulturae*. 450:413-417.
- Bernal, R. (2010). Enfermedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero en las zonas de Salto y Bella Unión. *Serie Técnica. INIA. Montevideo, Editorial Hemisferio Sur SRL, 181*, 1-71.
- BioAgro. 13 de abril de 2020. DPV – Déficit de Presión de Vapor. <https://brioagro.es/dpv-deficit-de-presion-de-vapor/>
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of young tomato plants in natural light conditions. *J Hort. Sci.* 39:194-211.
- Carrillo, F. J. A., Montoya, R. T. J., García, E. R. S., Cruz, O. J. E., Márquez, Z. I., Sañudo, B. A. J. 2003. Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder y Hansen, en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, julio-diciembre, año/vol. 21, número 002. Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Ciudad Obregón, México. pp. 123-127.
- Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, R., & Villegas-Aparicio, Y. (2013). Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(spe6), 1081-1091.
- Castellanos J. C., 2009. Manual de Producción de tomate en invernadero. Primera Edición. Ediciones Intagri. Celaya Guanajuato México. 458.
- Castellanos J., Z. 2003. El cultivo en suelo o sustrato?, Desafios y Perpectivas. Mmemorias 4° Congreso Internacional. Produccion de Hortalizas en Invernadero. AMPHL.
- Chaib, J., Devaux, M.F., Grotte, M.G., Robini, K., Causse, M., Lahaye, M., Marty, I. 2007. Physiological relationships among physical, sensory and morphological attributes of texture in tomato fruits, *Journal of Experimental Botany*, 581:1915-1925.

- Chávez García, M. 2013. Efecto de dos coberturas plásticas en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en el municipio de Coatepec Harinas. Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Cook, R. 2003. Giannini Foundation of Agricultural Economics. U.C. Cooperative Extension Economist in the ARE Department at University of California. U.S.A. p 120-123.
- CUELLAR, J., A. COOMAN & ARJONA, H. 2002. «Incremento de la productividad del cultivo de tomate bajo invernadero mejorando la polinización». *Agronomía Colombiana*, 18, pp. 7-13.
- Dávila-Aviña, J. E. D. J., González-Aguilar, G. A., Ayala-Zavala, J. F., Sepúlveda, D. R., & Olivas, G. I. (2011). Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Revista fitotecnia mexicana*, 34(2), 133-143.
- EDIFORM. 2006. VADIAGRO: Principales problemas fitosanitarios. Tomo I. Curridabat, Costa Rica, Edifarm Internacional Costa Rica. 3 ed. 89-92, 193-212 p.
- Edwards CA, Burrows I, Fletcher KE, Jones BA (1984) The use of earthworms for composting farm wasted. En: Gasser JKR (ed). Composting of agricultural and other wastes. Els. App. Sci. Publ. London. 241 pp.
- Escalona, V; Alvarado, P; Monardes, H; Urbina, C; Martín, A. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (en línea). Nodo Hortícola. Universidad de Chile. 60 p. Consultado 19 set. 2016. Disponible en http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua_Cultivo_tomate.pdf
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Escobar, P., Montealegre, J., & Herrera, R. (2004). Respuesta in vitro de cepas de *Trichoderma harzianum* frente a FE3+, salinidad, pH y temperatura, con el fin de ser utilizadas en control biológico de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani* en tomate. *Boletín Micológico*, 19.

- Félix, G.R. 1993. Control de Tizón tardío *Phytophthora infestans* en tomate industrial considerando la influencia de algunos factores ambientales para el uso de fungicidas. Memorias XX Congreso Nacional de Fitopatología. Sociedad Mexicana de Fitopatología. Resumen 31 pp.
- FERNÁNDEZ, R.E. y CAMACHO, F. Eficiencia en el uso del agua. Revista Viveros. Universidad de Almería en España, 2005, pp. 86-89.
- Flores, C., Buono, S., Giorgini, S., & Flores, C. (2012). Enfermedades de tomate: guía de consulta.
- Flores, J., Ojeda-Bustamante, W., López, I., Rojano, A., & Salazar, I. (2007). Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 127-134.
- Geraud, F., D. Chirinos, M. Marín y D. Chirinos. 1995. Desarrollo de la planta de tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Río Grande en la zona del río Limón del Estado Zulia, Venezuela. II. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. Rev. Fac. Agron. 12, 15-23.
- Gómez T.L., M.A. Gómez, R. Schwentesius, 1999. Desafíos de la Agricultura Orgánica. s.n.t. p. 224.
- GÓMEZ, D. 2000. "Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en función del clima". Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- González-Raya, E., Benavides-Mendoza, A., Ramírez, H., Robledo-Torres, V., Maiti, R., Reyes-López, A., & Hernández-Valencia, R. E. M. (2005). Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 105-111.
- HANAN, J. J. 1998. Greenhouses Advanced Technology for Protected Agriculture. Editorial CRC Press. Boca Raton, Florida. USA. 648 p.

- Hernández ML (1996). Agricultura orgánica: Producción de México hacia el mundo. Perspectivas de la educación y la investigación en materia de agricultura orgánica. México, Editores. 4 pp.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman, Boston. 110 p.
- Hunt, R., D.R. Causton, B. Shipley y A.P. Askew. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann. Bot.* 90, 485-488.
- Infoagro Systems S.L. 2016. El cultivo de tomate: Parte I. (en línea). Madrid, España. s.p. Consultado 20 oct. 2016. Disponible en http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2014. Manejo integrado de plagas. Cultivo de tomate: Guía MIP (en línea). Managua, Nicaragua. 66 p. Consultado 10 may. 2016. Disponible en <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MIP%20tomate%202014.pdf>
- INTA, 2014. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Manejo Integrado de Plagas en tomate, Managua. Nic. 1era ed. La prensa. Managua. Nicaragua. P.6.
- Jasso, C. C., Martínez, G. M. A., Chávez, V. J. R., Ramírez, T. J. A., & Garza, U. E. (2012). Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí. *URL* <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/905.pdf> target="_blank">
<http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/905.pdf> (in Spanish)
- Kleinhenz, V.; Katroschan, K.; Schütt, F. and Stützel, H. 2006. Biomass accumulation and partitioning of tomato under protected cultivation in the humid tropics. *Eur. J. Hortic. Sci.* 71(4):173-182.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Legall.- Mendez J. R., Dicoovskiy Rioboo L. E. y Valenzuela- Castellon Z. 2007. Manual básico de lombricultura para condiciones tropicales.
- Leopold, C. 1974. Plant growth analysis and development. McGraw- Hill Book Company, Nueva York. 466 p.
- Macías, R. (2002). Estimación de la evapotranspiración de cultivo y requerimientos hídricos del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. cv. El Cid) en invernadero. *Requisito parcial para obtener el grado de maestro en ciencias. México.*
- Manrique, L.A. 1990. Plant morphology of cassava during summer and winter. *Agron. J.* 82(5), 881-886.
- Marquez-Hernandez, C., Cano- Rios P. y Rodriguez-Dimas. N. 2008. Uso de sustratos organicos en la producción de toamte en invernadero *Agricultura Tecnica en Mexico.* 34 (1). 69-74.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- Monardes, H. (2009). 3. Requerimientos de Clima y Suelo. *MANUAL DE CULTIVO DE TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill.)*, 13.
- Monge, J. 2016. Liro 42: Generalidades del híbrido. Informe técnico. Alajuela, Costa Rica. Almatropic S.A. 1 p.
- Moorby, J. 1981. Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. 169 p.
- Murillo, R. A. L., Reyes Pérez, J. J., López Bustamante, R. J., Reyes Bermeo, M., Murillo Campuzano, G., & Sarmaniego Armijos, C. (2015). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Centro Agrícola*, 42(4), 67-74.

- Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Larrinaga-Mayoral, J. Á., & García-Hernández, J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*capsicum annum l.*) en zonas áridas. *Interciencia*, 27(8), 417-421.
- Nuez F (1995) El cultivo de Tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp:190-219.
- Nurundin M. M. 2001. Effect of wáter stress on tomato at different growth stages. Department of agricultural biosystems engineering. McGill University, Macdonald Campus, Montreal, Canada.
- Ocampo, J. P., Del Castillo, F. S., Magaña, E. C., & Sáez, T. C. (2000). Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(1), 87-97.
- Ortega Martinez, L. D., Sanchez-Olarte, J., Ocampo-Mendoza, J. Sandoval-Castro E., Salsido-ramos, B. y Manzo- Ramos F. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) bajo condiciones de invernadero. *Revistas Cientificas de America Latina* pp 339-336.
- Osuna, Trejo, Alcántar, Volke y Ochoa., 2007. Cubierta con polipropileno y fertilización potásica en fertirriego: implicaciones en crecimiento, rendimiento y nutrición del jitomate. *TERRA Latinoamericana* [en línea] 2007, 25 (Enero-Marzo): [fecha de consulta: 12 de julio de 2010] Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311513009> ISSN 0187-5779.
- Papadopoulos A P, S Pararajasingham (1997) The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*): A review. *Scientia Hort.* 69:1-29.
- PEIL, R.M. & J.L. GÁLVEZ. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Revista Brasileira de Agrociencia* 11(1): 5-11.

- Perea, 2009. Invernaderos y riego. Aun con crisis seguirá creciendo superficie de invernadero. La imagen agropecuaria. www.imagenagropecuaria.com.
- Pérez, J. M., Pérez, C., Acosta, O., Gandarilla, H., Pérez, A., Rodríguez, R. C., & Andreu, C. (2006). *Trichoderma*, alternativa para el control biológico de nematodos dentro de una agricultura sostenible. *Fitosanidad*.
- PONCE O., J.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; CONTRERAS M., E.; CORONA S., T. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Fitotecnia Mexicana* 23: 87-97. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/23-1/9a.pdf>.
- Pool-Novelo, L., A. Trinidad-Santos, J. Etchevers-Barra, J. PérezMoreno y A. Martínez-Garza. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de Los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 34: 251-259.
- Preciado R.P., M.F. Hernández, J.L. Hernández, R.E. Puente, J.R. Rivera, L.A. Herrera, M.A. Castruita, V.J. Orozco, 2011. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de jitomate en invernadero. *Interciencia*. Vol. 36. (9) 689-693.
- Reina, C. E., Guzmán Torres, J. C., & Sánchez Peña, J. M. (1998). Manejo postcosecha y evaluación de la calidad de tomate (*Lycopersicum Esculetum* Mill) que se comercializa en la ciudad de Neiva.
- RESH, M. H. 2001. *Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción*. Quinta edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- Ricárdez, Huitrón, González, Rodríguez y Camacho, 2009. *Tecnología mediterránea para Baja California. El empleo de la materia orgánica y la arena*. SEMARNAT-ONUUDI.

- Rindermann, R. S. (2012). HORTALIZAS EN MÉXICO: COMPETITIVIDAD FRENTE A EE. UU. Y OPORTUNIDADES DE DESARROLLO. *Globalización, Competitividad y Gobernabilidad de Georgetown/Universia*, 6(3).
- Rodríguez, C. E. A., Velázquez, J. F., Bustamante, W. O., Rojano, F., & Covarrubias, M. Í. (2018). Establecimiento de los grados días de crecimiento (dgc) como indicador para el manejo del ciclo del cultivo de jitomate (*esculentum mill*) en un invernadero.
- Rodríguez-Dimas N., Cano-rios P., Figueroa-Viramontes U., Favela-Chavez E., Moreno-Resendez A., Marquez-Hernandez, C., Ochoa-Martinez E., Preciado-Ragel P., 2009. Uso de abonos organicos en la producción de tomate en invernadero. *Revista Terra Latinoamericana* 27 (1). 319-327.
- Rojas, J; Castillo, M. 2007. Diagnóstico de la Agro Cadena del cultivo de tomate de la Región Central Sur (en línea). MAG. San José, Costa Rica. 72 p. Consultado 20 mar. 2015. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00063.pdf>
- Rojop Bravo A. “Control in Vitro con extractos vegetales de patógenos que afectan al cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum*)”. Tesis de Especialidad en Ingeniería de Invernaderos, UAQ-Amazcala. México, 2008.
- Romera P.M., L. Guerrero, 2000. Agricultura ecológica (en línea). Disponible en: www.nortecastilla.es/canalagro/datos/agricultura_ecologica/agricultura_ecologica05.htm.
- Ruiz-Cisneros, M. F., Ornelas-Paz, J. D. J., Olivas-Orozco, G. I., Acosta-Muñiz, C. H., Sepúlveda-Ahumada, D. R., Pérez-Corral, D. A., & Fernández-Pavía, S. P. (2018). Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(3), 444-456.

- Russell, C.R. y D.A. Morris. 1983. Patters of assimilates distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plants. *Ann. Bot.* 52: 357-363.
- Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A., & López-Cruz, I. L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183.
- Sánchez del C F, J Ortiz, M C Mendoza, V A González, M T Colinas (1999) Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33:21- 29.
- Sánchez del C., F. y J. Ponce O. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 4(2): 89-94.
- Sánchez, L. A. 2013. Comportamiento y caracterización de diferentes genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum mil*). extrafirmes de habito indeterminado. Memoria del X Congreso de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. Chapingo, México. Pp 20.
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. D. C., & Cruz-Arellanes, E. L. (2009). Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(1), 67-73.
- Sánchez-del Castillo, F.; Moreno-Pérez, E. C.; Coatzín-Ramírez, R.; Colinas-León, M. T. y Peña-Lomelí, A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Rev. Chapingo Hortic.* 16(3):207-214.
- Schwentesius Rindermann, R., & Cruz, M. Á. G. (1994). México en el mercado hortícola mundial. Algunos datos. *Comercio Exterior*, 341-348.

- Sortino, O., Dipasquale, M., Montoreni, E., Tomasso, L., Perrone, D.G., Vindrona, D., Negre, M., Piccone, G. 2013. Refuse derived soluble bio-organics enhancing tomato growth and productivity. *Waste Management*, 32:1792-1801..
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2000. *Physiologie der pflanzen*. pp. 445-485. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 773 p.
- Terrones-Cordero, A. y Sánchez-Torres, Y. 2011. Análisis de la rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero en Acaxochitlán, Hidalgo. *Rev. Mex. Agron.* 17(29):752-761.
- Thybo, A.K., Adelenbos, M., Christensen, L.P., Serensen, J.N., Thorup-Kristensen, K. 2006. Efecct of tomatoes. *LWT*, 39:835-843.
- Tucci, M., Ruocco, M., De Masi, L., De Palma, M., & Lorito, M. (2011). The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. *Molecular Plant Pathology*, 12(4), 341-354.
- Van der Ploeg, A.; Van der Meer, M. and Heuvelink, E. 2007. Breeding for a more energy efficient greenhouse tomato: past and future perspectives. *Euphytica*. 158(1-2):129-138.
- Vargas-Canales, J. M., Castillo-González, A. M., Pineda-Pineda, J., Ramírez-Arias, J. A., & Avitia-García, E. (2014). Extracción nutrimental de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en mezclas de tezontle con aserrín nuevo y reciclado. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(1), 71-88.
- Vargas-Espinoza, Everardo, Gaytán-Ruelas, Marina, Rivera-Arredondo, Marisa y Morales-Félix, Verónica De Jesús, 2017, Rendimiento y componentes de rendimiento de cuatro variedades de jitomate (*lycopersicon esculentum mill*) Bajo invernadero, *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4, 11, 45-51.

- Vázquez, P. V., López, M. Z. G., Cortez, M. C. N., & Hernández, D. G. (2015). Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36, 1351-1356.
- Velasco, H. E.; Nieto, A. R.; Navarro, L. E. (2011). Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Ed. BBA. México, D.F. 125 p.
- VILLEGAS C., J. R.; GONZÁLEZ H., V. A.; CARRILLO S., J. A.; LIVERA M., M.; SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; OSUNA E., T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(4): 333-338.
<http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/27-4/5a.pdf>
- Werner, R. y D. Leihner. 2005. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 4-20. Villalobos R.E. (ed.). Volumen siete. Editorial Universidad de Costa Rica, Turrialba. 41 p.