



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**PODA SELECTIVA DE HOJAS EN PLANTAS DE JITOMATE
SOMETIDAS TEMPORALMENTE A ALTA DENSIDAD DE
POBLACIÓN**

TESIS

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

ANDY VILLAFUERTE MOJICA



APROBADA

Bajo la dirección del Dr. Felipe Sánchez Del Castillo



Chapingo, Texcoco, Estado de México, mayo 2022



Instituto de Horticultura

**PODA SELECTIVA DE HOJAS EN PLANTAS DE JITOMATE SOMETIDAS
TEMPORALMENTE A ALTA DENSIDAD DE POBLACIÓN**

Tesis realizada por **Andy Villafuerte Mojica** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

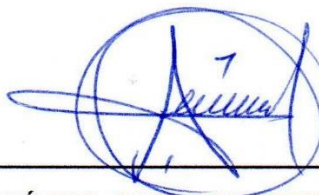
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: _____



DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO

ASESOR: _____



DR. ESAÚ DEL CARMEN MORENO PÉREZ

ASESOR: _____



DRA. LUCILA GONZÁLES MOLINA

Chapingo, Texcoco, Estado de México, mayo de 2022.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIAS.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	x
DATOS BIBLIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. OBJETIVOS	8
III. HIPÓTESIS	8
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	9
4.1. Generalidades del jitomate.....	9
4.1.1. Semilla	9
4.1.2. Raíz	10
4.1.3. Tallo.....	10
4.1.4. Hojas	11
4.1.5. Flores	12
4.1.6. Fruto	14
4.2. Fases fenológicas del cultivo de jitomate	15
4.2.1. Germinación	15
4.2.2. Crecimiento vegetativo	15
4.2.3. Floración	16
4.2.4. Polinización, fecundación y amarre de frutos	16
4.2.5. Crecimiento y maduración de frutos	17
4.2.6. Cosecha.....	17
4.3. Requerimientos climáticos y nutricionales del cultivo de jitomate.....	18
4.3.1. Radiación solar	18
4.3.2. Temperatura.....	19

4.3.3. Humedad relativa	21
4.3.4. Bióxido de carbono (CO ₂).....	22
4.3.5. Agua	24
4.3.6. Requerimientos nutricionales.....	25
4.4. Sistema de producción tradicional para el cultivo de jitomate bajo invernadero en México.....	26
4.4.1. Desventajas del sistema tradicional	28
4.5. Sistema de producción de jitomate basado en despuntes a tres racimos y altas densidades de población.....	29
4.5.1. Ventajas del sistema con despunte a tres racimos en alta densidad.....	31
4.5.2. Desventajas del sistema con despunte a tres racimos en alta densidad	31
4.6. Optimización del sistema de producción de jitomate con despuntes a tres racimos y en alta densidad de población	32
4.7. Problemática que representa manejar la segunda fase para la optimización del sistema de producción a tres racimos	34
4.8. Poda de hojas y folíolos: una posible solución para el manejo de la segunda fase en la optimización del sistema de producción a tres racimos	36
V. MATERIALES Y METODOS.....	39
5.1. Ubicación del experimento	39
5.2. Material biológico.....	39
5.3. Descripción de los tratamientos.....	40
5.4. Diseño experimental.....	46
5.6. Variables morfológicas.....	46
5.7. Variables de peso seco.....	47
5.8. Variables de rendimiento y sus componentes	48
5.9. Conducción del experimento.....	49
5.9.1. Fase de semillero	50
5.9.2. Fase intermedia	52
5.9.3. Fase final	56
5.10. Análisis de datos.....	57
VI. RESULTADOS.....	58

6.1. Variables morfológicas y de peso seco evaluadas a los 45 días después de la siembra (dds) al inicio de la fase intermedia de alta densidad	58
6.2. Variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra (durante la fase intermedia de alta densidad)	60
6.3. Variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra (al final de la fase intermedia de alta densidad)	63
6.5. Variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra al final de la fase intermedia de alta densidad	68
6.6. Variables de rendimiento y sus componentes	70
VII. DISCUSIÓN GENERAL	74
7.1. Variables morfológicas y de peso seco evaluadas a los 45 días después de la siembra (inicio de la fase intermedia de alta densidad)	75
7.2. Variables morfológicas evaluadas a los 75 y 90 días después de la siembra (dds) durante la fase intermedia de alta densidad	76
7.3. Variables de peso seco evaluadas a los 75 y 90 días después de la siembra (dds) durante la fase intermedia de alta densidad	78
7.4. Variables de rendimiento y sus componentes	79
VIII. CONCLUSIONES	81
IX. LITERATURA CITADA	82

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de morfológicas evaluadas a los 45 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al inicio de la fase intermedia.....	60
Cuadro 2. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de peso seco evaluadas a los 45 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al inicio de la fase intermedia.	60
Cuadro 3. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.....	61
Cuadro 4. Comparaciones de medias para variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.	62
Cuadro 5. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.....	63
Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la intermedia.	63
Cuadro 7. Comparaciones de medias para variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al final de la fase intermedia.	64
Cuadro 8. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al final de la fase intermedia.....	65
Cuadro 9. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de peso seco evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.	66
Cuadro 10. Comparaciones de medias para variables de peso seco evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.	67
Cuadro 11. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de peso seco evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea.	68

Cuadro 12. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al final la fase intermedia.....	68
Cuadro 13. Comparaciones de medias para variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.	69
Cuadro 14. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea.	70
Cuadro 15. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate variedad Galilea.	71
Cuadro 16. Comparaciones de medias para variables de número de flores evaluadas en plantas de jitomate variedad Galilea.	72
Cuadro 17. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de rendimiento en plantas de jitomate variedad Galilea.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del cultivo de jitomate manejado bajo el sistema de producción tradicional. Dds: días después de la siembra.....	27
Figura 2. Ciclo del cultivo de jitomate manejado bajo el sistema de producción con despuntes a tres racimos y alta densidad de población. Dds: días después de la siembra; ddt: días después del trasplante.	30
Figura 3. Optimización del sistema de producción a tres racimos manejando tres fases de cultivo. Dds: días después de la siembra.	34
Figura 4. Arquetipo de una planta de jitomate del cultivar Galilea despuntada a tres racimos y dejando una hoja por encima del último.	39
Figura 5. Poda de hojas del tratamiento 1 (P3).....	40
Figura 6. Poda de hojas del tratamiento 2 (P5).....	40
Figura 7. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 3 (P4+4F ² R2).	41
Figura 8. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 4 (P4+4F ¹ R1).	41
Figura 9. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 5 (P3+2F ² R2).	42
Figura 10. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 6 (P3+2F ¹ R1).	42
Figura 11. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 7 (P5+2F ² R2).	43
Figura 12. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 8 (P3+2F ² R2).	43
Figura 13. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 9 (P3+3F ¹ R1).	44
Figura 14. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 10 (P5+3F ² R2).	44
Figura 15. Poda de hojas del tratamiento 11 (PBZ+P5). PBZ: Paclobutrazol.	45
Figura 16. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 12 (PBZ+ P3+2F ¹ R1). PBZ: Paclobutrazol.	45
Figura 17. Medición de variables morfológicas en plantas de jitomate: altura (A), ancho (B), diámetro de tallo (C), área foliar (D) y número de flores (E).....	47
Figura 18. Medición de variables de peso seco: Separación de órganos de las plantas (A), secado de los diferentes órganos (B) y pesaje de cada uno de ellos (C).....	48
Figura 19. Medición de variables de rendimiento: Conteo de frutos por racimo (A), Cosecha de frutos (B) y pesaje de cada uno de ellos (C).	49
Figura 20. Invernadero donde se estableció la fase de semillero.	50
Figura 21. Charolas de poliestireno con plántulas de jitomate del cultivar Galilea al interior del invernadero usado como semillero.	51

Figura 22. Aplicación de $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de placlobutrazol correspondiente a los tratamientos 11 y 12.	52
Figura 23. Invernadero tipo cenital donde se estableció la fase intermedia.	53
Figura 24. Distribución de las bolsas de polietileno con tezontle para el trasplante a alta densidad en la fase intermedia.	54
Figura 25. Trasplante y sistema de riego a base cintillas con goteros a cada 15 cm....	54
Figura 26. Tutorado de plantas con varillas de alambón y anillos de plástico.	55
Figura 27. Plantas de jitomate podadas y despuntadas al tercer racimo, en alta densidad de población.....	55
Figura 28. Medición del flujo fotónico con ayuda de un ceptómetro lineal.	56
Figura 29. Reubicación de macetas en la fase final.....	57

DEDICATORIAS

Con mucho cariño a mi esposa Margarita; por su amor, paciencia y apoyo incondicional para la realización de esta meta.

Con todo mi amor a mi pequeña Maggie Zoe, por ser mi inspiración y motivación para terminar este proyecto.

A mi mascota Rommy, por esos ratos de desestrés y por acompañarme en las desveladas.

A mi familia; a mi madre Elvira, mi padre Ignacio, mis hermanas Carmen y Elvira, a mi tío Fernando y a mi primo Edi, gracias por su inmenso apoyo y cariño incondicional.

A Gabriel, Tranquilino y Kevin; amigos y compañeros de la maestría, gracias por todo su apoyo y la compañía en la parte experimental de este trabajo.

Sinceramente y con mucho cariño para todos.

Andy V. M.

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por haberme permitido vivir esta experiencia y aprender lo que tanto quería en la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Consejo Nacional de Ciencia Y tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría.

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar (DGETAyCM) por brindarme la oportunidad para seguir superándome académicamente.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia por brindar sus instalaciones, apoyo técnico y por la calidad de sus profesores.

Al Dr. Felipe Sánchez Del Castillo, por su valiosa dirección, confianza, contribuciones y asesoramiento en la realización de este proyecto.

Al Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez, por sus contribuciones y asesoramiento para la culminación de este trabajo.

A la Dra. Lucila Gonzales Molina, por aceptar ser lector externo de la presente tesis.

A mis profesores del posgrado, por todos los conocimientos que me transmitieron durante las clases con gran vocación y entusiasmo.

A Doña Mary, Angel, Brigitte y Vanesa por su amistad e invaluable apoyo en el área de invernaderos de posgrado.

Y para todas las personas que contribuyeron de alguna manera en realización de esta tesis y que no alcancé a nombrar, ¡muchas gracias!

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre y apellidos:	Andy Villafuerte Mojica.
Fecha de nacimiento:	10 de agosto de 1988.
Lugar de nacimiento:	Tlalchapa, Guerrero, México.
CURP:	VIMA880819HGRLJN05.
Profesión:	Biólogo.

Desarrollo académico

Bachillerato:	Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Oriente (CCH Oriente).
Licenciatura:	Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FES Iztacala).
Posgrado:	Maestría en Ciencias en Horticultura. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN

Poda selectiva de hojas en plantas de jitomate sometidas temporalmente a alta densidad de población

El sistema de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) a tres racimos por planta en alta densidad de población y con trasplantes tardíos, ha permitido, mediante el manejo del cultivo en dos fases (semillero y final) lograr hasta tres ciclos al año y un rendimiento potencial de $600 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Se plantea que es posible incrementar al doble ese rendimiento intercalando una fase de cultivo intermedia de alta densidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la poda de hojas y folíolos en plantas de jitomate variedad 'Galilea' sometidas a un sistema de cultivo de tres fases (semillero, intermedia y final), donde la fase intermedia se manejó a alta densidad de población (30 plantas/m²). Se evaluaron 12 tratamientos de podas de hojas y folíolos. El diseño fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se midieron variables morfológicas (altura y ancho de planta, grosor del tallo, área foliar e índice de área foliar) y de peso seco (tallo, hojas, raíces y total) a los 45, 75 y 90 días después de la siembra (dds), así como el rendimiento y sus componentes (número de flores y frutos, porcentaje de aborto, peso medio de frutos y rendimiento por planta). El mayor nivel de poda (4 hojas inferiores más 4 folíolos de cada hoja por encima del primer racimo) afectó significativamente ($P \leq 0.05$) el área foliar y el índice de área foliar de las plantas sometidas a la fase intermedia de alta densidad, disminuyendo el rendimiento final; sin embargo, podas moderadas no afectaron significativamente las variables de rendimiento, peso seco y de rendimiento y sus componentes. La aplicación de paclobutrazol en semillero, combinada con podas de hojas y folíolos afectó significativamente variables morfológicas, de peso seco y de rendimiento. Se demuestra que con la implementación de la fase intermedia de alta densidad es posible reducir la fase final de producción de 100 a 50 días posibilitando la obtención de siete ciclos de cultivo por año y en consecuencia un alto rendimiento potencial anual.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L, sistema a tres racimos, fase intermedia, alta densidad de población, poda de hojas y folíolos.

ABSTRACT

Selective pruning of leaves in tomato plants temporarily subjected to high population density.

The production system of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with three clusters per plant in high population density and with delayed transplants, has allowed, by managing the crop in two phases (seedbed and final), to achieve up to three crop cycles a year and a potential yield of 600 t·ha⁻¹·year⁻¹. It is proposed that it is possible to double this yield by inserting a high-density intermediate cultivation phase. The objective of this work was to evaluate the effect of pruning leaves and leaflets on tomato plants of 'Galilea' variety subjected to a three-phase cultivation system (seedbed, intermediate and final), where the intermediate phase was managed at high population density (30 plants/m²). Twelve leaf and leaflet pruning treatments were evaluated. A complete randomized block design with four replications was used. Morphological traits (plant height and width, stem thickness, leaf area and leaf area index) and dry weight variables (stem, leaves, roots and total) were evaluated at 45, 75 and 95 days after sowing (das) as well as the yield and its components (number of flowers and fruits, percentage of abortion, average weight of fruits and yield per plant) were measured. The highest level of pruning (4 lower leaves plus 4 leaflets of each leaf above the first cluster) significantly affected ($P \leq 0.05$) the leaf area and the leaf area index of the plants subjected to the intermediate phase of high density, decreasing the final yield; however, moderate pruning treatments did not significantly affect yield, dry weight or yield variables and their components. The application of paclobutrazol in the nursery, combined with pruning of leaves and leaflets, significantly affected morphological, dry weight and yield variables. It is shown that with the implementation of the high-density intermediate phase it is possible to reduce the final phase of crop production from 100 to 50 days, making possible to obtain seven crop cycles per year and consequently a high potential annual yield.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L, three-cluster system, intermediate phase, high population density, pruning of leaves and leaflets.

Master of Horticultural Science Thesis, Chapingo Autonomous University

Author: Andy Villafuerte Mojica.

Thesis director: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La agricultura ha sido una actividad enfocada principalmente a la producción de bienes vegetales y animales, con la finalidad de cubrir necesidades básicas como la alimentación. Al pasar de los años esta actividad ha cobrado una enorme importancia, convirtiéndose en parte fundamental del desarrollo económico de varios países (Bula, 2020).

La problemática particular que limita la actividad agrícola en México (topografía accidentada, precipitación escasa y errática, bajas temperaturas y heladas estacionales, escasa superficie cultivable por productor y limitaciones en la cantidad o calidad del agua de riego) ha estimulado la implementación de la Agricultura Protegida como una opción tecnológica más segura y rentable para algunos cultivos (Sánchez & Moreno, 2017).

Los mismos autores enfatizan que el uso conjunto de sistemas de producción intensivos como los invernaderos y la hidroponía son la forma de agricultura comercial más avanzada y productiva que existe en la actualidad a nivel mundial. Los invernaderos permiten el control de factores climáticos y facilitan el control de plagas y enfermedades. Por otra parte, con la hidroponía se logra un alto grado de control sobre el medio ambiente de la raíz, incluyendo las plagas y enfermedades propias del suelo.

Por sus características de alto valor y demanda en el mercado nacional y extranjero, así como el alto rendimiento y calidad que se obtienen bajo sistemas de agricultura protegida, el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) ha sido la hortaliza más importante, y la que más se ha manejado en condiciones de invernadero y con sistemas hidropónicos en nuestro país y en varios países del mundo (Costa & Heuvelink, 2018; SIAP, 2020).

Durante el período del 2007 a 2017, la superficie cultivada de jitomate en campo abierto se redujo a una tasa promedio anual de 5.9 %, al pasar de 64,663 a 35,175 hectáreas. Mientras que, en el mismo periodo, la superficie establecida

en agricultura protegida pasó de 1,973 a 15,198 hectáreas, es decir, creció a una tasa promedio anual de 22.7 %. Así, la producción obtenida con el uso de estas últimas tecnologías pasó de 0.9 % del total en 2003 a 32.2 % en 2010, y hasta 63.3 % del volumen total en 2017 (FIRA, 2019).

Durante 2018 se exportaron 1.68 millones de toneladas, volumen equivalente a 48.7 % de la producción nacional (poco más de 3 millones de toneladas). El 99.7 % de las ventas de tomate mexicano se destinó a Estados Unidos (FIRA, 2019; Inforural, 2021).

El incremento en la superficie de agricultura protegida se asocia principalmente con la obtención de jitomates de mayor calidad e inocuidad para el mercado de exportación. Por lo tanto, las inversiones en agricultura protegida buscan mejorar los niveles de rentabilidad y eficiencia en la producción, principalmente la que se destina al mercado extranjero o a mercados selectos a nivel nacional (Castellanos & Borbón, 2009; Sánchez & Moreno, 2017).

Desde su introducción a México, la tecnología para la producción de jitomate bajo invernadero se importó como un paquete tecnológico que aún predomina en la mayoría de las empresas comerciales. Este sistema de producción consiste en utilizar cultivares de tipo bola o saladette de crecimiento indeterminado, con densidades de población de 2 a 3 planta por metro cuadrado que se dejan crecer a más de tres metros de altura, para cosechar de quince a veinticinco racimos por planta en un ciclo de cultivo que dura de nueve a once meses después del trasplante y un periodo de inicio a fin de cosecha de al menos cinco meses. El rendimiento promedio con invernaderos de mediana tecnología se ubica entre 200 y 300 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ (Sánchez & Moreno 2017); aunque con invernaderos de alta tecnología se reportan rendimientos que pueden sobrepasar las 400 e incluso las 500 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ (Heuvelink et al., 2018b). Sin embargo, de acuerdo con Sánchez et al. (2012a) y Sánchez (2016), dicho sistema presenta algunas desventajas, entre las cuales se encuentran la dificultad técnica para el correcto manejo dado lo largo del ciclo, la necesidad de invernaderos muy altos que impactan en los elevados costos de instalación y operación que solo son

rentables para grandes productores con acceso a mercados selectos o de exportación y las fluctuaciones constantes de precios en el mercado nacional que pueden derivar eventualmente en pérdidas económicas.

Por lo anterior, a lo largo de varios años de investigación secuenciada, en el Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, se ha desarrollado y validado un sistema alternativo de producción de jitomate apto para invernaderos de mediana tecnología ubicados en zonas templadas, el cual consiste básicamente en el manejo del cultivo en dos fases:

La primera fase consiste en sembrar las semillas y manejar las plántulas en un invernadero acondicionado como semillero y trasplantarlas al invernadero definitivo cuando éstas alcancen una edad de 45 a 55 días.

La segunda fase tiene lugar en el invernadero definitivo, y va desde el trasplante hasta el final de la cosecha. Consiste en despuntar a las plantas (eliminación de la yema terminal) una o dos hojas por encima del tercer racimo, quitando también todos los brotes laterales o “chupones”, de tal manera que sólo se dejan para cosecha tres racimos por planta; y así, en climas templados, reducir el tiempo de esta fase a unos 110 días en condiciones de localidades de clima templado, lo que permite obtener tres ciclos de cultivo por año (o hasta cuatro en localidades de clima tropical seco). Dado que con este sistema las plantas crecen poco (aproximadamente 1 m de altura) y tienen menos área foliar que las del sistema convencional, para compensar parcialmente el menor rendimiento que se obtiene de cada planta, se manejan densidades tan altas como 7 a 8 plantas/m² (Sánchez et al., 2012; Sánchez et al., 2017). Con este sistema se han reportado a escala comercial rendimientos anuales 50 % mayores al sistema convencional de mediana tecnología (Sánchez & Moreno, 2017).

La densidad de plantación se calcula con base en el área foliar que alcanzará cada planta buscando un índice de área foliar (IAF) entre 3 y 4, que es lo que se considera óptimo para máximas tasas de crecimiento del cultivo de jitomate (Heuvelink et al., 2018).

Bajo este sistema de producción a tres racimos por planta, durante los primeros días después del trasplante el área foliar de las plantas todavía es pequeña y el IAF es bajo, por lo que una alta proporción de la radiación incidente no está siendo absorbida por el dosel. Más adelante, conforme las plantas van creciendo, el IAF del cultivo se va incrementando hasta llegar a un máximo.

De acuerdo con lo anterior, se plantea la concepción de un nuevo sistema de producción, potencialmente más productivo, basándose en la idea de que, mediante el uso de macetas como contenedores; las plantas pudieran cultivarse por un periodo relativamente corto después del trasplante, en un espacio adicional de invernadero en alta densidad (tres a cuatro veces más que la densidad definitiva) y luego de ese tiempo, cuando el área foliar de las plantas se incrementara más allá de cierto límite, se reubicarían las macetas con todo y plantas en el invernadero definitivo a la densidad normal de 7 a 8 plantas/m². Así, a cambio de un espacio adicional de invernadero de un 25 a 30 % con relación a la superficie finalmente ocupada, se podría reducir a aproximadamente 50 días el periodo de tiempo que las plantas permanecerían en el invernadero definitivo durante cada ciclo de cultivo. Acoplando las fases de semillero e intermedia de alta densidad en el invernadero adicional, para hacer cultivos secuenciados en el tiempo, se podrían lograr hasta siete ciclos de cultivo por año en el invernadero definitivo, lo que en teoría podría duplicar el rendimiento anual respecto a lo que actualmente se logra con los tres ciclos por año del sistema a tres racimos por planta en alta densidad.

El principal fundamento de este nuevo sistema de producción es hacer un uso más eficiente del espacio y del tiempo dentro del invernadero al desarrollar el cultivo en tres fases o periodos de tiempo, cada una en un espacio en particular.

La primera fase o fase de semillero de este nuevo sistema comprendería desde la siembra, la germinación y desarrollo de la plántula en el semillero hasta su trasplante a los 45 después de la siembra.

La segunda fase o fase intermedia de alta densidad duraría otros 45 días y como se mencionó anteriormente requeriría un invernadero adicional con un espacio equivalente al menos del 25 % de la superficie que se destinaría para la tercera y última fase. Así, durante el periodo de los 45 a los 89 días después de la siembra (dds), las plantas se manejarían a una densidad tan alta como 30 plantas m^{-2} de invernadero (15 cm entre plantas y 15 cm entre hileras) en conjuntos de seis hileras de plantas separadas por pasillos de 50 cm de ancho. Esta etapa iniciaría con el trasplante de las plántulas de 45 días de edad provenientes del semillero a bolsas o macetas de 15 cm de diámetro y aproximadamente seis litros de capacidad; rellenas con arena de tezontle rojo. Cada planta sería tutorada individualmente con un alambrón enterrado en la bolsa o maceta el cual se sujetaría a la planta con anillos de plástico.

La tercera fase denominada fase final iniciaría a los 90 dds con el traslado de las plantas provenientes de la fase intermedia de alta densidad. Las plantas se reubicarían con todo y su contenedor, ya sea bolsa o maceta junto con los tutores de alambrón, a una densidad final de 7 a 8 plantas/ m^2 en el invernadero definitivo, ahí permanecerían hasta el final de la cosecha lo que ocurriría aproximadamente a los 140 dds; es decir, esta etapa tendría una duración de 50 días.

De esta manera, haciendo siembras escalonadas cada 50 días y manejando la etapa intermedia en el relativamente pequeño invernadero adicional, se podrían obtener en el invernadero de la fase final de producción ciclos de cultivo cada 50 días, haciendo posible, como ya se mencionó, el logro de siete ciclos por año.

El principal reto que parece plantear este sistema de producción y que cuestiona su factibilidad, es reducir al mínimo posible el efecto negativo que puede tener un periodo temporal de alta densidad de población sobre el rendimiento y la calidad de fruto al final del ciclo; efecto que sería más marcado durante los últimos días de la fase intermedia de alta densidad, donde cada planta alcanzaría su máxima área foliar.

Como es sabido, las densidades de población altas llevan a índices de área foliar excesivos, con una menor producción de fotoasimilados por planta; además se provocan alteraciones morfogénicas mediadas por los fitocromos, tales como un mayor crecimiento de los entrenudos con tallos elongados que resultan más débiles a la manipulación y más susceptibles a daños mecánicos o a condiciones de estrés, hojas más delgadas y con menos área foliar que tienden a apuntar hacia arriba, aspectos todos que repercuten negativamente en el rendimiento final (Wien, 1999; Taiz & Zeiger, 2002; Higuchi & Hisamatsu, 2016; Jishi, 2018).

Las variedades indeterminadas de jitomate que se seleccionan para invernadero normalmente producen seis a siete hojas antes de que se forme la primera inflorescencia y tres hojas intermedias entre cada inflorescencia. Una planta despuntada a tres racimos, dejando una hoja por encima del tercer racimo, formará aproximadamente 13 hojas. Normalmente, en cualquier sistema de cultivo, como a los 70 dds, se podan las tres o cuatro hojas inferiores que son las más viejas, pues se considera que están tan sombreadas que prácticamente ya no contribuyen a la fotosíntesis de las plantas, además por su posición en el interior del dosel son muy propensas a enfermarse. Así, el arquetipo de planta para un sistema a tres racimos, eliminándole tres a cuatro hojas a cada planta, tendrá unas 10 hojas activas (Sánchez et al., 1998).

Autores como Acock (1978) e Higashide (2016), mencionan que un IAF alto limita severamente la fotosíntesis de las hojas ubicadas en la parte inferior del dosel; sin embargo, dichas hojas si consumen asimilados por respiración que de otra manera podrían ser canalizados hacia los frutos en crecimiento.

Asimismo, Sánchez et al. (1998) encontraron para un sistema a tres racimos por planta que, las tres hojas inferiores disminuyeron su tasa de fotosíntesis aparente, de los 84 dds en adelante, a menos del 25 por ciento con relación a las hojas superiores y que su remoción no afectó el rendimiento y si redujo el área foliar por planta y, en consecuencia, el IAF.

Xiao et al. (2004), muestran que la poda de las hojas intermedias (las que quedan en medio de las tres que hay entre cada dos racimos), al inicio de su crecimiento (apenas alcancen 1 a 3 cm de longitud), al dejar de ser demanda para la planta, favorecen la traslocación de una mayor proporción de fotoasimilados hacia los frutos en crecimiento y si se mantiene el IAF entre tres y cuatro, puede incrementarse el rendimiento respecto a no podarlas

Las inflorescencias en desarrollo en plantas de hábito indeterminado reciben asimilados principalmente de las hojas ubicadas en los dos ortósticos adyacentes a la posición radial de la inflorescencia sobre el eje principal de la planta, y justo las hojas intermedias, que quedan detrás de las inflorescencias tienen pocas conexiones vasculares con ellas y alimentan preponderantemente el ápice y la raíz (Russell & Morris 1983; Sánchez, 1994).

La proporción de luz difusa, incrementada por ciertas cubiertas de invernadero, mejora su distribución entre las hojas del dosel y, en consecuencia, propicia un incremento en la tasa de fotosíntesis del cultivo y, a la larga, en el rendimiento (Li et al., 2014; Li & Yang, 2016); sin embargo, la distribución de la luz en el dosel está determinada principalmente por las características de las variedades. La penetración de luz en el dosel puede ser estimada a través de un coeficiente de extinción (Higashide, 2016).

Higashide et al. (2017), plantean que la poda de uno a dos folíolos de diferentes hojas, a la vez que reduce el área foliar, reduce el coeficiente de extinción de luz, permitiendo una mayor penetración de ésta entre las distintas hojas del dosel y favoreciendo una mayor tasa de fotosíntesis en las hojas inferiores.

De acuerdo con estos antecedentes se considera importante evaluar los efectos que puede tener la poda selectiva de hojas y/o folíolos para aminorar los efectos de una densidad de población tan alta como la propuesta para la fase intermedia (30 plantas/m²).

II. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de la poda selectiva de hojas sobre el crecimiento de plantas de jitomate sometidas durante un periodo de cultivo (45 a los 90 días después de la siembra) a una densidad de 30 plantas/m², y su repercusión sobre el rendimiento y sus componentes al final del ciclo de cultivo, manejando una densidad final de 8 plantas/m² de los 90 a los 140 días después de la siembra.
2. Evaluar el efecto de la poda selectiva de folíolos sobre el crecimiento de plantas de jitomate sometidas durante un periodo de cultivo (45 a los 90 días después de la siembra) a una densidad de 30 plantas/m², y su repercusión sobre el rendimiento y sus componentes al final del ciclo de cultivo, manejando una densidad final de 8 plantas/m² de los 90 a los 140 días después de la siembra.

III. HIPÓTESIS

1. La poda selectiva de hojas que no contribuyen de manera importante a la fotosíntesis del cultivo, favorecerá una distribución más uniforme de la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre el dosel en la fase intermedia del cultivo (45 a 90 días después de la siembra), lo que favorecerá un mayor crecimiento de los frutos y mayor rendimiento al final del ciclo.
2. La poda de folíolos en hojas superiores disminuirá el coeficiente de extinción de luz por el dosel, favoreciendo una distribución más uniforme de la radiación fotosintéticamente activa incidente en la fase intermedia del cultivo (45 a 90 días después de la siembra) y esto contribuirá a un mayor crecimiento de los frutos y mayor rendimiento al final del ciclo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Generalidades del jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta herbácea, arbustiva, dicotiledónea, perenne (cultivada como anual) y con metabolismo C3, que pertenece a la familia *Solanaceae*, género *Solanum*, sección *Lycopersicon*. En 1753, Linneo nombró al jitomate *Solanum lycopersicum*. Quince años después en 1768, Philip Miller lo trasladó a su propio género, nombrándolo *Lycopersicon esculentum*. Este nombre tuvo un amplio uso, pero infringía las reglas de denominación de plantas. Por otro lado, también se puede encontrar el nombre *Lycopersicon lycopersicum*, pero ya no se usa porque viola el Código Internacional de Nomenclatura que prohíbe el uso de tautónimos en la nomenclatura botánica. La evidencia genética ahora ha demostrado que Linnaeus tenía razón al poner el jitomate en el género *Solanum*, lo que hace que *Solanum lycopersicum* sea el nombre correcto. Sin embargo, ambos nombres probablemente se encontrarán en la literatura durante algún tiempo (Argerich et al., 2013; Heuvelink & Okello, 2018).

4.1.1. Semilla

La semilla de jitomate de cultivares comerciales es pequeña, de forma ovoide aplanada, de hasta 5 mm de largo, 4 mm de ancho y 2 mm de espesor; está conformada principalmente por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta de la semilla. El embrión es la parte que dará origen a la plántula, está constituido por la yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. El endospermo contiene reservas nutritivas necesarias para el desarrollo del embrión. La testa está formada por un tejido duro e impermeable; cubierto de vellosidades suaves que tienden a unirse con otras semillas. El peso de mil semillas varía entre 2 y 4 g (tomates cherry). Las semillas de tomate se almacenan fácilmente y conservan su viabilidad durante períodos prolongados entre 5 y 25 °C con un rango bastante amplio de humedad relativa (HR). Investigaciones han reportado 90 % y 59 % de

germinación después de 15 y 30 años de almacenamiento, respectivamente (Días & Alfonso, 2003; Heuvelink & Okello, 2018).

4.1.2. Raíz

Cuando la planta de jitomate se origina a partir de una semilla desarrolla un sistema radical constituido de una raíz principal que crece aproximadamente 2.5 cm diarios, hasta alcanzar más de 50 centímetros. El sistema radical del tomate está constituido por la raíz principal, raíces secundarias y un gran número de raíces adventicias que se desarrollan desde la base del tallo; también desarrollan en la parte inferior de las porciones horizontales del tallo favorecidas por una alta humedad del ambiente, lo que permite que la planta vuelva a enraizar. Aproximadamente del 60 al 70 % del sistema radical de la planta se encuentra en los primeros 30 centímetros de la capa del suelo. Sin embargo, cuando se cultiva en sustratos hidropónicos o en solución nutritiva las dimensiones de la raíz generalmente son menores (Argerich et al., 2013; Heuvelink & Okello, 2018).

4.1.3. Tallo

El tallo de una planta de jitomate es de consistencia herbácea y tiende a lignificarse en plantas viejas. En plantas jóvenes inicialmente es de forma cilíndrica, pero luego se torna angular en las plantas maduras y en las ramas jóvenes es triangular (Gómez, 2010). Tiene típicamente de 2 a 4 cm de diámetro en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis, cuya esencia confiere su aroma característico a la planta. En el extremo del tallo principal se encuentra el meristemo o yema apical, una región de división celular activa donde se inicia los nuevos primordios foliares y florales (Chamarro, 1995; Castilla, 1995).

El desarrollo del tallo es variable en función de distintos cultivares, existiendo dos tipos fundamentales de crecimiento; los cultivares de crecimiento determinado o definido y los cultivares de crecimiento indeterminado o indefinido. En los de crecimiento determinado, el desarrollo del tallo principal, una vez que ha

producido un número determinado de inflorescencias laterales (normalmente entre cada una o dos hojas), detiene su crecimiento como consecuencia de la formación de una inflorescencia terminal, por lo tanto, las plantas ocasionalmente llegan a alcanzar los 2 m de altura y son generalmente arbustivas y erectas, con un periodo restringido de floración y fructificación. En cuanto a los de crecimiento indeterminado, tienen la particularidad de poseer en su ápice un meristemo de crecimiento que produce un alargamiento continuo del tallo, pudiendo alcanzar alturas de hasta 10 metros. Las primeras inflorescencias aparecen a partir de la sexta a la novena hoja y de ahí se siguen produciendo de manera continua cada tres o cuatro hojas (Argerich & Troilo, 2011).

4.1.4. Hojas

Las hojas son compuestas, imparipinadas, suaves, carnosas, pecioladas e irregularmente lobuladas con bordes dentados o lobulados y frecuentemente rizadas, pero también pueden ser lisas. Se disponen sobre los tallos alternadamente con una filotaxia de 2/5 en espiral. De igual forma que el tallo, las hojas están densamente cubiertas por pelos glandulares que le confieren el olor característico a la planta del tomate (Picken et al., 1986; Fornaris, 2007; Pavan et al., 2009).

El tamaño de la hoja es variable según el cultivar, la posición y las condiciones ambientales. Las dos o tres primeras hojas pueden ser pequeñas con pocos folíolos. Las siguientes, bajo condiciones de invernadero en cultivares comerciales, alcanzan típicamente los 50 cm de largo, con un foliolo terminal grande y hasta ocho folíolos laterales también grandes, que también pueden ser compuestos. En el raquis de la hoja se pueden intercalar muchos folíolos más pequeños con los folíolos grandes (Heuvelink & Okello, 2018).

Las hojas están conformadas por una epidermis superior e inferior, sostienen los tejidos internos y no contienen cloroplastos (no hacen fotosíntesis). La epidermis del envés contiene abundantes estomas que facilitan el intercambio gaseoso con el exterior, mientras que éstos son más escasos en la epidermis superior o del

haz. El mesófilo en empalizada está formado por una o dos capas de células columnares vacuoladas muy compactas inmediatamente debajo de la epidermis del haz. Los cloroplastos se encuentran en el citoplasma de estas células, cerca de los espacios aéreos, lo que facilita el intercambio de gases. El mesófilo esponjoso, entre el parénquima de empalizada y la epidermis del envés, comprende tres o más capas de células vacuoladas más grandes, conectadas libremente en un complejo sistema de espacio aéreo, que contiene menos cloroplastos. Las nervaduras principales forman grandes crestas en el envés de la hoja y tienen cierta similitud estructural con el tallo. La red es irregular y parecida a una pluma (pinnada) con una única nervadura primaria. Al igual que en el tallo, las nervaduras primarias y secundarias tienen floema interno y externo. Las nervaduras menores impregnan el tejido del mesófilo en una nervación reticulada (Picken et al., 1986).

4.1.5. Flores

La floración del jitomate se produce en forma de inflorescencia o racimo floral; que puede ser simple o bifurcado, siendo lo normal que encada inflorescencia simple pueda haber de tres a diez flores. Las flores son hermafroditas, hipogínicas, autocompatibles, regulares, de corola color amarillo verdoso, amarillo canario o naranja, con seis pétalos persistentes de forma estrellada, que forman un tubo corto en la base y se abren en un solo plano, con el ápice hacia fuera cuando la flor está completamente abierta; carecen de vellos glandulares. Miden aproximadamente 2 cm de diámetro con pedicelos de 1 a 2 cm de largo, con un engrosamiento a la mitad que corresponde a la superficie de abscisión. El cáliz es verde y persistente en forma de tubo corto terminado en cinco a diez estambres, generalmente seis en los cultivares comerciales; están insertados sobre el tubo corto de la corola, con filamentos cortos, forman una columna irregular. Las anteras miden aproximadamente 5 mm de largo, son verticales, unidas, bilobuladas, rodea al estilo, son de color amarillo brillante y contienen varios granos de polen, los cuales son lanzados a través de las hendiduras longitudinales. El pistilo está constituido por un ovario de varios lóculos,

generalmente de cinco a nueve, con una placenta carnosa central y un estilo largo que ejerce presión sobre las anteras circundantes de las que apenas sobresale y termina en un estigma achatado. Cuando el polen es liberado cae directamente sobre el estigma (principalmente de la misma flor) donde eventualmente germina. El cáliz y la corola están compuestos de cinco sépalos y cinco pétalos. Primero se forman los primordios de sépalos que se producen en una secuencia helicoidal a intervalos de 135° , luego le sigue la formación de primordios de pétalos y luego los primordios de estambre, también en secuencia helicoidal. Los estambres normalmente se alternan con los pétalos y hay dos o más carpelos unidos. El ovario súpero bicarpelar, contiene numerosos primordios seminales, produciendo bayas polispermas. Los carpelos se presentan en posición oblicua con respecto al plano mediano de la flor (Picken et al., 1986; Gómez, 2012).

La inflorescencia del tomate se forma terminalmente en el brote y la iniciación floral está precedida por el agrandamiento y aplanamiento del ápice. La primera flor formada de la inflorescencia se origina en el ápice, y un punto de crecimiento lateral que surge debajo de la primera flor se convierte en la segunda flor. De esta manera se desarrolla una sucesión de flores desde los puntos de crecimiento laterales hasta que se completa la inflorescencia. Durante el desarrollo de las flores laterales, sus regiones basales se alinean para formar el eje principal de la inflorescencia del que divergen los pedicelos de las flores individuales. La forma de la inflorescencia madura es un racimo con las flores más jóvenes en el extremo distal. Dependiendo del cultivar y el ambiente, puede ocurrir la ramificación del eje principal de la inflorescencia, generalmente debajo de la primera flor formada, de modo que se produce una inflorescencia compuesta. Una inflorescencia compuesta con dos ejes principales generalmente lleva aproximadamente el doble de flores que una inflorescencia simple (Picken et al., 1986)

El número de flores en una inflorescencia va a depender del cultivar y de las condiciones ambientales. Sin embargo, la diferenciación floral suele iniciarse

dentro de las tres semanas siguientes a la expansión de los cotiledones (periodo cuando la planta está en el almácigo) y durante las primeras fases del inicio de la primera inflorescencia inicia la segunda. Después del inicio de las flores, su velocidad de crecimiento y desarrollo, así como el aborto de las yemas florales, están influidos por las condiciones ambientales. En cultivares de crecimiento indeterminado la primera inflorescencia suele aparecer tras la séptima a decimoprimer hoja, posteriormente suele alternarse con otra inflorescencia cada tres hojas; en cultivares determinados o semi-determinados, la primer inflorescencia aparece normalmente tras la quinta a séptima hoja y se alterna con una o dos hojas, aunque las condiciones ambientales pueden alterar estos patrones (Chamarro, 1995).

4.1.6. Fruto

La fecundación de los óvulos marca el inicio del crecimiento del fruto. El fruto de jitomate es una baya carnosa de color rojo a amarillo o colores intermedios, de forma variada dependiendo de los cultivares, pero las más comunes son la forma oblonga o redonda con superficie lisa o surcada. En su interior presenta lóculos o cavidades que pueden ser de 2 a 30. El número y extensión de los lóculos en los frutos es una característica que depende de los cultivares y las condiciones ambientales; la distribución de éstos en el fruto determina su calidad para el consumo en fresco o para la industria y la firmeza para el transporte. El fruto de jitomate consta de numerosas semillas de tamaño pequeño (3-5 mm de largo por 2-4 mm de ancho), discoidales o reniformes, aplastadas y pubescentes (Gómez, 2012).

El fruto del jitomate está constituido básicamente por una parte carnosa (paredes del pericarpio y la piel o exocarpio) y la pulpa (incluye el tejido placentario y las semillas). El pericarpio, que surge de la pared del ovario, consta de un exocarpio o piel, un mesocarpio parenquimatoso con haces vasculares y una capa unicelular de endocarpio que recubre los lóculos. La piel de la fruta o exocarpio constituye la capa epidérmica externa más dos a cuatro capas de células hipodérmicas de paredes gruesas con engrosamientos similares a los del

colénquima. El tejido placentario lo conforma una placenta que, al principio del desarrollo del fruto, comienza a expandirse hacia los lóculos para engullir a las semillas dentro de los primeros 10 días y llena toda la cavidad locular en los días siguientes. En los frutos inmaduros, el tejido placentario es firme, pero a medida que los frutos maduran, las paredes celulares comienzan a romperse y el tejido locular del fruto verde maduro es gelatinoso. El tamaño final del fruto está estrechamente correlacionado con el número de semillas y el número de lóculos, por lo que una buena fecundación es indispensable para tener frutos bien formados. Tanto el tamaño como el contenido de sólidos solubles del fruto depende de los fotoasimilados recibidos de las hojas. El tiempo necesario para que un ovario fecundado se desarrolle a un fruto maduro es de siete a nueve semanas, en función del cultivar, la posición del racimo y las condiciones ambientales. Los cultivares comerciales de tomate crecen a partir de un ovario de 5 a 10 mg y alcanzan, en la madurez, un peso de 5 a 500 g en función de la variedad y de las condiciones de desarrollo (Picken et al., 1986; Chamarro, 1995).

4.2. Fases fenológicas del cultivo de jitomate

4.2.1. Germinación

Comprende desde la siembra de la semilla hasta la emergencia y desarrollo de estructuras provenientes del embrión que son esenciales para el desarrollo de la planta. La germinación ocurre entre los 8 a 15 días después de la siembra (dds), primero se produce una pequeña raíz principal o pivotante (radícula) y poco después se desarrollan un par de hojas alargadas (hojas cotiledonales) que se desenvuelven por encima de la superficie del suelo. Esta etapa termina con la aparición, a escala visible de la primera hoja verdadera (Pérez et al., 2002; Argerich et al., 2013)

4.2.2. Crecimiento vegetativo

Luego de formada la raíz principal y las hojas cotiledonares, se desarrollan las primeras hojas verdaderas, lo cual marca el inicio de la fase vegetativa. El

objetivo de desarrollar un área foliar es para realizar el proceso de fotosíntesis y abastecer los requerimientos energéticos y metabólicos de la planta, además continúa el desarrollo radical con el fin de absorber más agua y nutrientes. En el caso del jitomate, el crecimiento vegetativo se extiende hasta formar 7 a 12 hojas verdaderas (dependiendo del cultivar y factores ambientales). Esta etapa puede tener una duración de 45 a 75 días y termina con la aparición de los primeros botones florales (Argerich & Troilo, 2011).

4.2.3. Floración

Abarca el periodo comprendido desde la formación de las yemas o primordios florales de una inflorescencia, hasta la apertura o antesis de sus flores. En cultivares indeterminados, cada ocho a diez días se inician y desarrollan tres hojas (una cada 3 días) y una nueva inflorescencia. Es decir, a partir de la iniciación de la primera inflorescencia se están alternando el crecimiento vegetativo y el reproductivo. En el desarrollo de una inflorescencia se pueden dar distintas etapas que pueden incluir, al mismo tiempo, pequeños frutos, flores abiertas, botones abriendo y yemas florales todavía sin abrir. La etapa de floración termina formalmente con la antesis de la última flor de la primera inflorescencia formada. Sin embargo, en cultivares de tipo indeterminado, el crecimiento vegetativo se va alternando con la fase reproductiva como ya se mencionó anteriormente (Picken et al., 1986).

4.2.4. Polinización, fecundación y amarre de frutos

Estos procesos suceden a partir de la antesis de la primera inflorescencia y se siguen alternando con el crecimiento vegetativo. La polinización es el proceso de transferencia de los granos de polen maduros, de los estambres al estigma del ovario. Una vez que el polen cae en el estigma, si las condiciones son adecuadas, germinan los granos de polen y emiten su tubo polínico, el cual crece a lo largo del interior del estilo hasta llegar a los óvulos y fecundarlos. Por lo tanto, la fecundación ocurre cuando el núcleo del tubo polínico sale de éste y penetra al óvulo viable. Sin embargo, no siempre la fecundación de los óvulos se traduce

en el crecimiento de los frutos. Como resultado de condiciones ambientales adversas y/o competencia por asimilados, un cierto porcentaje de frutos puede ser abortado. Así el amarre o cuajado de frutos es definido como el proceso en el cual la flor es polinizada y fecundada, y el fruto inicia su formación y desarrollo. Asimismo, el porcentaje de amarre de frutos es la proporción de flores abiertas que amarran fruto y lo hacen crecer hasta un tamaño comercial (Picken et al., 1986; Heuvelink & Okello, 2018).

4.2.5. Crecimiento y maduración de frutos

Estos procesos comprenden el periodo de tiempo que transcurre desde la fecundación del ovario hasta la maduración del fruto, el cual es aproximadamente de siete semanas dependiendo del cultivar y las condiciones ambientales. Ambos procesos ocurren en tres etapas, en la primera el crecimiento inicial del fruto es producto, en su mayoría, de la división celular y es lento, ya que no alcanza ni el 10 % de lo que será su peso final. En la segunda etapa, que dura aproximadamente un mes, el crecimiento es debido casi exclusivamente a elongación celular y es muy rápido, pudiendo alcanzar hasta 7 g por fruto al día en peso fresco o 0.37 g/día en peso seco. Al final del estado verde maduro ya se ha acumulado casi todo el peso que alcanzará el fruto. De ahí en adelante hay una última etapa que es de crecimiento lento y dura aproximadamente dos semanas, donde ya casi no hay ganancia de peso, pero ocurren varios cambios que tienen que ver con la maduración y que se manifiestan desde el cambio del verde maduro hacia el amarillo, naranja o rosa y finalmente al rojo maduro (Picken et al., 1986; Heuvelink & Okello, 2018).

4.2.6. Cosecha

Esta actividad se lleva a cabo una vez que los frutos dejaron de crecer (y por lo tanto de demandar azúcares) y están en su fase de maduración. Los tomates para consumo en fresco se cosechan manualmente en estado de maduración conocido como estrellado o rayado (etapa de color 2, llamado Breaker o

quebrante) y algunos pocos en el estado 3 (Turning o cambiante) o 4 (Pink o rosado) (Heuvelink & Okello, 2018; INTAGRI, 2018).

4.3. Requerimientos climáticos y nutricionales del cultivo de jitomate

4.3.1. Radiación solar

La radiación es la energía que es emitida por todos los cuerpos en formas de ondas electromagnéticas. Así la radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Estas ondas están conformadas por pequeñas partículas conocidas como fotones, los cuales viajan como paquetes de energía llamados cuánta. La energía radiante se clasifica según la longitud de onda con que se propaga dicha radiación. Por lo tanto, se llama radiación fotosintéticamente activa (RFA) a la energía radiante con longitudes de onda entre los 400 a 700 nanómetros y es el tipo de radiación que favorece el proceso de fotosíntesis en las plantas, representa entre el 45 al 50 % de la radiación solar total recibida, y es la de mayor importancia para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. La radiación fotosintéticamente activa o la radiación solar total pueden ser estimadas directa o indirectamente. La forma directa está en función de la cantidad de energía radiante recibida por una superficie en un tiempo dado (irradiancia total), la cual se determina mediante aparatos denominados radiómetros y se expresa en unidades radiométricas; tales como kilocalorías por metro cuadrado por segundo ($\text{Kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), Watts por metro cuadrado ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) y Joules por metro cuadrado por segundo ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) que es equivalente a $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. También se puede medir como cantidad de unidades cuánticas, es decir, número de fotones que inciden sobre una unidad de superficie por unidad de tiempo, medido por aparatos llamados sensores cuánticos y expresado como micromoles de fotones por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{moles} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). La forma indirecta está en función del brillo que provoca la intensidad de la radiación en un momento dado. Esta intensidad luminosa se mide con aparatos llamados fotómetros, exposímetros o luxómetros y las unidades más usadas para medir ese brillo son los luxes y los pies-bujía (Sánchez & Moreno, 2017).

Los procesos fisiológicos del cultivo de jitomate pueden ser afectados por el efecto de la radiación solar; ya sea por la intensidad luminosa, irradiancia o densidad de flujo fotónico, por la forma de dispersión, por la duración diaria o por la calidad de la radiación o balance de longitudes de onda incidentes (Sánchez & Moreno, 2017). Generalmente las bajas intensidades de radiación provocan una disminución de la fotosíntesis, menor crecimiento, plantas débiles y más susceptibles a patógenos y a cambios bruscos del ambiente. También puede provocar la disminución de crecimiento del tubo polínico, el aborto de flores y la malformación de frutos. Cuando se tienen días cortos (menores de 12 horas) el ciclo vegetativo se alarga y el inicio de fructificación es tardío (Picken et al., 1986; Atherton & Harris, 1986).

De acuerdo con Sánchez y Moreno (2017), el rango de intensidad luminosa más adecuado para la máxima fotosíntesis oscila entre 5,000 y 8,000 pies-bujía para hortalizas de fruto como el jitomate y la tasa de fotosíntesis puede ser de un 30 a 60 % más eficiente con el aumento en la proporción de luz difusa con respecto a la luz directa que inciden en un dosel de plantas. Esto concuerda con Garza (1985) y Marrero (1986) quienes señalan que para lograr la madurez de buenos frutos y con maduración precoz, se requiere como mínimo 5,000 a 7,000 pies-bujía. Sánchez y Moreno (2017) por su parte menciona que, para hortalizas de fruto, los rangos óptimos de luz en etapa de plántula van de 600 a 900 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, mientras que para la etapa vegetativa y reproductiva el rango está entre 1,200 y 1,500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

4.3.2. Temperatura

La temperatura es una medida indirecta de la energía cinética promedio de las moléculas de una sustancia y afecta drásticamente la estabilidad de enzimas y muchos procesos bioquímicos de las plantas, tales como fotosíntesis, fotorrespiración, biosíntesis, absorción de agua y nutrientes, translocación de azúcares y respiración. Debido a ello, la temperatura afecta la velocidad y calidad del crecimiento y desarrollo de los cultivos. A temperaturas relativamente bajas hay una reducción de la actividad enzimática y de las velocidades de reacción,

es decir, las enzimas permanecen estables, pero no funcionan o lo hacen muy lento; también disminuye el transporte y difusión de sustancias como la disminución de la tasa de abastecimiento de fosfatos a los cloroplastos; que es la principal responsable de disminuir la tasa de fotosíntesis. Por otro lado, las altas temperaturas, dentro de cierto rango, generalmente dan como resultado un aumento en las tasas de reacciones químicas como en la fotosíntesis, sin embargo, si llega a superar ciertos límites pueden desnaturalizar por completo a las enzimas. Para hortalizas de invernadero, después de una cierta temperatura específica para cada especie, el efecto estimulante de un aumento de la temperatura sobre la fotosíntesis bruta es prácticamente anulado por una mayor respiración y fotorrespiración. En este sentido la temperatura también puede afectar la morfología y las dimensiones de diferentes partes de la planta, así como la repartición de materia seca a sus distintos órganos (Sánchez & Moreno, 2017).

El jitomate es una planta termoperiódica; es decir, que para la floración y producción de fruto la temperatura diurna debe variar respecto a la nocturna. El óptimo de diferencias en temperatura entre el día y la noche debe ser de 6 a 7 °C. La temperatura influye en todas las funciones vitales de la planta como la transpiración, fotosíntesis, biosíntesis, germinación, etc., teniendo en cada momento de su ciclo biológico una temperatura óptima (Rodríguez et al., 1997; Mondragón, 2005).

El cultivo de jitomate prefiere un clima cálido, ya que temperaturas menores a 10 °C demoran la germinación de las semillas, inhiben el desarrollo vegetativo, se reduce el crecimiento y la maduración del fruto. Por el contrario, con temperaturas superiores a 35 °C se reduce el cuajado y se inhiben el desarrollo normal del color. El rango de temperatura óptima para el crecimiento normal de la planta de jitomate se encuentra entre los 21 a 30 °C durante el día, y de 18.5 a 21 °C en la noche; a nivel radical la temperatura óptima se encuentra en el rango de 20 a 25 °C, para la germinación se requieren de 25 a 28 °C, en la floración la temperatura óptima es de 21 °C y para el desarrollo vegetativo entre 22 a 23 °C (Rodríguez et al., 1997; Jones, 2008).

4.3.3. Humedad relativa

La humedad relativa (HR) es el porcentaje de vapor de agua en el aire a una temperatura dada, en relación con el máximo vapor de agua que el aire puede retener a saturación a esa temperatura (Proain, 2020). Como el vapor de agua se comporta como un gas ideal, su concentración también se puede expresar como presión parcial llamada presión de vapor (p), para hacer referencia a la presión absoluta del aire, generalmente medida en kilopascales (kPa). Cuando el aire está saturado de vapor de agua a una determinada temperatura, la presión que genera se define como presión de vapor a saturación (p_s), y cuando el aire tiene cierta cantidad de vapor de agua, pero no está saturado, se define como presión de vapor actual (p_a). El aire entre más caliente puede retener más vapor de agua; lo que resulta también en mayor presión del vapor. La diferencia entre la presión de vapor a saturación y la presión de vapor actual ($p_s - p_a$) se conoce como déficit de presión de vapor (DPV) y es un parámetro muy importante para la transpiración de las plantas, ya que actúa como fuerza de succión para la difusión del vapor de agua de los estomas hacia el aire exterior; entre mayor sea el DPV, mayor es la fuerza de succión de aire para jalar el vapor de agua de la cavidad estomática. Las plantas tienen que transpirar para transportar agua y nutrientes, para regular su temperatura y su crecimiento. La transpiración a su vez depende del DPV, cuando el DVP es demasiado alto o bajo influye en la fisiología del cultivo y en su desarrollo (Huertas, 2008; Sánchez & Moreno, 2017).

La HR, la temperatura y el DPV están correlacionados, por lo que los efectos sobre las plantas o sobre el ambiente en el invernadero estará en función de la combinación resultante de ellos. Si la HR es demasiado alta y el DPV bajo, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes; si es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis. La humedad alta también puede dificultar la polinización ya que el polen húmedo queda pegado en los órganos masculinos, además se puede favorecer el desarrollo de enfermedades, y si la temperatura del cultivo disminuye por debajo de la temperatura de rocío del aire;

el agua se condensa en hojas y frutos, y favorece el desarrollo de enfermedades fungosas. Por otro lado, si la HR es demasiado baja y la temperatura alta; los órganos masculinos y femeninos de la flor se deshidratan y no se produce la fecundación (Nuez, 2001; Huertas, 2008).

La HR favorable para el cultivo de jitomate oscila alrededor del 50 al 70 %. Cuando es más alta las anteras se hinchan, el polen se apelmaza y no puede liberarse para ser depositado en el estigma, en consecuencia, no hay formación de fruto (Bastida, 2012). Para León (2001) la HR óptima en el día y la noche, oscila entre 70 y 80 %, con estos valores se permite una adecuada transpiración y favorece los procesos fisiológicos de la planta. Por su parte Pérez y Castro (2011) mencionaron que la HR óptima para un día soleado dentro del invernadero debe variar entre 50 y 60 %, debido a que con alta humedad en el ambiente el cultivo es más susceptible a enfermedades foliares fungosas. De acuerdo con Flores et al. (2012) la HR óptima para el proceso de polinización está entre el 60 al 85 %, por debajo de estos valores el polen puede llegar a desecarse y perder su efectividad. Valores superiores reducen el desprendimiento del polen de las anteras.

4.3.4. Bióxido de carbono (CO₂)

Uno de los factores determinantes de la producción de los cultivos protegidos es la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera del invernadero. El CO₂ es el sustrato que utilizan las plantas para realizar el proceso de fotosíntesis, por lo tanto, su concentración en el ambiente y la difusión en las hojas aumentan la formación y el contenido de materia seca en las plantas (Heuvelink & Dorais, 2005).

En la producción hortícola el primer factor que limita la fotosíntesis es la luz y el segundo factor limitante es la concentración de CO₂, es decir, en un ambiente con suficiente luz el factor que podría restringir al proceso de fotosíntesis y por lo tanto al crecimiento y rendimiento del cultivo; es la cantidad de CO₂ que hay en el ambiente. Al respecto Pan et al. (2019), destacaron que en plantas de jitomate; la respuesta de la tasa fotosintética a mayores concentraciones de CO₂, se hace

más grande con forme aumenta la irradiancia con luz suplementaria; también observaron un aumento significativo en el peso del fruto y rendimiento por planta. Así mismo Rangaswamy et al. (2021) mencionaron que cuando se aplica la técnica de enriquecimiento con CO₂ en un cultivo de jitomate a una concentración de 700 mg · L⁻¹ (ppm), se tienen plantas con mayor altura, mayor número de hojas, área foliar, flores, frutos y materia seca total.

El cultivo de jitomate en invernadero se desarrolla en un ambiente semicerrado y está sujeto a una concentración de CO₂ fluctuante. El agotamiento de dióxido de carbono se incrementa cuando la tasa de asimilación neta del cultivo es elevada (alta radiación, dosel vegetal cerrado) y la renovación del aire en el interior del invernadero es baja (velocidad del viento en el exterior inferior a 1.5 m · s⁻¹ y reducido gradiente térmico interior-exterior) (Lorenzo & Sánchez, 2004). Otros efectos negativos de una deficiente nutrición con CO₂ además de la reducción de la fotosíntesis, es que se disminuye la respiración ya que hay menos azúcares, la biosíntesis se hace lenta al haber menos energía (ATP) para las reacciones de división celular y crecimiento, lo que finalmente se traduce en un menor rendimiento del cultivo (Sánchez & Moreno, 2017).

En el ambiente hay una concentración de CO₂ en el rango de 300 a 340 ppm o μl · L⁻¹, aunque es una concentración relativamente pequeña, es muy estable gracias al equilibrio ecológico que se da por el ciclo del carbono, en donde el mar actúa como fuente que reabastece el CO₂ consumido por las plantas (Sánchez & Moreno, 2017). Sin embargo, esta concentración es menor dentro del invernadero debido al consumo de las plantas y a limitaciones en la ventilación. Por ello es vital que los invernaderos cuenten con buena ventilación, que favorezca las tasas de renovación de aire. Algunos autores estiman oportuno mantener la concentración de dióxido de carbono dentro del invernadero lo más cerca posible del nivel atmosférico exterior (Lorenzo & Sánchez, 2004; Muñoz, 2009).

4.3.5. Agua

El agua constituye la mayor parte de la materia vegetal y por ello puede ser uno de los factores limitantes de la producción agrícola. De la disponibilidad de agua para la planta depende, en gran parte, el resultado del cultivo (Salas & Urrestarazu, 2004). Del mismo modo, para el cultivo de jitomate en hidroponía, el agua desempeña una función central en el manejo nutrimental, ya que es el medio donde se disuelven y transportan los nutrimentos.

La demanda hídrica de la planta de jitomate depende de factores como la radiación y el estado fenológico de la planta, así como la variedad. Es por ello que el manejo adecuado en el suministro del agua durante el desarrollo del cultivo es de suma importancia, ya que se debe buscar mantener tanto al agua como a los nutrimentos en la zona radicular del cultivo (INTAGRI, 2017).

Para conocer las necesidades del suministro de agua, primero es necesario conocer los factores que influyen en la absorción de agua de un cultivo. En el caso particular de los cultivos en hidroponía, los factores que intervienen directamente en el gasto de agua; son la absorción directa de la planta (transpiración + agua constitucional), el drenaje o retención del sustrato en un volumen determinado y la evaporación (Salas & Urrestarazu, 2004). Estas variables se pueden simplificar en la siguiente expresión:

$$\text{Gasto del cultivo} = \text{Absorción de la planta} + \text{Drenaje} + \text{Evaporación}.$$

De acuerdo con Flores et al. (2007), los requerimientos hídricos diarios del jitomate cultivado bajo invernadero a una densidad de 4.3 planta/m² y utilizando arena de tezontle como sustrato, varía en promedio entre los, 0.55 litros por planta en etapa inicial; que comprende hasta los 16 días después del trasplante (ddt), 0.57 litros en etapa vegetativa (hasta los 41 ddt), 0.92 litros en etapa de desarrollo (hasta los 72 ddt), 1 litro en etapa de producción (hasta los 110 ddt) y 0.81 litros por planta a fin de ciclo (hasta los 137 ddt). De esta manera el consumo neto aproximado es de 110 litros de agua por planta en un ciclo de 137 días,

despuntando al octavo racimo y obteniendo un rendimiento de $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Así mismo los autores indican que puede haber variaciones en el consumo hídrico que van desde los 200 mililitros diarios por planta en etapa inicial, hasta los 1,440 mililitros en etapa de máxima demanda.

4.3.6. Requerimientos nutricionales

Para que un cultivo tenga un crecimiento y desarrollo óptimo necesita, además de los factores ambientales, obtener los nutrientes minerales esenciales para la vida vegetal. El término “elemento mineral esencial” (o nutriente mineral) fue propuesto por Arnon y Stout (1939) y puede ser definido como aquel elemento que es requerido para que se cumpla el ciclo normal de la vida de la planta, en cuyas funciones no puede ser sustituido por otros elementos y causa una deficiencia específica cuando no está disponible. Estos autores concluyen que, para que un elemento sea considerado esencial debe cumplir con tres criterios de esencialidad. El primero es que la planta debe ser incapaz de completar su ciclo de vida en la ausencia del elemento mineral en cuestión. El segundo menciona que la función del elemento no debe ser reemplazada por otro elemento, y el tercero dice que el elemento debe estar directamente involucrado en el metabolismo o crecimiento de la planta (como componente de una enzima) o debe ser requerido para un paso metabólico específico (reacción enzimática) (Kirkby, 2012).

Los nutrientes minerales son requeridos por las plantas en diferentes cantidades, es por ello que existen dos grupos distintos de nutrientes, los macronutrientes y los micronutrientes. Los macronutrientes son aquéllos que están presentes en las plantas en concentraciones relativamente altas, y por lo tanto son requeridos en cantidades relativamente mayores; en este grupo se encuentra el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); su concentración generalmente se expresa en partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo de materia seca ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), aunque también se les puede encontrar en porcentaje (%) de peso seco. Los micronutrientes son otro grupo de elementos igualmente esenciales, pero que están presentes en concentraciones mucho más bajas,

entre ellos se encuentra el hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni); como su concentración en la planta es mucho menor, generalmente se expresan en porcentaje (%) de peso seco, aunque también se pueden encontrar en otras unidades como $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de materia seca (Kirkby, 2012; Carbone, 2015).

De acuerdo con Alcántar et al. (2016) los elementos minerales esenciales representan aproximadamente entre el 2 al 10 % del peso seco total de la planta, el porcentaje restante (90-98 %) es aportado por los elementos no minerales como el carbono, el oxígeno y el hidrógeno. El carbono se encuentra entre un 44 a 49 % del peso seco total de la planta, el oxígeno del 42 a 46 % y el hidrógeno del 5 a 7 %. Así es como la porción mineral existente en las plantas (2 a 10 %) no es la más abundante, pero ejerce una función vital sobre el crecimiento y desarrollo de éstas.

Según Sánchez (2004) los contenidos óptimos de macronutrientes para jitomate cultivado en hidroponía; se encuentran en los siguientes rangos (expresados en % de materia seca): 4.0 a 5.5 N, 0.4 a 0.65 P, 3.0 a 6.0 K, 3.0 a 4.0 Ca, 0.35 a 0.8 Mg y 0.4 a 1.2 S. Por su parte Santos y Torres-Quezada (2018) mencionaron que la concentración de suficiencia relativa de micronutrientes para el cultivo de jitomate, se encuentran en los siguientes rangos (expresados en $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso seco foliar): 40-100 Fe, 30-100 Mn, 20-40 Zn, 5-15 Cu, 20-40 B y 0.2-0.6 Mo. En cultivos hidropónicos tanto los macronutrientes como los micronutrientes, son suministrados a la planta por medio de la solución nutritiva.

4.4. Sistema de producción tradicional para el cultivo de jitomate bajo invernadero en México

El sistema que comúnmente se practica en México para la producción de jitomate en invernadero consiste básicamente en manejar el cultivo en un ciclo largo de producción. Este manejo comienza con la siembra de semillas de jitomate (ya sean variedades saladette o bola indeterminados) en charolas de poliestireno que constan normalmente de 200 cavidades y están rellenas de algún sustrato o una

mezcla de éstos; regularmente turba, fibra de coco, perlita y/o vermiculita. Una vez realizada la siembra, las charolas son llevadas al interior de un invernadero para la germinación, crecimiento y desarrollo de la plántula hasta alcanzar una edad de 30 a 35 días después de la siembra (dds). Una vez que las plántulas han alcanzado la edad adecuada en el semillero; son trasladadas al invernadero de producción para ser trasplantadas al suelo o en contenedores rellenos de algún sustrato (arena de tezontle, fibra de coco, etc.). La densidad de población que normalmente se utiliza en el trasplante es de 2 a 3 plantas/m². La poda de hojas y tallos son de las labores culturales que frecuentemente se realizan para dejar crecer las plantas a un solo tallo, el cual, conforme se desarrolla, se va sujetando (tutorando) con un hilo de rafia que está amarrado de alambres que corren a lo largo del del invernadero. Cuando las plantas han alcanzado una altura de 2 a 2.5 m, se procede a descolgar de manera progresiva (bajado de planta) la rafia que tutora la planta. Como normalmente se siembra jitomate de tipo indeterminado las plantas llegan alcanzar alturas de 7 a 12 m de largo (Muñoz, 2009; Mendoza et al., 2018).

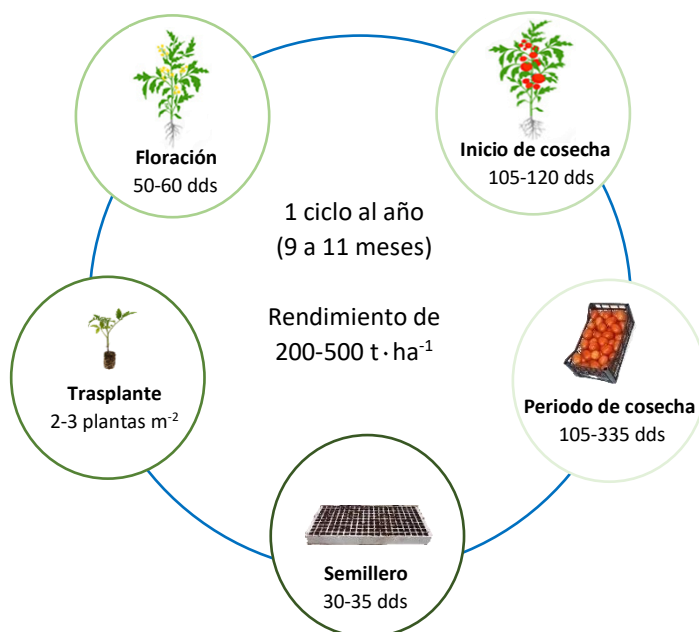


Figura. 1. Ciclo del cultivo de jitomate manejado bajo el sistema de producción tradicional. Dds: días después de la siembra.

La duración total del periodo de cultivo con este manejo es de aproximadamente 11 meses, es decir, un solo ciclo por año, con una producción por plantas de 15 racimos o más, y un rendimiento que va de las 200 a 300 t·ha⁻¹·año⁻¹ en invernaderos equipados con mediana tecnología (Figura 1) y que puede alcanzar hasta las 400-500 t·ha⁻¹·año en invernaderos de alta tecnología (Sánchez & Moreno, 2017; Sanchez, et al., 2017b; Heuvelink et al., 2018).

Ventajas del sistema tradicional

- a. Con una baja densidad de plantas en el invernadero como lo son 2 a 3 plantas/m² se obtiene una producción constante durante una buena parte del año (Nuño, 2007).
- b. Con un buen cuidado y desarrollo de las plantas, estas pueden llegar a tener una producción de 15 a 25 racimos durante el ciclo de cultivo, con un promedio de 5 frutos por racimo y un peso por fruto de 150 gramos (Sánchez & Ponce, 1998).
- c. Los rendimientos pueden alcanzar las 200 a 500 t ha⁻¹ año⁻¹ dependiendo del equipamiento tecnológico del invernadero (Resh, 2004; Jean, 2007)

4.4.1. Desventajas del sistema tradicional

- a. Durante las primeras semanas después del trasplante; la energía solar es mayor a la que necesitan las plantas debido a la baja densidad de población y al bajo índice de área foliar, es decir, hay un desaprovechamiento de la radicación (Sánchez et al., 2009).
- b. La inversión en infraestructura e instalación de los invernaderos resulta muy costosa debido a que se necesitan invernaderos muy altos y resistentes para el tutorado de las plantas que puede llegar a medir hasta 12 m de largo (Sánchez, 2016).
- c. Al ser un ciclo demasiado largo, se debe mantener un estricto control de las labores culturales, así como también de plagas y enfermedades para mantener a las plantas en óptimas condiciones durante todo ese tiempo,

lo que implica más costos en equipo, insumos, mano de obra y asesoría técnica calificada (Vázquez et al., 2007).

- d. La fluctuación del precio del jitomate durante todo el año impacta en los ingresos del productor, ya que el sistema no le permite concentrar la producción en un periodo de tiempo determinado donde el precio del jitomate sea elevado (Vázquez et al., 2007, Sánchez, 2016).

4.5. Sistema de producción de jitomate basado en despuntes a tres racimos y altas densidades de población

Atendiendo las desventajas que presenta el sistema tradicional para la producción de jitomate, investigadores del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, han realizado investigaciones y generado conocimiento para desarrollar un sistema alternativo en la producción de jitomate en invernadero, con el cual se pretende obtener un mayor rendimiento por área en comparación con el sistema tradicional, lo que se traduciría en mayores ingresos económicos para productores con invernaderos menos equipados y con menos recursos que dependen en gran medida de esta actividad económica (Jorge & Sánchez, 2003). El resultado de estos trabajos de investigación ha permitido generar y validar a escala comercial un paquete tecnológico de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero, el cual está orientado a reducir el periodo de trasplante a fin de cosecha y aumentar la densidad de población con la finalidad de obtener más ciclos por año y, con ello, mayor rendimiento anual.

Este sistema de producción consiste en manejar el cultivo de jitomate en dos fases, la fase de semillero y la fase final o de producción que va del trasplante a fin de la cosecha (Sánchez et al., 2012a; Sánchez et al., 2017a; Ruíz, 2019).

La primera fase consiste en la siembra, la germinación y el desarrollo de las plántulas, que permanecen en el semillero de los 45 a 60 dds, lo que permite obtener plantas de mayor edad para realizar trasplantes tardíos.

La fase final, que va desde el trasplante en el invernadero definitivo hasta el fin de la cosecha, tiene una duración de 100 a 110 días, la floración ocurre entre los 45 y 60 días dds; durante ese periodo se realiza el despunte de la yema terminal de las plantas de jitomate dejando una o dos hojas por arriba de la tercera inflorescencia, para dejar tres racimos por planta, con ello se reduce la altura de la planta a aproximadamente 1 m, lo que permite manejar altas densidades de población de hasta 10-12 plantas/m² de superficie útil o 7-8 plantas/m² de invernadero, según la distribución y el acomodo que se les dé. Por último, la cosecha comienza entre los 60 a 90 días después del trasplante (ddt) y termina entre los 90 y 120 ddt, lo que permite al menos tres ciclos de producción por año con rendimientos que van de los 15 a 20 kg·m⁻² de invernadero o 450-600 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Figura 2) (Sánchez & Corona, 1994; Sánchez & Ponce, 1998; Ucán et al., 2005; Sánchez et al., 2010).

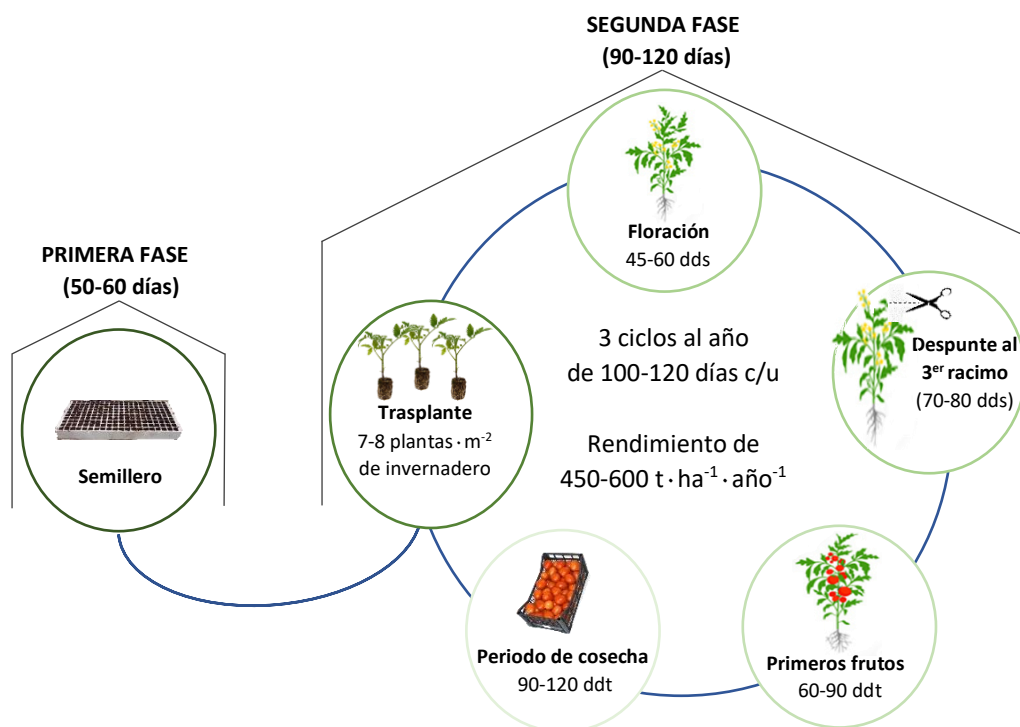


Figura 2. Ciclo del cultivo de jitomate manejado bajo el sistema de producción con despuntes a tres racimos y alta densidad de población. Dds: días después de la siembra; ddt: días después del trasplante.

4.5.1. Ventajas del sistema con despunte a tres racimos en alta densidad

- a. Al manejar el cultivo en alta densidad y en ciclos cortos, es posible concentrar la producción en pequeños periodos de tiempo y hacerlos coincidir con las temporadas en que los precios de venta son altos, generando de esta manera más beneficios económicos para los pequeños productores (Nuño, 2007; Sánchez et al., 2014a, 2014b).
- b. El rendimiento por unidad de superficie al año puede ser mayor o al menos igual que el del sistema convencional, ya que el menor rendimiento por planta es compensado por la mayor densidad poblacional y más ciclos por año; esto es posible gracias a que el periodo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta de 10 meses (sistema convencional) a un periodo de 3 a 4 meses según el nivel de poda, lo que permite lograr de 3 a 4 ciclo al año desde el trasplante a fin de cosecha, pero además, el manejo resulta más económico debido a que se reducen algunas labores culturales como podas, tutorio y deshoje, por lo corto del ciclo hay menos problemas con plagas y enfermedades que pudieran afectar el cultivo y con ello menor uso de agroquímicos (Méndez et al., 2005).
- c. Al manejar plantas de jitomate despuntadas al tercer racimo, es decir, con portes no muy altos; los costos de producción se reducen considerablemente hasta casi la mitad al ya no requerir invernaderos tan altos y sofisticados, esto para varias zonas del país donde las condiciones ambientales son favorables y los invernaderos pueden ser manejados con el mínimo de equipamiento (Sánchez & Ponce, 1998; Sánchez & Moreno, 2017).

4.5.2. Desventajas del sistema con despunte a tres racimos en alta densidad

- a. La alta densidad de población dentro del invernadero se logra estableciendo varias hileras de plantas en las camas de cultivo, lo cual repercute en que las plantas de las hileras centrales estén más sombreadas por las hileras exteriores e intercepten menos radiación, lo

que afecta su crecimiento, desarrollo y finalmente el rendimiento que puede llegar a ser del 20-30 % menor que las plantas ubicadas en hileras exteriores (Ucán et al., 2005). Sin embargo, esta problemática ha sido solucionada mediante el acomodo de las plantas en forma de un dosel escaleriforme, con el cual se evita el sombreado de las hileras centrales y se logra un mejor aprovechamiento y distribución de la radiación solar (Sánchez et al., 2014b; Sánchez et al., 2017).

- b. Manejar altas densidades de plantas representa utilizar un mayor número de semillas certificadas, lo cual significa más gastos en este rubro y en la compra de insumos para la siembra y el trasplante (Jean, 2007; Moreno et al., 2016). A pesar del aumento en los costos de producción, está comprobado que el mayor rendimiento generado mediante este sistema de producción; reditúa la inversión realizada para el desarrollo de varios ciclos de cultivo al año (Sánchez et al., 2010, Sánchez et al., 2017b). Sin embargo, también es posible utilizar esquejes enraizados con lo que se logra el mismo rendimiento que con plantas obtenidas de semilla, pero con costos mucho más bajos (Mejía, 2020).

4.6. Optimización del sistema de producción de jitomate con despuntes a tres racimos y en alta densidad de población

Con base en el conocimiento generado de investigaciones y a observaciones realizadas al sistema de producción en alta densidad y con despuntes a tres racimos, surge el cuestionamiento de que si es posible optimizar este sistema de producción para incrementar el rendimiento anual. Al parecer es posible lograr hasta siete u ocho ciclos de cultivo por año en vez de tres o cuatro, con rendimientos que eventualmente podrían alcanzar $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{año}^{-1}$ ($1000 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) o incluso rendimientos superiores, lo que representaría beneficios económicos muy altos por unidad de superficie para los pequeños y medianos productores con invernaderos de mediana o baja tecnología.

Para lograrlo se plantea desarrollar el mismo sistema de producción de jitomate a tres racimos por planta y alta densidad de población, pero manejado ahora en

tres fases (Figura 3) en vez de las dos que se manejan normalmente (semillero y fase final). Las tres fases para la optimización del sistema quedarían de la siguiente manera:

Primera fase (semillero). La primera fase sería la de semillero como se ha venido manejado (siembra, germinación y desarrollo de la plántula) y tendría una duración de 45 días.

Segunda fase (fase intermedia). Esta fase es fundamental para acortar los ciclos de la fase final hasta 50 días, optimizando el espacio y tiempo, lo que posibilitaría lograr siete ciclos de producción al año. Para llevarla a cabo se necesitaría un espacio de invernadero adicional que tuviera un área equivalente al 25 % de la superficie de invernadero que ocuparía el cultivo en la fase final. La duración de esta fase sería de otros 45 días, empezando con el trasplante a macetas de 15 cm de diámetro rellenas con un sustrato inerte. Las plantas se manejarían en hidroponía en el invernadero adicional a una densidad de 30 plantas/m². Cada planta estaría tutorada individualmente y se colocarían juegos de seis hileras de plantas a 15 cm entre plantas y 16.7 cm entre hileras, dejando pasillos de 50 cm.

Tercera fase (fase final). Pasados los 45 días de la fase intermedia o a los 90 días después de la siembra (dds), las macetas con todo y plantas se reubicarían en un invernadero más grande para establecerlas a una densidad final de 8 plantas/m² de invernadero donde permanecerían otros 45 a 50 días en el lugar definitivo, hasta el final de la cosecha.

Con toda la información generada sobre el sistema de producción a tres racimos y alta densidad, está demostrado que es posible realizar un buen manejo de la fase inicial en semillero y de la fase final. Sin embargo, para la fase intermedia que es la adición fundamental para optimizar el sistema a tres racimos y reducir el periodo de tiempo de la fase final, presenta el problema que deriva de la alta densidad de plantas que se maneja (30 plantas/m²), sobre todo en los últimos días de la fase intermedia, que es cuando puede haber más competencia por luz entre plantas.

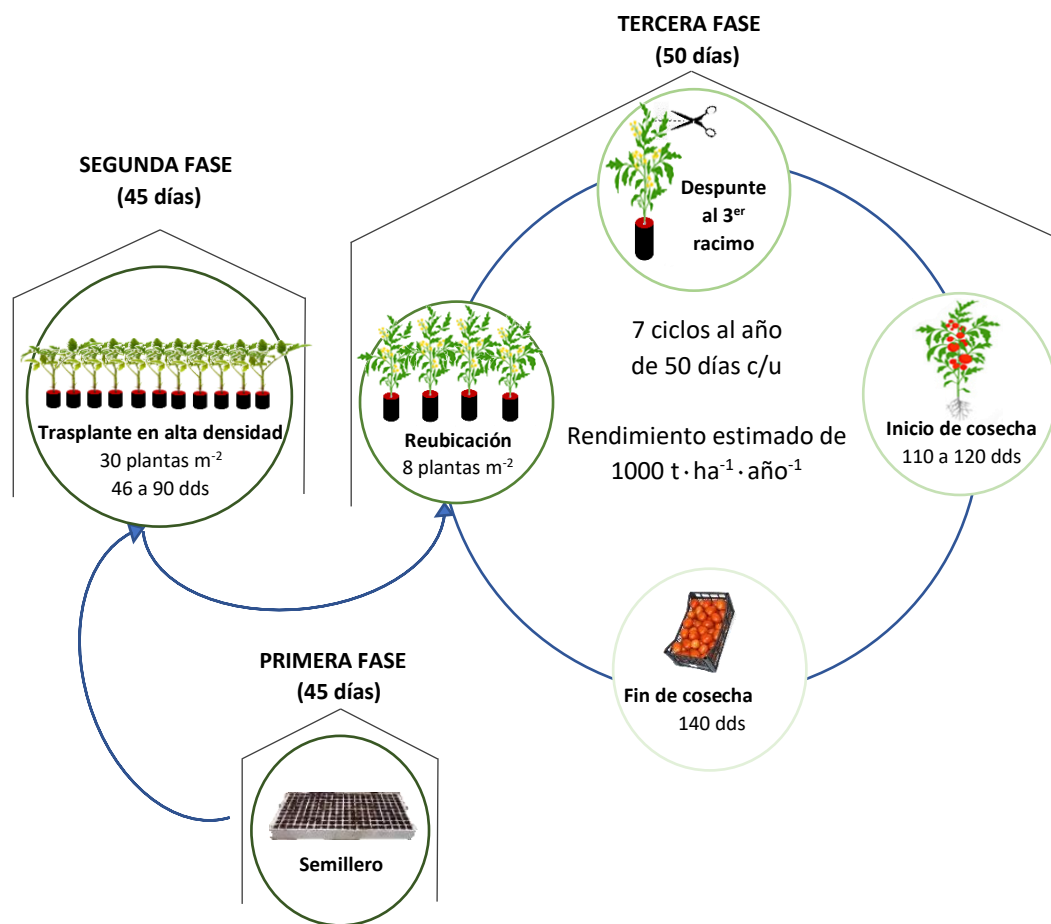


Figura 3. Optimización del sistema de producción a tres racimos manejando tres fases de cultivo. Dds: días después de la siembra.

4.7. Problemática que representa manejar la segunda fase para la optimización del sistema de producción a tres racimos

En comunidades vegetales con alta densidad de población, la competencia por luz para la fotosíntesis es un determinante clave que regula el crecimiento vegetativo. Las plantas perciben la cantidad, calidad y dirección de la luz incidente, utilizando fotorreceptores especializados. Además de proporcionar energía, las señales luminosas transmiten información ambiental importante a las plantas. Esta información se puede utilizar para dirigir la estrategia de desarrollo, permitiendo la optimización de la forma morfológica y la actividad fotosintética al

entorno ambiental (Franklin & Whitelam, 2007). En espacios con abundante vegetación, la competencia por la luz desarrolla adaptaciones en el desarrollo de las plantas para tolerar o evitar la sombra de las plantas vecinas. En las plantas que muestran la última estrategia de manejo del cultivo, las alteraciones tanto en la calidad como en la cantidad de luz mediadas por los fitocromos, pueden promover un conjunto de respuestas de "escape o salida" para evitar el sombreadamiento, denominadas colectivamente "síndrome para evitar el sombreado". Entre las expresiones fenotípicas que comprenden este síndrome se encuentran el alargamiento de tallos y peciolo, mayor dominancia apical, floración temprana a expensas del desarrollo de hojas y órganos de almacenamiento, orientación de la hojas hacia arriba (hiponastía), reducción del grosor de las hojas, disminución del contenido de clorofila, alargamiento de las hojas, área foliar reducida, cambios en la distribución de fotoasimilados y en general una reducción de la productividad de las plantas (Devlin, 2007; Franklin & Whitelam, 2007).

Al momento del trasplante (al inicio de la segunda fase) e incluso algunos días después, la densidad de 30 plantas/m² no debería representar ningún problema; sin embargo, debido al continuo crecimiento del área foliar, puede ser estresante para las plantas hacia el final de esta segunda fase, esto a consecuencia del sombreadamiento mutuo y del alto índice de área foliar que puede sobrepasar el óptimo, considerado entre 3 a 4 (Heuvelink et al., 2018).

Está bien documentado que a medida que el índice de área foliar (IAF) aumenta, las hojas inferiores del cultivo son más sombreadas, lo que provoca una menor tasa fotosintética y menor producción de fotosintatos, desencadenando el síndrome para evitar la sombra, ocasionando alteraciones morfogénicas tales como hojas más delgadas y con hiponastía, mayor crecimiento de los entrenudos, tallos elongados que resultan más frágiles y susceptibles a daños mecánicos, aspectos que impactan negativamente en el rendimiento final (Camacho et al., 1995; Wien, 1999; Taiz & Zeiger, 2002; Higuchi & Hisamatsu, 2016; Jishi, 2018).

4.8. Poda de hojas y folíolos: una posible solución para el manejo de la segunda fase en la optimización del sistema de producción a tres racimos

Debido a los efectos adversos que derivan de manejar una alta densidad de plantas con elevado índice de área foliar (IAF) durante la fase intermedia, surge la necesidad de encontrar formas de aminorar esos problemas. Al respecto, no sería conveniente utilizar una menor densidad de plantas para la fase intermedia ya que eso implicaría utilizar una mayor superficie de invernadero adicional, reduciéndose el objetivo de optimización del espacio para lograr mayor rendimiento y, sobre todo, el del beneficio económico por unidad de superficie y tiempo.

Los cultivares de jitomate que comúnmente se utilizan para la producción en invernadero, desarrollan generalmente de seis a siete hojas antes de la primera inflorescencia y tres hojas intermedias entre cada inflorescencia. Así que, cuando se despunta una planta a tres racimos dejando una hoja por encima del tercer racimo, ésta quedará con aproximadamente 13 hojas (Sánchez et al., 2017b; Sánchez et al., 1998). Además, en cualquier sistema de cultivo, alrededor de los 70 dds, se realiza una práctica cultural de poda de las tres o cuatro primeras hojas (inferiores) que son las más viejas, esto debido a que conforme crece y se desarrolla el cultivo, las hojas inferiores van quedando sombreadas y prácticamente ya no contribuyen a la realización de fotosíntesis, además son muy susceptibles a enfermarse (Muños, 2009). Así, el modelo de planta para un sistema de producción a tres racimos, considerando la eliminación de las tres a cuatro hojas inferiores, constara de unas 10 hojas para cultivares de hábito indeterminado.

Algunas investigaciones han reportado que ciertas hojas de las plantas de jitomate pueden llegar a ser poco productivas en determinado momento y bajo ciertas condiciones incluso generar un gasto energético incensario para el cultivo.

Al respecto, Rusell y Morris (1983) declararon que en plantas de jitomate de hábito indeterminado con 10 hojas por arriba de las dos cotiledonales, el patrón

de distribución de asimilados consiste en que las hojas superiores proveen de fotoasimilados principalmente al sistema radicular, mientras que las hojas de la parte más basal suministran asimilados a los tejidos vegetativos más jóvenes en el ápice. También observaron que la primera inflorescencia en desarrollo recibe asimilados principalmente de las hojas en los dos ortósticos adyacentes a la posición radial de la inflorescencia en el eje vertical de la planta; éstas incluían hojas que suministran asimilados al sistema radicular (hojas 6 y 8) y al brote apical (hojas 1 y 3), y justo las hojas intermedias, que quedan detrás de las inflorescencias tienen pocas conexiones vasculares con ellas y nutren principalmente al ápice y la raíz.

Así mismo, Xiao et al. (2004), indicaron que, mediante la poda de la hoja intermedia entre dos racimos, en una etapa de desarrollo temprana (1-3 cm longitud), se puede incrementar el rendimiento ya que deja de ser una demanda para la planta y se favorece la traslocación de asimilados hacia los frutos, además se reduce el IAF entre 3 y 4, que se considera óptimo.

Por otro lado, Acock et al. (1978) encontraron que la tasa de fotosíntesis y la conductancia de CO_2 en un dosel cerrado de plantas de tomate; es mucho menor en la parte inferior del dosel ya que las hojas de la parte superior interceptan la mayor cantidad de luz y limitan a las inferiores. Además, estas últimas consumen asimilados por respiración que podrían ser canalizados a otros órganos en desarrollo. Así que la defoliación de las hojas de la capa más baja no afecta la productividad de las plantas.

Por su parte, Sánchez et al. (1998), mencionaron que, para un sistema a tres racimos por planta, las tres hojas inferiores disminuyeron su tasa de fotosíntesis aparente, a partir de los 84 dds en adelante, a menos del 25 % de la de las hojas superiores y que la remoción de éstas no afectó el rendimiento y si redujo el área foliar por planta y, en consecuencia, el índice de área foliar (IAF).

Por último, Higashide et al. (2017), plantearon que la poda de uno a dos folíolos de diferentes hojas, a la vez que reduce el área foliar, reduce el coeficiente de

extinción de luz, permitiendo una mayor penetración de ésta entre las distintas hojas del dosel, con lo que se favorece la tasa fotosintética y el rendimiento.

De acuerdo con las referencias anteriores se considera importante evaluar los efectos que puede tener la poda selectiva de hojas y folíolos para aminorar los efectos de una densidad de población

tan alta como la propuesta para la fase intermedia (30 plantas/m²) que busca la optimización del sistema de producción a tres racimos.

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Ubicación del experimento

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo de marzo a julio del 2021 en condiciones de invernadero e hidroponía. Los invernaderos se encuentran ubicados en el campo agrícola experimental perteneciente al Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma de Chapingo; en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México, localizado en las coordenadas 19°29'35" de Latitud Norte y 98°52'19" de Longitud Oeste, y una altitud de 2,250 m.

5.2. Material biológico

Se utilizó el cultivar comercial de jitomate denominado 'Galilea' de la compañía Hazera Seeds. Las plantas de este cultivar son fuertes y vigorosas con buena cobertura de follaje, y crecimiento considerado como semi-determinado. El fruto es de tipo saladette, con paredes gruesas que le confieren larga vida en anaquel, con alto porcentaje de frutas uniformes de primera, con peso promedio de 150-170 gramos y un color de maduración rojo intenso. Durante el desarrollo del experimento se observó que la planta de jitomate de esta variedad desarrolla de cinco a seis hojas antes de la primera inflorescencia y dos hojas intermedias entre cada inflorescencia para un total de 10 a 11 hojas por planta manejada a tres racimos. Cada hoja está compuesta por 7 folíolos (Figura 4).



Figura 4. Arquetipo de una planta de jitomate del cultivar Galilea despuntada a tres racimos y dejando una hoja por encima del último.

5.3. Descripción de los tratamientos

Se evaluaron doce tratamientos, que resultaron de la combinación de diferentes podas de hojas y folíolos en las plantas de jitomate a los 75 días después de la siembra (dds), es decir, a los 30 días después del trasplante. A continuación, se describe cada uno de los tratamientos:

Tratamiento 1: Poda de las tres primeras hojas formadas (P3), (Figura 5).

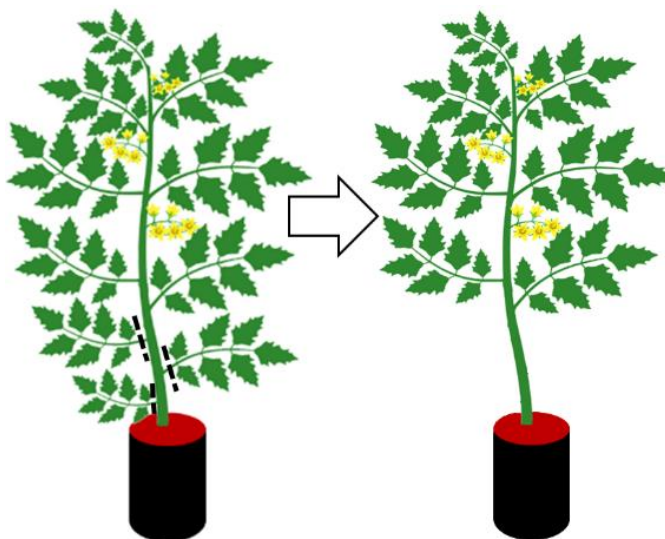


Figura 5. Poda de hojas del tratamiento 1 (P3).

Tratamiento 2: Poda de las cinco primeras hojas formadas (P5), (Figura 6).

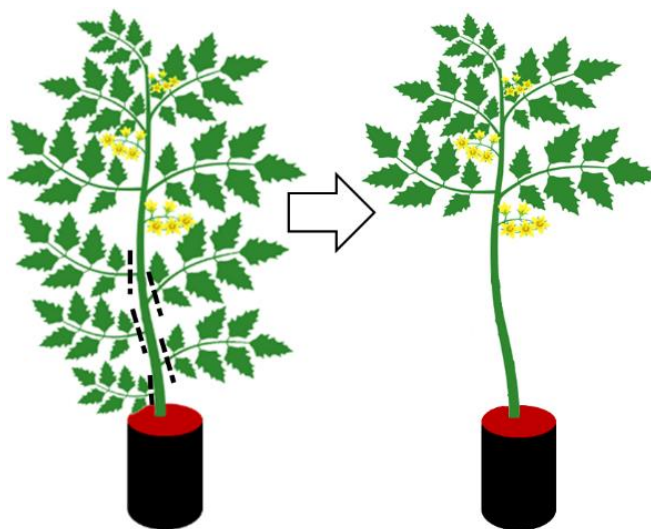


Figura 6. Poda de hojas del tratamiento 2 (P5).

Tratamiento 3: Poda de las cuatro primeras hojas formadas más la eliminación de cuatro folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del segundo racimo ($P4+4F^R2$), (Figura 7).

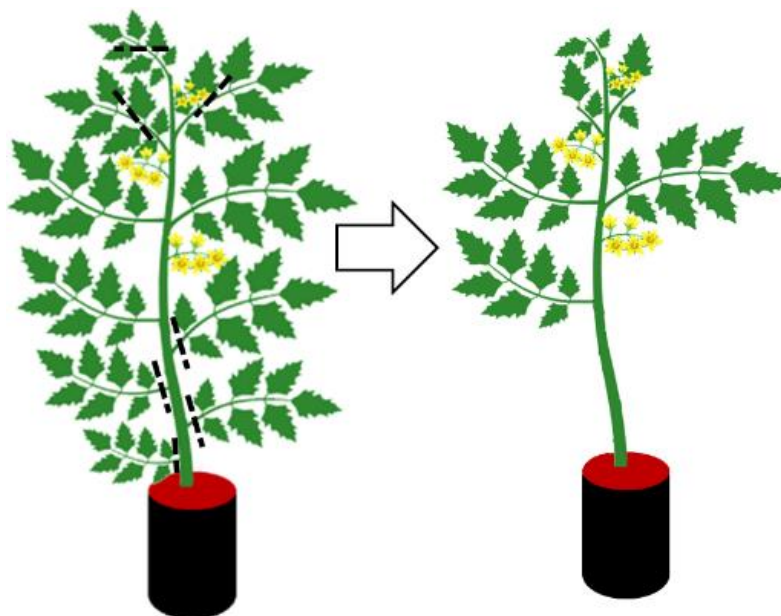


Figura 7. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 3 ($P4+4F^R2$).

Tratamiento 4: Poda de las cuatro primeras hojas formadas más la eliminación de cuatro folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del primer racimo ($P4+4F^R1$), (Figura 8).

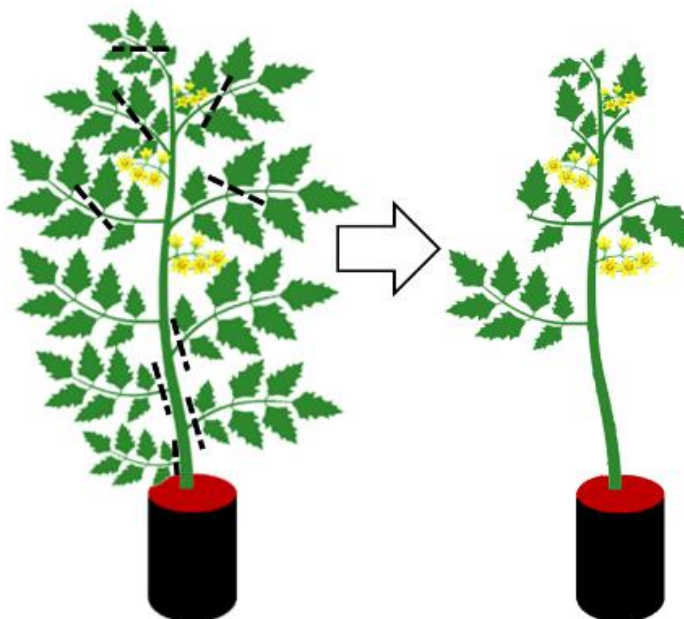


Figura 8. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 4 ($P4+4F^R1$).

Tratamiento 5: Poda de las tres primeras hojas formadas más la eliminación de dos folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del segundo racimo ($P3+2F^R2$), (Figura 9).

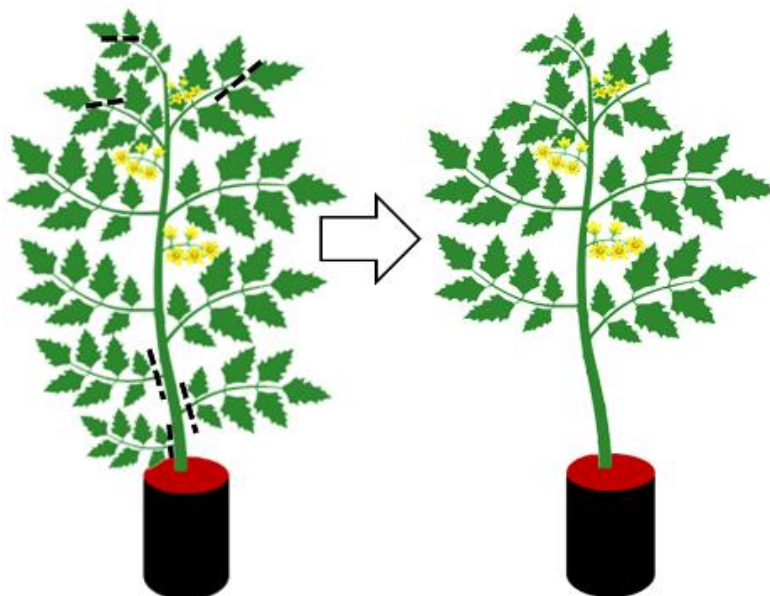


Figura 9. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 5 ($P3+2F^R2$).

Tratamiento 6: Poda de las tres primeras hojas formadas más la eliminación de dos folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del primer racimo ($P3+2F^R1$), (Figura 10).

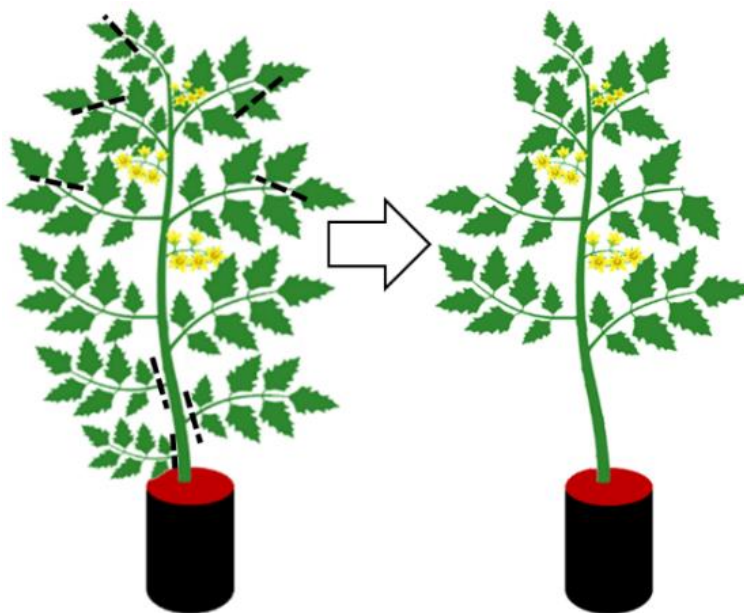


Figura 10. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 6 ($P3+2F^R1$).

Tratamiento 7: Poda de las cinco primeras hojas formadas más la eliminación de dos folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del segundo racimo ($P5+2F^R2$), (Figura 11).

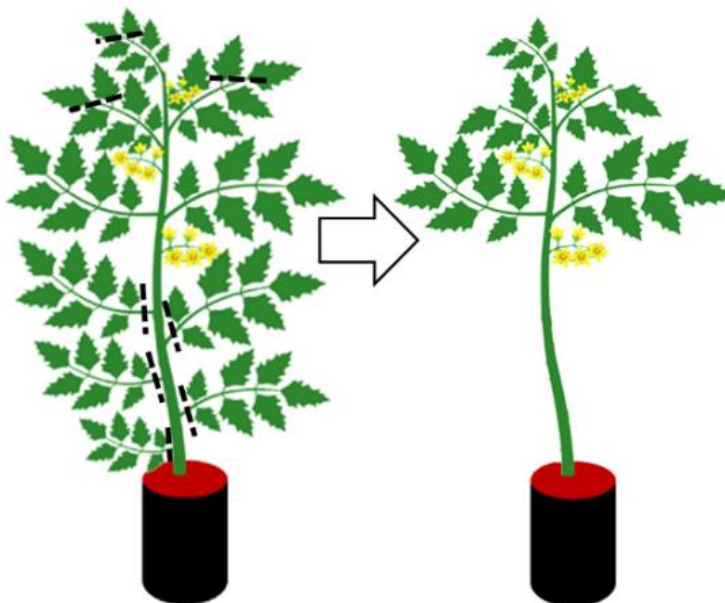


Figura 11. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 7 ($P5+2F^R2$).

Tratamiento 8: Poda de las tres primeras hojas formadas más la eliminación de tres folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del segundo racimo ($P3+3F^R2$), (Figura 12).

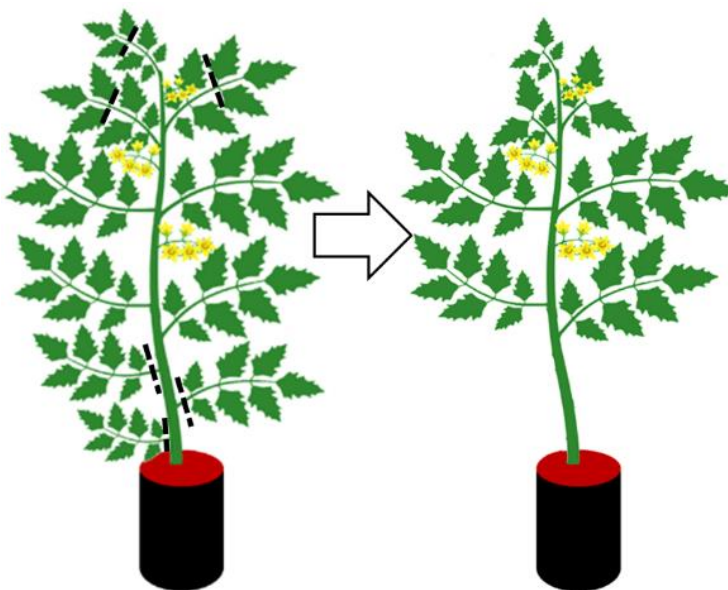


Figura 12. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 8 ($P3+2F^R2$).

Tratamiento 9: Poda de las tres primeras hojas formadas más la eliminación de tres folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del primer racimo ($P3+3F^R1$), (Figura 13).

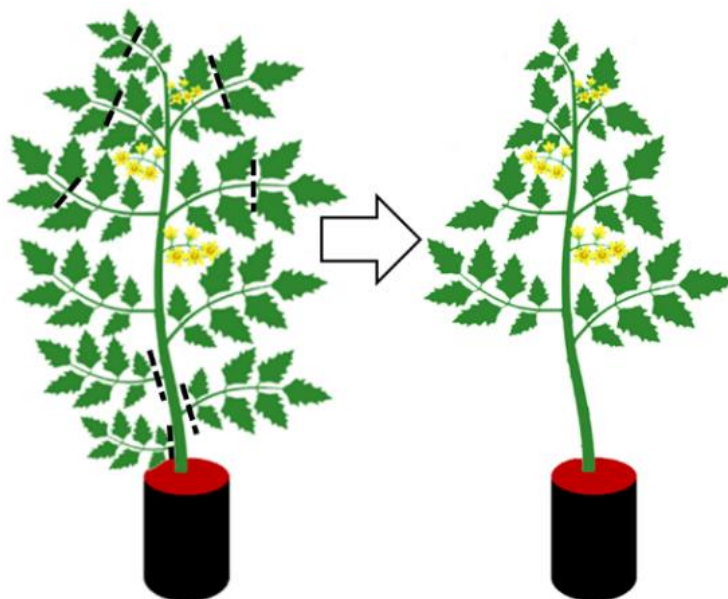


Figura 13. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 9 ($P3+3F^R1$).

Tratamiento 10: Poda de las cinco primeras hojas formadas más la eliminación de tres folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del segundo racimo ($P5+3F^R2$), (Figura 14).

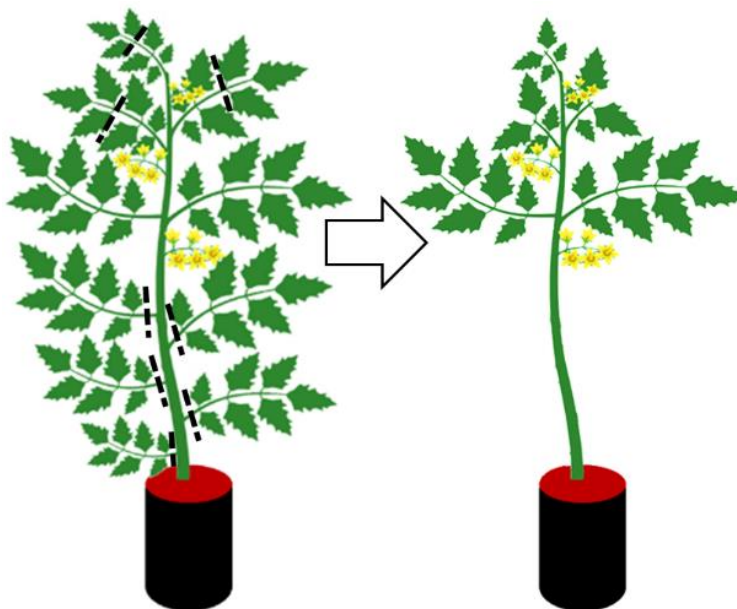


Figura 14. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 10 ($P5+3F^R2$).

Tratamiento 11: Aplicación de $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (ppm) de paclobutrazol a las plántulas en semillero, más la poda de las cinco primeras hojas formadas (PBZ+P5), (Figura 15).

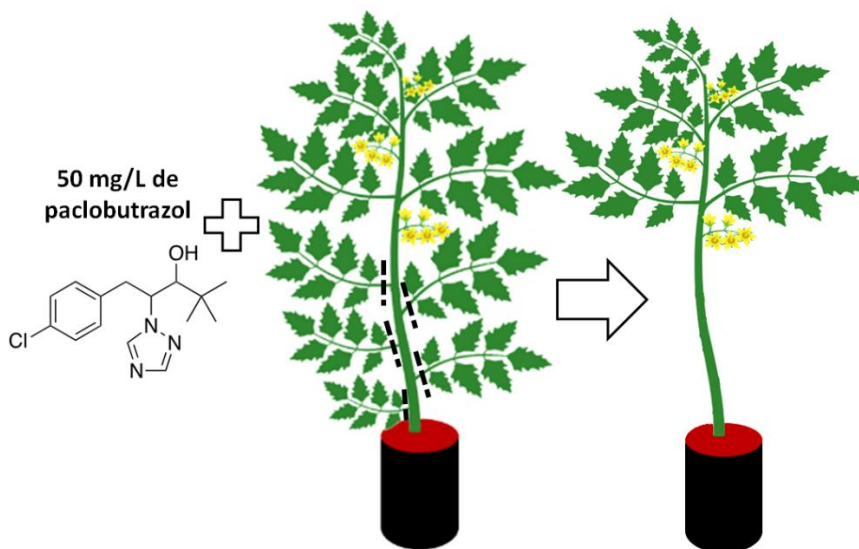


Figura 15. Poda de hojas del tratamiento 11 (PBZ+P5). PBZ: Paclobutrazol.

Tratamiento 12: Aplicación de $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (ppm) de paclobutrazol a las plántulas en semillero, más la poda de las tres primeras hojas formadas y la eliminación de dos folíolos terminales en cada hoja que se encuentre por encima del primer racimo (PBZ+P3+2F^R1), (Figura 16).

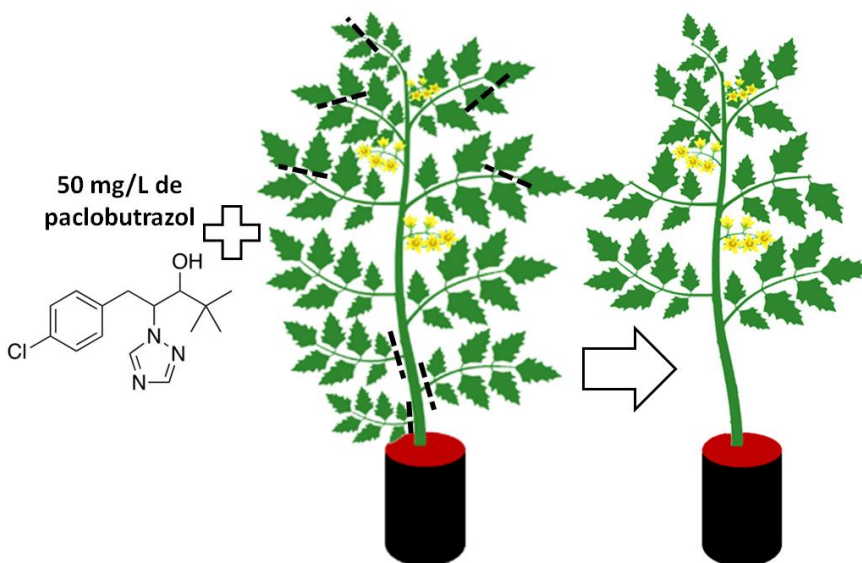


Figura 16. Poda de hojas y folíolos del tratamiento 12 (PBZ+ P3+2F^R1). PBZ: Paclobutrazol.

5.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con doce tratamientos y cuatro repeticiones; el tamaño de la unidad experimental fue de 24 plantas en la fase intermedia y 16 plantas en la fase final del experimento.

5.6. Variables morfológicas

Las siguientes variables morfológicas fueron medidas en cada repetición; a los 45, 75 y 90 días después de la siembra (Figura 17):

- Altura de la planta (cm): Las medidas se tomaron con la ayuda de una regla y un flexómetro, considerando la altura desde la base del tallo hasta el ápice o despunte de la planta.
- Ancho de planta (cm): La toma de datos se realizó con una regla y un flexómetro en la parte más ancha de la planta sin estirar las hojas.
- Diámetro de tallo (mm): Esta variable se determinó con un vernier electrónico, medida en el entrenudo ubicado inmediatamente arriba de la primera inflorescencia o entre el cuarto y quinto nudos formados.
- Área foliar por planta (cm²): El área foliar se obtuvo por medio de un integrador de área foliar LI-3000A (LI-COR, Lincon, Nebraska); para esta variable, se realizó muestreo destructivo de dos plantas por repetición.

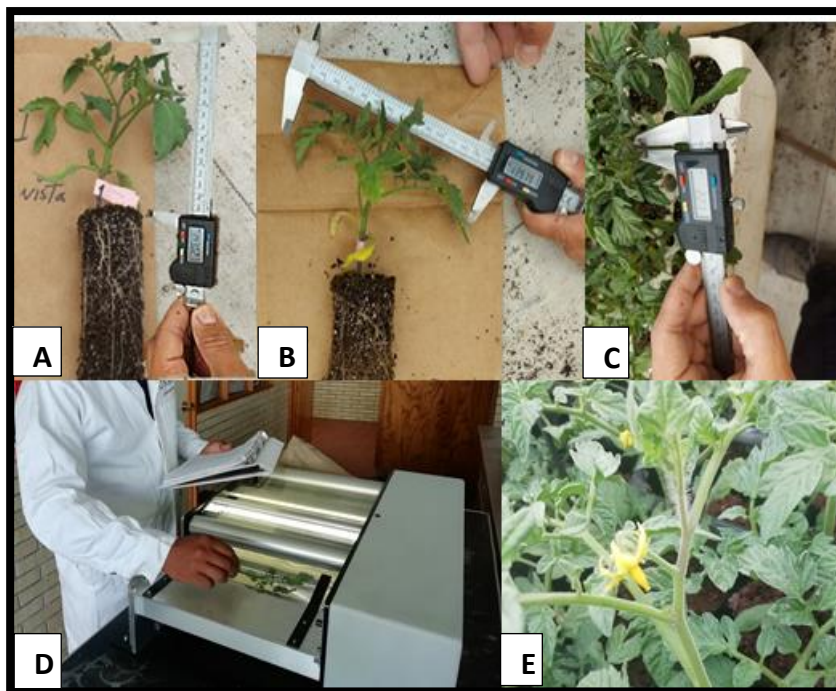


Figura 17. Medición de variables morfológicas en plantas de jitomate: altura (A), ancho (B), diámetro de tallo (C), área foliar (D) y número de flores (E).

5.7. Variables de peso seco

Las siguientes variables de peso seco fueron medidas en las mismas dos plantas por tratamiento que se les midió el área foliar a los 45, 75 y 90 dds (Figura 18):

- Peso seco de hojas por planta (g): Se separaron las hojas del tallo y se secaron en una estufa a 70 °C hasta lograr peso constante; el peso se obtuvo con el apoyo de una balanza analítica.
- Peso seco de tallo por planta (g): De igual manera los tallos separados fueron secados en una estufa a 70 °C hasta alcanzar peso constante, momento en el que se les tomó el peso seco con la ayuda de una balanza analítica.
- Peso seco de frutos por planta (g): Las plantas que ya presentaban frutos, fueron separadas de éstos y puestos a secar en una estufa a 70 °C hasta que llegaron a peso constante, y con la ayuda de una balanza analítica se determinó su peso seco.

- Peso seco de raíz por planta (g): Se estimó con base en veinte plantas de todo el experimento, se determinó la relación entre el peso seco de raíz y la parte aérea de la planta, misma que resultó en un 13 % de peso de raíz.
- Peso seco total por planta (g): Esta variable se obtuvo sumando el peso seco de los diferentes órganos de la planta; la raíz, el tallo, hojas y frutos.
- Peso foliar específico (g de hoja por m² de área foliar): De las mismas dos plantas muestreadas por tratamiento en cada repetición, se obtuvo la relación del peso seco de hoja (g) por m² de área foliar.



Figura 18. Medición de variables de peso seco: Separación de órganos de las plantas (A), secado de los diferentes órganos (B) y pesaje de cada uno de ellos (C).

5.8. Variables de rendimiento y sus componentes

Las siguientes variables de rendimiento se evaluaron en 16 plantas por tratamiento en cada repetición durante la fase final del sistema de producción (Figura 19):

- Número de flores por planta: Se contabilizaron y sumaron las flores formadas en cada inflorescencia para obtener el número de total de flores por planta.

- Número de frutos cosechados por planta: Se contabilizaron y se sumaron los frutos por cada racimo para obtener el número de frutos por planta. Se consideraron como frutos cosechados aquéllos que tenían un tamaño aceptable en el mercado, excluyendo los que no se desarrollaron adecuadamente.
- Peso medio de frutos (g): Para obtener esta variable se dividió el peso total de frutos cosechados entre el número de frutos totales en cada unidad experimental.
- Rendimiento por planta (kg/planta): Se obtuvo sumado el peso total de los frutos cosechados en cada uno de los tres racimos por planta en cada unidad experimental.
- Porcentaje de aborto de frutos (%): Se obtuvo de la diferencia entre el número total de flores por planta y el número total de frutos cosechados. Los porcentajes se transformaron con la función de arcoseno.



Figura 19. Medición de variables de rendimiento: Conteo de frutos por racimo (A), Cosecha de frutos (B) y pesaje de cada uno de ellos (C).

5.9. Conducción del experimento

El experimento se llevó a cabo en tres fases: fase de semillero, fase intermedia de alta densidad de población (30 plantas/m²) y la fase final, en la cual se realizó una redistribución de plantas para tener una densidad de 8 plantas/m².

5.9.1. Fase de semillero

Se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico, de alta dispersión de luz y con una superficie de 300 m² (Figura 20).

El control de las condiciones ambientales se logró mediante la apertura y cierre de ventanas provistas con cortinas de polietileno y protección con mallas antiáfido para evitar la entrada de insectos plaga. Para controlar las bajas temperaturas y las altas humedades relativas el invernadero estaba equipado con un sistema de calefacción que constaba de un calefactor automático de gas a base de combustión directa, también contaba con un sistema de muro húmedo y extractores que permitieron controlar dentro de ciertos límites las altas temperaturas y bajas humedades relativas. Durante la fase de semillero se procuró mantener la temperatura del día entre 20 y 25° C, y de la noche entre 12 y 18° C.



Figura 20. Invernadero donde se estableció la fase de semillero.

Para la obtención de plántulas, se realizó la siembra de semillas del cultivar Galilea en charolas de poliestireno de 60 cavidades dispuestas en seis hileras a lo largo de 10 cavidades cada una, con una separación de 5.8 x 5.8 cm entre cavidades y un volumen de 250 cm³ por cavidad (Figura 21). Como sustrato se

utilizó una mezcla de peat-moss y perlita en proporción 1:1 (v:v), adicionalmente en la superficie de las charolas se colocó una capa delgada de vermiculita para cubrir las semillas y evitar su deshidratación.

Las plántulas en el semillero se irrigaron desde la siembra, una o dos veces al día, con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de nutrimentos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$): nitrógeno en forma de nitrato (N), 200; fósforo (P), 50; potasio (K), 200; calcio (Ca), 250; magnesio (Mg), 50; azufre (S), 150; hierro (Fe), 2; manganeso (Mn), 1; boro (B), 0.5; cobre (Cu), 0.1 y zinc (Zn), 0.1. Como fuentes fertilizantes se utilizaron nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, ácido fosfórico al 85 %, sulfato de magnesio, sulfato ferroso, sulfato de manganeso, ácido bórico, sulfato de cobre y sulfato de zinc. Durante los primeros 15 días después de la siembra (dds) la solución se aplicó a la mitad de su concentración; de ahí hasta el final de la cosecha se utilizó la solución a concentración completa.



Figura 21. Charolas de poliestireno con plántulas de jitomate del cultivar Galilea al interior del invernadero usado como semillero.

A los 40 dds se realizó una aplicación de $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (ppm) de paclobutrazol correspondiente a los tratamientos 11 y 12 (Figura 22). Todas las plantas

permanecieron hasta los 45 dds en el semillero y después de ese tiempo fueron trasplantadas para iniciar la fase intermedia.



Figura 22. Aplicación de $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de placlobutrazol correspondiente a los tratamientos 11 y 12.

5.9.2. Fase intermedia

El invernadero donde se estableció la fase intermedia es tipo cenital (Figura 23), de 45 m de largo por 22 m de ancho, de estructura metálica con cubierta de polietileno térmico y alta dispersión de luz. Tiene ventanas laterales de 2.4 m de altura y ventana cenital de 0.9 m de altura con protección de malla antiáfidos y cortinas retráctiles dispuestas a lo largo de las ventanas de ambos costados y cenitales. Está equipado con calefactores de gas LP, un sistema de enfriamiento con pared húmeda y extractores colocados en la pared opuesta con una capacidad de renovación de aire de una vez por minuto.

A los 45 dds se realizó el trasplante a bolsas de polietileno negro de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura rellenas con arena de tezontle rojo con partículas de

1 a 3 mm de diámetro (Figura 24). Desde los 45 dds y hasta los 90 dds (periodo que correspondió a la fase intermedia del sistema de producción propuesto) las bolsas de polietileno estuvieron acomodadas en juegos de 6 hileras de plantas a 15 cm entre plantas y 15 cm entre hileras, dejando pasillos de 50 cm de ancho entre los juegos de 6 hileras (Figura 24). De esta manera la densidad de población en esta fase fue de 30 planta/m² de invernadero y el área utilizada para su establecimiento fue equivalente al 25 % del espacio utilizado en la fase final.



Figura 23. Invernadero tipo cenital donde se estableció la fase intermedia.

Para el riego se instaló un sistema a base de cintilla (una cintilla por cada hilera de plantas) con goteros integrados a cada 15 cm (Figura 25). El riego se realizó con la solución nutritiva ya señalada en la fase de semillero a una concentración del 100 % de los nutrimentos, aplicando un riego cada hora durante 10 minutos desde las 9:00 am hasta las 5:00 pm. El tutoreo de las plantas consistió en encajar un alambrón de 1 m de alto en cada una de las bolsas y se amarró el tallo de la planta en el mismo mediante el uso de abrazaderas plásticas (Figura 26). Los brotes laterales que emitían las plantas se fueron podando conforme iban apareciendo. Cuando la tercera inflorescencia fue visible, las plantas se

despuntaron (remoción de la yema terminal) dejando una hoja por encima de dicha inflorescencia.



Figura 24. Distribución de las bolsas de polietileno con tezontle para el trasplante a alta densidad en la fase intermedia.



Figura 25. Trasplante y sistema de riego a base cintillas con goteros a cada 15 cm.

A los 75 dds se realizó la poda de hojas y folíolos que correspondían a los diferentes tratamientos. Así mismo, a los 81 dds se realizó el despunte del ápice de las plantas por arriba de la tercera inflorescencia dejando una hoja por arriba de ésta (Figura 27). Adicionalmente, durante un día soleado, a los 73, 79 y 89 dds, se realizaron mediciones del flujo fotónico recibido por hojas a tres distintas profundidades del dosel en las diferentes hileras de plantas (Figura 28). Para ello se utilizó un ceptómetro lineal LP-80 (AccuPAR Par/LAI, Decagon Devices, Inc.).



Figura 26. Tutorado de plantas con varillas de alambre y anillos de plástico.



Figura 27. Plantas de jitomate podadas y despuntadas al tercer racimo, en alta densidad de población.



Figura 28. Medición del flujo fotónico con ayuda de un ceptómetro lineal.

5.9.3. Fase final

A partir de los 90 dds se reubicaron las bolsas con las plantas en otro espacio del invernadero, ajustando la densidad de población a 8 plantas/m² de invernadero. La densidad de plantas se logró haciendo juegos de tres hileras de plantas separadas a 33 cm entre hileras, con 20 cm entre plantas en las hileras laterales y 30 cm entre plantas en la hilera central, con pasillos de 50 cm de ancho (Figura 24). Para esto se implementó otro sistema de riego a base de cintillas con goteros integrados a cada 20 cm de distancia para las hileras laterales y cada 30 cm para la hilera central. Durante esta fase se evaluaron las variables de rendimiento y sus componentes. La cosecha se efectuó en cinco cortes, comenzando con el primero a los 111 dds y finalizando con un último a los 140 dds.



Figura 29. Reubicación de macetas en la fase final.

5.10. Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron sometidos a la prueba de análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando para su estudio el programa Statistical Analysis System for Windows 9.0 (SAS, 2002).

VI. RESULTADOS

6.1. Variables morfológicas y de peso seco evaluadas a los 45 días después de la siembra (dds) al inicio de la fase intermedia de alta densidad

Durante la fase de semillero aún no se aplicaban los tratamientos de poda de hojas y/o de foliolos, por lo que sólo se recabaron los datos de indicadores morfológicos y de peso seco del crecimiento, comparando el efecto de aplicar o no paclobutrazol a los 40 días después de la siembra (dds).

Al final de la fase de semillero (45 dds); es decir al momento del trasplante a la fase intermedia, las plántulas de los tratamientos sin aplicación de paclobutrazol presentaron las siguientes características morfológicas y de peso seco:

Altura de plántula: 16.3 cm

Grosor del tallo: 3.83 mm

Ancho de planta: 16.01 cm

Área foliar por planta: 101.26 cm²

Índice de área foliar (m² de hoja/m² de superficie de suelo): 3.13 (semillero) y 0.3 (Inicio de la fase intermedia)

Peso seco de hojas: 0.62 g

Peso seco de tallo: 0.18 g

Peso seco de raíz: 0.12 g

Peso seco total: 0.92 g

Peso foliar específico: 61.8 g

En tanto los promedios de valores medidos a la misma edad en los dos tratamientos en los que se aplicó paclobutrazol a las plántulas de jitomate, fueron los siguientes:

Altura de plántula: 11.5 cm

Grosor del tallo: 3.15 mm

Ancho de planta: 14.36 cm

Área foliar por planta: 78.86 cm²

Índice de área foliar (m² de hoja/m² de superficie de suelo): 2.44 (semillero) y 0.24 (Inicio de la fase intermedia)

Peso seco de hojas: 0.54 g

Peso seco de tallo: 0.14 g

Peso seco de raíz: 0.1 g

Peso seco total: 0.79 g

Peso foliar específico: 69.2 g

Haciendo una comparación de estas variables se pudo observar que las plántulas con aplicación de 50 mg·L⁻¹ (ppm) de paclobutrazol a los 40 dds, presentaron valores inferiores en comparación con las plántulas sin aplicación aun cuando apenas habían pasado cinco días de que ésta tuvo lugar.

Como se puede apreciar con una prueba de contrastes ortogonales (Cuadro 1), el paclobutrazol ocasionó disminuciones estadísticamente significativas en todas las variables morfológicas como altura de planta, grosor del tallo, ancho de la planta, área foliar por planta e índice de área foliar. Así como también en todas las variables de peso seco (Cuadro 2) tales como peso seco de hojas, peso seco de tallo, peso seco de raíz, pesos seco total y peso foliar específico.

Cuadro 1. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de morfológicas evaluadas a los 45 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al inicio de la fase intermedia.

Contraste	Altura de planta	Grosor del tallo	Ancho de planta	Área foliar	Índice de área foliar
Plantas sin placlobutrazol vs Plantas con placlobutrazol	151.4**	3.07**	18.2*	3345**	3.2**

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Cuadro 2. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de peso seco evaluadas a los 45 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al inicio de la fase intermedia.

Contraste	Peso seco de hojas	Peso seco de tallo	Peso seco de raíz	Peso seco total	Peso foliar específico
Plantas sin placlobutrazol vs Plantas con placlobutrazol	0.037**	0.113**	0.0015**	0.11**	364.8*

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

6.2. Variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra (durante la fase intermedia de alta densidad)

Cabe hacer la aclaración de que los tratamientos de poda de hoja y foliolos se hicieron un día antes (74 dds) de la medición de las distintas variables consideradas en este apartado y el de peso seco a los 75 dds.

Los resultados del análisis de varianza para las variables morfológicas evaluadas a los 75 dds (a la mitad del periodo de fase intermedia de alta densidad) mostraron que hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. Estas diferencias resultaron altamente significativas para las variables de altura de planta y área

foliar. En cuanto al grosor del tallo las diferencias fueron significativas y para el ancho de planta no hubo diferencias entre tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Altura de planta	Grosor del tallo	Ancho de planta	Área foliar
Bloques	3	70.2	0.24	15.1	7695.3
Tratamientos	11	236.2**	0.14*	56.7 ^{NS}	109402.1**
Error	33	10.9	0.04	22.6	3815.9
C.V. (%)		6.4	7.1	12.6	11.4
Media		51.67 (cm)	2.95 (mm)	37.63 (cm)	542.78 (cm ²)

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativa. C.V.: Coeficiente de variación.

El análisis de comparaciones de medias para las variables morfológicas a los 75 dds (Cuadro 4) indica que, la altura de planta se vio significativamente disminuida por el paclobutrazol, ya que los dos tratamientos con aplicación de este compuesto presentaron plantas con menor altura en comparación con los demás tratamientos donde no se aplicó.

Así mismo se muestra que, el grosor del tallo, el área foliar y el índice de área foliar fueron menores en los dos tratamientos conjuntos con aplicación de paclobutrazol (PBZ+P5 y PBZ+P3+2F[^]R1) en comparación con los demás tratamientos donde no se aplicó.

Para las variables de área foliar e índice de área foliar (Cuadro 4), se observó un tendencia a ser mayores en los tratamientos donde se podaron menos hojas y foliolos (P3, P3+2F[^]R2, P3+3F[^]R2 y P3+2F[^]R1).

En cuanto al ancho de planta, éste resultó ser estadísticamente igual en todos los tratamientos (Cuadro 4), el cual osciló entre 31.6 y 41.4 cm. Por otro lado, el análisis de contrastes (Cuadro 5) indica que el efecto conjunto de los dos tratamientos con aplicación de paclobutrazol originó plantas menos anchas en

comparación con el efecto conjunto de los demás tratamientos sin aplicación de placlobutrazol.

Cuadro 4. Comparaciones de medias para variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Grosor del tallo (mm)	Ancho de planta (cm)	Área foliar (cm ²)	Índice de área foliar (m ² /m ²)
1. Poda de 3 primeras hojas (P3)	53.9 a	7.5 ab	40 a	774 a	2.32 a
2. Podas de 5 primeras hojas (P5)	54.4 a	7.4 ab	41 a	584 bc	1.75 bc
3. Poda de 4 hojas + 4 foliolos arriba del racimo 2 (P4+4F^R2)	54.6 a	7.6 ab	39 a	569 bc	1.71 bc
4. Poda de 4 hojas + 4foliolos arriba del racimo 1 (P4+4F^R1)	55.0 a	7.5 ab	32 a	360 de	1.08 ed
5. Poda de 3 hojas + 2foliolos arriba del racimo 2 (P3+2F^R2)	57.1 a	7.5 ab	39 a	695 ab	2.08 ab
6. Poda de 3 hojas + 2foliolos arriba del racimo 1 (P3+2F^R1)	54.0 a	7.6 ab	39 a	661 abc	1.98 ab
7. Poda de 5 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 2 (P5+2F^R2)	55.4 a	8.2 a	41a	494 cd	1.48 cd
8. Poda de 3 hojas + 3foliolos arriba del racimo 2 (P3+3F^R2)	54.9 a	7.9 ab	41 a	707 ab	2.12 ab
9. Poda de 3 hojas + 3foliolos arriba del racimo 1 (P3+3F^R1)	55.1 a	7.6 ab	35 a	602 abc	1.81 abc
10. Poda de 5 hojas + 3foliolos arriba del racimo 2 (P5+3F^R2)	55.0 a	7.8 ab	41 a	512 cd	1.54 cd
11. Poda de 5 hojas + paclobutrazol (PBZ+P5)	35.1 b	6.8 ab	33 a	259 e	0.78 e
12. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 1 + paclobutrazol (PBZ+P3+2F^R1)	35.5 b	6.4 b	32 a	298e	0.90 e
DMSH	9.71	1.56	13.95	181.3	0.55

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P= 0.01).
DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Cuadro 5. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables morfológicas evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.

Contraste	Altura de planta	Grosor del tallo	Ancho de planta	Área foliar	Índice de área foliar
Tratamientos sin paclobutrazol vs tratamientos con paclobutrazol	2568**	7.2**	259**	672278**	6.02**

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

6.3. Variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra (al final de la fase intermedia de alta densidad)

En el Cuadro 6 se exponen los resultados del análisis de varianza para las variables morfológicas medidas a los 90 dds (al final de la etapa intermedia de alta densidad), encontrándose que hubo efecto de tratamientos para todas las variables evaluadas. Las diferencias observadas son significativas para el grosor del tallo y altamente significativas para las variables de altura de planta, ancho de planta y área foliar.

Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la intermedia.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Altura de planta	Grosor del tallo	Ancho de planta	Área foliar
Bloques	3	53.0	1.41	10.0	111079.2
Tratamientos	11	168.8**	1.98*	112.0**	160813.6**
Error	33	32.6	0.56	18.2	14667.3
C.V. (%)		8.8	9.4	9.3	13.5
Media		65.06	8.00	45.85	893.92
		(cm)	(mm)	(cm)	(cm ²)

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).
C.V.: Coeficiente de variación.

Cuadro 7. Comparaciones de medias para variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al final de la fase intermedia.

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Grosor del tallo (mm)	Ancho de planta (cm)	Área foliar (cm ²)	Índice de área foliar (m ² /m ²)
1. Poda de 3 primeras hojas (P3)	69.6 ab	8.2 ab	51 a	1239 a	3.7 a
2. Podas de 5 primeras hojas (P5)	66.4 abc	8.4 ab	53 a	998 abc	3.0 abc
3. Poda de 4 hojas + 4 foliolos arriba del racimo 2 (P4+4F^R2)	64.8 abc	8.1 ab	44 abc	835 bcde	2.5 bcde
4. Poda de 4 hojas + 4foliolos arriba del racimo 1 (P4+4F^R1)	67.6 abc	8.3 ab	38 bc	681 cde	2.0 cde
5. Poda de 3 hojas + 2foliolos arriba del racimo 2 (P3+2F^R2)	65.1 abc	8.4 ab	49 ab	1064 ab	3.2 ab
6. Poda de 3 hojas + 2foliolos arriba del racimo 1 (P3+2F^R1)	70.6 a	8.6 a	50 ab	1033 abc	3.1 abc
7. Poda de 5 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 2 (P5+2F^R2)	73.0 a	8.2 ab	48 ab	926 abcd	2.8 abcd
8. Poda de 3 hojas + 3foliolos arriba del racimo 2 (P3+3F^R2)	66.8 abc	7.8 ab	46 abc	1004 abc	3.0 abc
9. Poda de 3 hojas + 3foliolos arriba del racimo 1 (P3+3F^R1)	65.9 abc	8.3 ab	35 c	923 abcd	2.8 abcd
10. Poda de 5 hojas + 3foliolos arriba del racimo 2 (P5+3F^R2)	66.6 abc	8.6 a	45 abc	869 bcde	2.6 bcde
11. Poda de 5 hojas + paclobutrazol (PBZ+P5)	50.9 c	6.9 ab	48 ab	608 de	1.8 de
12. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 1 + paclobutrazol (PBZ+P3+2F^R1)	53.5 bc	6.3 b	44 abc	549 e	1.6 e
DMSH	16.8	2.2	12.5	355.6	1.06

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P= 0.01). DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Los Cuadros 7 y 8 muestran respectivamente los análisis de comparaciones de medias y algunos contrastes ortogonales de las variables morfológicas evaluadas a los 90 dds. Los tratamientos con aplicación de paclobutrazol siguieron

presentando disminuciones significativas en altura de planta, grosor del tallo, área foliar e índice área foliar en comparación con los tratamientos donde no se aplicó.

En cuanto al ancho de planta (Cuadro 7), éste resultó ser menor en los tratamientos con la mayor poda de foliolos, es decir, en los tratamientos con poda de las cuatro primeras hojas más cuatro foliolos terminales arriba del primer racimo (P4+4F^R1) y con el de poda de las tres primeras hojas más tres foliolos terminales arriba del primer racimo (P3+3F^R1) en comparación con los tratamientos donde no se podaron foliolos terminales (P3 y P5).

Cuadro 8. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables morfológicas evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al final de la fase intermedia.

Contraste	Altura de planta	Grosor del tallo	Ancho de planta	Área foliar	Índice de área foliar
Tratamientos sin paclobutrazol vs tratamientos con paclobutrazol	1591**	19.3**	0.7 ^{NS}	955099**	8.6**

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativa.

6.4. Variables de peso seco evaluadas a los 75 días después de la siembra (durante la fase intermedia de alta densidad)

Para las variables de peso seco (Cuadro 9), el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en el peso seco de hojas, de tallo, de raíz y en el peso seco total. En cuanto al peso foliar específico las diferencias fueron significativas, y para el peso seco de frutos no hubo diferencias entre tratamientos.

En el análisis de comparaciones de medias (Cuadro 10) se observa que, el peso seco de hojas fue menor en los tratamientos con mayor nivel de poda (P4+4F^R1, P5+2F^R2) y con aplicación de paclobutrazol, comparados con tratamientos que

tuvieron un menor nivel de poda (P3, P3+2F^R1, P3+3F^R2), lo cual es esperado ya que la poda de hojas y foliolos se realizó el día anterior a las mediciones.

Cuadro 9. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de peso seco evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Peso seco hojas	Peso seco tallo	Peso seco frutos	Peso seco raíz	Peso seco total	Peso foliar específico
Bloques	3	0.55	0.707	0.82	0.05	1.18	21.3
Tratamientos	11	4.01**	0.885**	0.50 ^{NS}	0.17**	10.04**	131.2*
Error	33	0.19	0.143	0.29	0.008	0.73	38.6
C.V. (%)		12.3	17.9	79.8	10.8	11.7	9.3
Media		3.57	2.11	0.68	0.85	7.3	66.9 (g.m ²
		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	AF)

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). C.V.: Coeficiente de variación. NS: No significativa. AF: Área foliar.

En cuanto a las variables de peso seco del tallo, peso seco de raíz y peso seco total, se observaron por igual disminuciones significativas en los dos tratamientos con aplicación de paclobutrazol (PBZ+P5 y PBZ+P3+2F^R1), pero no así para la variable de peso foliar específico en donde estos dos tratamientos presentaron valores mayores (Cuadro 10).

En este mismo sentido el análisis de contrastes ortogonales entre tratamientos (Cuadro 11) indican que, los tratamientos conjuntos con aplicación de paclobutrazol presentaron menor peso seco de hojas, de tallo, de raíz, peso seco total y peso seco específico, en comparación con el efecto conjunto de los demás tratamientos sin aplicación de paclobutrazol, pero en cuanto al peso seco de frutos no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 10 y 11).

Cuadro 10. Comparaciones de medias para variables de peso seco evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea durante la fase intermedia.

Tratamientos	Peso seco hojas (g)	Peso seco tallo (g)	Peso seco frutos (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco total (g)	Peso foliar específico (g/m ² AF)
1. Poda de 3 primeras hojas (P3)	5.1 a	2.0 abc	0.59 a	1.06 ab	8.8 abc	65.9 ab
2. Podas de 5 primeras hojas (P5)	3.5 bcd	2.0 abc	1.67 a	0.81 bcd	8.1 abc	59.4 b
3. Poda de 4 hojas + 4 foliolos arriba del racimo 2 (P4+4F^R2)	3.6 bcd	2.3 ab	0.57 a	0.88 abc	7.4 abc	63.4 ab
4. Poda de 4 hojas + 4foliolos arriba del racimo 1 (P4+4F^R1)	2.5 de	2.1 abc	0.90 a	0.69 cde	6.3 cde	69.2 ab
5. Poda de 3 hojas + 2foliolos arriba del racimo 2 (P3+2F^R2)	4.2 abc	2.1 abc	0.29 a	0.94 abc	7.6 abc	60.2 b
6. Poda de 3 hojas + 2foliolos arriba del racimo 1 (P3+2F^R1)	4.6 ab	2.7 a	0.86 a	1.09 a	9.4 a	69.1 ab
7. Poda de 5 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 2 (P5+2F^R2)	3.2 cd	2.2 abc	0.48 a	0.82 bc	6.8 bcd	65.2 ab
8. Poda de 3 hojas + 3foliolos arriba del racimo 2 (P3+3F^R2)	4.7 ab	2.5 a	0.62 a	1.07 ab	8.9 ab	66.5 ab
9. Poda de 3 hojas + 3foliolos arriba del racimo 1 (P3+3F^R1)	4.1 abc	2.6 a	0.44 a	0.99 ab	8.1 abc	68.4 ab
10. Poda de 5 hojas + 3foliolos arriba del racimo 2 (P5+3F^R2)	3.2 cd	2.4 ab	0.50 a	0.84 abc	7.0 abcd	63.2 ab
11. Poda de 5 hojas + paclobutrazol (PBZ+P5)	1.9 e	1.2 c	0.60 a	0.45 e	4.2e	71.2 ab
12. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 1 + paclobutrazol (PBZ+P3+2F^R1)	2.4 de	1.3bc	0.62a	0.55de	4.9de	81.1a
DMSH	1.29	1.11	1.59	0.27	2.50	18.22

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P= 0.01).
DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. AF: Área foliar.

Cuadro 11. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de peso seco evaluadas a los 75 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea.

Contraste	Peso seco hojas	Peso seco tallo	Peso seco frutos	Peso seco raíz	Peso seco total	Peso foliar específico
Tratamientos sin paclobutrazol vs tratamientos con paclobutrazol	20.5**	7.5**	0.04 ^{NS}	1.2**	73.7**	818**

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativa.

6.5. Variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra al final de la fase intermedia de alta densidad

Para las variables de peso seco evaluadas a los 90 dds, el análisis de varianza (Cuadro 12) mostró diferencias altamente significativas para el peso seco de hojas, peso seco de tallo, peso seco de raíz y para el peso seco total, pero no así para el peso seco de frutos y el peso foliar específico.

Cuadro 12. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al final la fase intermedia.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Peso seco hojas	Peso seco tallo	Peso seco frutos	Peso seco raíz	Peso seco total	Peso foliar específico
Bloques	3	7.72	1.94	10.15	0.38	64.6	47.4
Tratamientos	11	11.51**	4.04**	4.82 ^{NS}	0.60**	24.6**	44.5 ^{NS}
Error	33	1.42	0.51	4.22	0.07	5.5	150.2
C.V. (%)		16.0	16.1	56.9	14.9	13.2	14.7
Media		7.44	4.45	3.6	1.8	17.8	83.6 (g.m ²
		(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	AF)

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). C.V.: Coeficiente de variación. NS: No significativa.

Cuadro 13. Comparaciones de medias para variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea al final la fase intermedia.

Tratamientos	Peso seco hojas (g)	Peso seco tallo (g)	Peso seco frutos (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco total (g)	Peso foliar específico (g.m ² AF)
1. Poda de 3 primeras hojas (P3)	10.2 a	5.1 a	4.1 a	2.3 a	22.3 a	82.6 a
2. Podas de 5 primeras hojas (P5)	7.7 abcd	5.2 a	3.9 a	1.9 a	19.4 abc	77.6 a
3. Poda de 4 hojas + 4 foliolos arriba del racimo 2 (P4+4F^R2)	6.9 abcd	4.6 a	3.6 a	1.7 abc	17.4 abc	82.9 a
4. Poda de 4 hojas + 4 foliolos arriba del racimo 1 (P4+4F^R1)	5.8 bcd	4.5 ab	3.1 a	1.6 abc	15.4 abc	84.6 a
5. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 2 (P3+2F^R2)	9.2 ab	4.9 a	3.8 a	2.1 a	20.6 ab	86.4 a
6. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 1 (P3+2F^R1)	8.4 ab	4.9 a	2.9 a	2.0 a	18.6 abc	81.6 a
7. Poda de 5 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 2 (P5+2F^R2)	8.1 abc	5.1 a	1.8 a	2.0 a	17.1 abc	88.4 a
8. Poda de 3 hojas + 3 foliolos arriba del racimo 2 (P3+3F^R2)	8.4 ab	4.5 ab	3.9 a	1.9 a	19.2 abc	83.9 a
9. Poda de 3 hojas + 3 foliolos arriba del racimo 1 (P3+3F^R1)	7.6 abcd	4.7 a	2.7 a	1.8 ab	17.2 abc	84.1 a
10. Poda de 5 hojas + 3 foliolos arriba del racimo 2 (P5+3F^R2)	7.7 abcd	5.1 a	2.7 a	1.9 a	17.8 abc	88.4 a
11. Poda de 5 hojas + paclobutrazol (PBZ+P5)	4.8 cd	2.5 bc	6.0 a	1.1 bc	15.2 bc	78.5 a
12. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 1 + paclobutrazol (PBZ+P3+2F^R1)	4.5 d	2.3 c	4.7 a	1.0 c	13.2 c	84.3 a
DMSH	3.5	2.1	6.0	0.77	6.9	36.0

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P= 0.01).

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. AF: Área foliar.

En cuanto al peso seco de frutos y peso foliar específico, todos los tratamientos fueron estadísticamente similares, los valores fluctuaron entre 1.8 y 6 g para peso seco de frutos, y entre 77.6 y 88.4 para peso foliar específico (Cuadro 13).

Por otro lado, el análisis de contrastes ortogonales (Cuadro 14) sugiere que el efecto conjunto de los dos tratamientos con paclobutrazol dio como resultado un mayor peso seco de frutos a los 90 dds, en comparación con el efecto conjunto de los demás tratamientos.

Cuadro 14. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de peso seco evaluadas a los 90 días después de la siembra en plantas de jitomate variedad Galilea.

Contraste	Peso seco hojas	Peso seco tallo	Peso seco frutos	Peso seco raíz	Peso seco total	Peso foliar específico
Tratamientos sin paclobutrazol vs tratamientos con paclobutrazol	74.8**	42**	30*	5.1**	123**	44.9 ^{NS}

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativa.

6.6. Variables de rendimiento y sus componentes

En el Cuadro 15 se muestra el análisis de varianza para las variables de rendimiento y sus componentes. Los resultados indican que hubo efecto de tratamientos en todas las variables. Las diferencias observadas fueron significativas para la variable de número de flores por planta, y altamente significativas para las variables de porcentaje de flores abortadas, número de frutos por planta, peso promedio de frutos y rendimiento por planta.

En el análisis de comparaciones de medias para las variables de rendimiento y sus componentes (Cuadro 16) se observa que, el número total de flores por planta fue mayor en el tratamiento con poda de las tres primeras hojas más dos folíolos terminales arriba del segundo racimo ($P3+2F^R2$) en comparación con el tratamiento con paclobutrazol y poda de las tres primeras hojas más dos folíolos

terminales arriba del primer racimo (PBZ+P3+2F^R1), pero estadísticamente similar a los demás tratamientos.

Cuadro 15. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate variedad Galilea.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Número de flores por planta	Porcentaje de flores abortadas	Número de frutos por planta	Peso promedio de frutos	Rendimiento por planta
Bloques	3	30.6	0.02	1.6	330	55206
Tratamientos	11	15.1*	0.04**	11.2**	1734**	326991**
Error	33	6.8	0.01	3.7	295.4	38092
C.V. (%)		16.3	15.6	23	16.1	22.2
Media		16.0	47.7	8.3	106.7 (g)	879.6 (g)

*: Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). C.V.: Coeficiente de variación.

En cuanto al porcentaje de aborto total por planta, este fue muy similar en todos los tratamientos; con un porcentaje de aborto muy cercano al cincuenta por ciento. Sin embargo, se puede observar que el tratamiento con paclobutrazol y la poda de las tres primeras hojas más dos folíolos terminales por arriba del primer racimo (PBZ+P3+2F^R1) tuvo un porcentaje de absorción menor en comparación con el tratamiento con paclobutrazol y poda de las cinco primeras hojas (PBZ+P5).

Respecto al número total de frutos cosechados por planta; se obtuvieron de 8 a 9 frutos por cada planta (en números redondeados), estos valores fueron muy parecidos en los diferentes tratamientos, no obstante, se puede observar que fue estadísticamente mayor el número de frutos en el tratamiento con poda de las cinco primeras hojas (P5) en comparación con el tratamiento con poda de las cinco primeras hojas más paclobutrazol (P5+PBZ).

Referente a las variables de peso medio de frutos y rendimiento por planta (Cuadro 16), se observa que los tratamientos con aplicación de paclobutrazol (P4+2F^R2 y P4+4F^R1) y tratamientos con mayor nivel de poda (P4+4F^R1,

P3+3F^R1, P4+4F^R2) presentaron disminuciones significativas en estas variables.

Cuadro 16. Comparaciones de medias para variables de número de flores evaluadas en plantas de jitomate variedad Galilea.

Tratamientos	Número de flores por planta	Porcentaje de flores abortadas	Número de frutos cosechados	Peso promedio de frutos (g)	Rendimiento por planta (g)
1. Poda de 3 primeras hojas (P3)	16.0 ab	49 ab	8.2 ab	116.1 a	936 ab
2. Podas de 5 primeras hojas (P5)	16.3 ab	44 ab	9.0 a	109.7 abc	973 a
3. Poda de 4 hojas + 4 foliolos arriba del racimo 2 (P4+4F^R2)	16.2 ab	48 ab	8.4 ab	101.2 bc	845 abc
4. Poda de 4 hojas + 4 foliolos arriba del racimo 1 (P4+4F^R1)	15.9 ab	51 ab	7.7 ab	100.5 bc	758 c
5. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 2 (P3+2F^R2)	17.0 a	49 ab	8.7 ab	109.8 abc	940 ab
6. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 1 (P3+2F^R1)	16.0 ab	47 ab	8.5 ab	109.6 abc	909 ab
7. Poda de 5 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 2 (P5+2F^R2)	16.2 ab	47 ab	8.6 ab	111.4 ab	934 ab
8. Poda de 3 hojas + 3 foliolos arriba del racimo 2 (P3+3F^R2)	15.8 ab	47 ab	8.3 ab	109.0 abc	894 ab
9. Poda de 3 hojas + 3 foliolos arriba del racimo 1 (P3+3F^R1)	15.7 ab	48 ab	8.2 ab	104.0 bc	836 bc
10. Poda de 5 hojas + 3 foliolos arriba del racimo 2 (P5+3F^R2)	16.8 ab	47 ab	8.8 ab	107.8 abc	933 ab
11. Poda de 5 hojas + paclobutrazol (PBZ+P5)	15.6 ab	52 a	7.5 b	101.4 bc	761 c
12. Poda de 3 hojas + 2 foliolos arriba del racimo 1 + paclobutrazol (PBZ+P3+2F^R1)	15.3 b	44 b	8.5 ab	99.6 c	836 bc
DMSH	1.5	0.08	1.27	11.4	129.7

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, P= 0.05).
DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Por otro lado, el análisis de contrastes ortogonales (Cuadro 17) también sugiere que el efecto conjunto de los tratamientos con aplicación de paclobutrazol causa

una disminución significativa del número de flores por planta, del peso medio de frutos y del rendimiento por planta, en comparación con el efecto conjunto de los demás tratamientos donde no se aplicó este producto, pero no así para las variables de porcentaje de flores abortadas y número de frutos cosechados.

Cuadro 17. Cuadrados medios de contrastes ortogonales entre tratamientos para variables de rendimiento en plantas de jitomate variedad Galilea.

Contraste	Número de flores por planta	Porcentaje de flores abortadas	Número de frutos cosechados	Peso promedio de frutos	Rendimiento por planta
Tratamientos sin paclobutrazol vs tratamientos con paclobutrazol	62.8**	0.0003 ^{NS}	16.3 ^{NS}	5797**	1010187**

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$). NS: No significativa.

VII. DISCUSIÓN GENERAL

El sistema de producción de jitomate a tres racimos y alta densidad de población desarrollado por investigadores de la UACh, ha permitido, mediante el manejo del cultivo en dos fases (semillero y final), trasplantes tardíos y despuntes por arriba de la tercera inflorescencia para dejar tres racimos por planta, acortar el periodo de trasplante a fin de cosecha a menos de 115 días y aumentar la densidad de población para obtener al menos tres ciclos de cultivo por año y, con ello, altos rendimientos por año, que van de las 450 a 600 $t \cdot ha^{-1}$, lo que representa mayores beneficios económicos para los pequeños productores con invernaderos menos equipados (Ucán et al., 2005; Sánchez et al., 2012a; Sánchez et al., 2010; Sánchez et al., 2017a; Ruiz, 2019).

Actualmente se ha planteado optimizar este sistema de producción a tres racimos por planta con intenciones de lograr siete ciclos de cultivo por año con rendimientos que podrían alcanzar e incluso superar los 100 $kg \cdot m^{-2} \cdot año^{-1}$ (1000 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$). El planteamiento consiste en manejar el ciclo de cultivo en tres fases (fase de semillero con una duración de 45 días, fase intermedia de alta densidad con una duración de 45 días y fase final con duración de 50 días) en vez de las dos que se manejaban normalmente (semillero con duración de 45 días y final con duración de 95 a 100 días permitiendo tres ciclos de cultivo por año).

La fase intermedia de alta densidad requiere de un espacio de adicional de invernadero de aproximadamente la cuarta parte de la superficie total de invernadero ocupada por la fase final, pero a cambio permite acortar esta última a 50 días, haciendo posible obtener los siete ciclos de cultivo por año.

Con las investigaciones generadas sobre el sistema de producción a tres racimos y alta densidad, existe la información necesaria para un buen manejo de la fase inicial en semillero y de la fase final (Sánchez et al., 2012a; Sánchez et al., 2010; Sánchez et al., 2017a). Sin embargo, la intercalación de una fase intermedia representa posibles problemas de manejo que derivan de la alta densidad de

plantas que se maneja (30 plantas/m²), sobre todo en los últimos días previos a la reubicación de las plantas hacia la fase final. Al final de esta fase intermedia las plantas pudieran entrar en competencia por la luz debido al sombreado mutuo y generar alteraciones morfogénicas como hojas más delgadas con hiponastia, mayor crecimiento de los entrenudos, elongación y fragilidad de los tallos, floración temprana, área foliar reducida, cambios en la distribución de fotosintatos y en general una reducción de la productividad; aspectos que impactarían negativamente en el rendimiento final (Taiz & Zeiger, 2002; Devlin, 2007; Franklin & Whitelam, 2007).

Una alternativa para aminorar los efectos negativos de la densidad de población tan alta como la propuesta para la fase intermedia (30 plantas/m²) que se estudió en el presente trabajo, fue realizar la poda selectiva de hojas y folíolos en las plantas de jitomate sometidas a la alta densidad de población durante la fase intermedia, con la hipótesis de que al remover algunas hojas y folíolos que no contribuyeran de manera importante en la productividad de la planta, se favorecería una distribución más uniforme de la radiación fotosintéticamente activa incidente y esto contribuiría a un mayor crecimiento de los frutos y eventualmente a un mayor rendimiento al final del ciclo.

A continuación, se discuten los principales resultados obtenidos en este experimento.

7.1. Variables morfológicas y de peso seco evaluadas a los 45 días después de la siembra (inicio de la fase intermedia de alta densidad)

Al final de la fase de semillero e inicio de la fase intermedia, es decir a los 45 dds, no se aplicaban aún los tratamientos de podas de hojas y folíolos en las plantas de jitomate, pero a los 40 dds se realizó una aplicación de 50 mg • L⁻¹ (ppm) de paclobutrazol correspondiente a las plantas de los dos tratamientos que combinaban las podas con la aplicación de este producto: poda de las cinco primeras hojas y poda de la primeras tres hojas más dos folíolos de cada hoja presente por arriba del racimo 1 (PBZ+P5 y PBZ+P3+2F^R1).

La aplicación de paclobutrazol se ha venido utilizando con el propósito de aminorar efectos de alta densidad para mantener a las plantas de jitomate por más tiempo en el semillero y poder realizar trasplantes tardíos en el sistema de producción a tres racimos (Zarate et al., 2021; Moreno et al., 2021).

Los valores de las variables morfológicas y de peso seco evaluadas a los 45 dds se presentaron como valores de referencia para las plantas sin aplicación y con aplicación de paclobutrazol (Pagina 56 y 57) y además se les realizó una prueba de contrastes ortogonales que indicó que las plantas con aplicación de paclobutrazol presentaron menor altura, grosor del tallo, ancho de planta, área foliar e índice de área foliar, así como también menor peso seco de hojas, tallo, raíz, peso seco total y peso foliar específico, en relación con las plantas donde no se aplicó este producto. Esto debido a que el paclobutrazol es un regulador del crecimiento vegetal que inhibe la biosíntesis de giberelinas y provoca una disminución en la tasa de división y expansión celular, lo que limita el crecimiento vegetativo de las plantas (Jayanti & Pribadi, 2022; Shalaby, 2022).

En las plantas donde no se aplicó paclobutrazol, los valores obtenidos de las variables morfológicas y de peso seco a los 45 dds se encuentran dentro de los rangos normales de calidad reportados para plántulas de otras variedades con trasplantes tardíos (Portillo, 2020; Sánchez et al., 2021a; Silva, 2021).

7.2. Variables morfológicas evaluadas a los 75 y 90 días después de la siembra (dds) durante la fase intermedia de alta densidad

Los resultados de las variables morfológicas evaluadas a los 75 y 90 dds indicaron que los diferentes tratamientos de poda de hojas y foliolos aplicados a las plantas de jitomate no tuvieron efecto sobre la altura de la planta y el grosor del tallo (Cuadros 4 y 7). Precisamente la práctica de despunte o remoción del meristemo apical, como la realizada en este experimento; detiene el crecimiento de las plantas reduciendo su altura a menos de un metro (Ucan et al., 2005, Sánchez et al., 2017b). Al remover el meristemo apical del tallo principal y los brotes laterales, considerados como regiones de división celular y de alta

demanda de fotoasimilados, el crecimiento de la planta se detiene y dejan de importar fotoasimilados, por lo que estos pueden ser exportados con mayor magnitud a otros órganos en desarrollo como las flores, frutos y hojas (Kinet, 1977, Sonnewald & Willmitzer, 1992, Heuvelink & Okello, 2018).

A los 75 dds no hubo efecto de la poda de hojas y folíolos sobre el ancho de las plantas de jitomate (cuadro 4), esto debido a que hasta en el tratamiento de poda más severo ($P4+4F^R1$) aún se conservaba una, y en algunas plantas hasta dos hojas intactas; dependiendo del arquetipo de la planta (Figura 4 y 8). Sin embargo, a los 90 dds se observa que los tratamientos con mayor nivel de poda de folíolos terminales ($P4+4F^R1$, $P3+3F^R1$) presentaron menor anchura de planta (Cuadro 7).

En cuanto al área foliar e índice de área foliar, se observa una tendencia a ser mayores en los tratamientos con menor nivel de poda ($P3$, $P3+2F^R2$, $P3+2F^R1$, $P3+3F^R2$) y menores en los tratamientos con mayor poda ($P4+4F^R1$, $P5+3F^R2$, $P5+2F^R2$, $P4+2F^R2$) tanto a los 75 como a los 90 dds (Cuadro 4 y 7).

El manejo del cultivo de jitomate bajo invernadero y en altas densidades de población puede generar altos índices de área foliar que ocasionan sombreado mutuo entre las plantas de jitomate (Sánchez et al., 2009; Taiz et al., 2015; Sánchez et al., 2021a). En esta situación de competencia por la luz las plantas generan un conjunto de respuestas para evitar el sombreado; denominadas en conjunto “síndrome para evitar el sombreado” entre estas respuestas se encuentran el alargamiento y adelgazamiento del tallo (Smith & Whitelam, 1997; Devlin, 2007, Sánchez et al., 2009). Sin embargo, debido a las características de la variedad (hábito semideterminado) y, sobre todo, a los tratamientos de poda de hojas y folíolos esto no ocurrió en el presente experimento, ya que a los 75 dds todos los tratamientos reportaron índices de área foliar muy por debajo del óptimo (Cuadro 4) considerado entre 3 y 4 (Heuvelink et al., 2018) y a los 90 dds sólo los tratamientos con menor nivel de poda llegaron a alcanzar un IAF de 3 (Cuadro 7). Para posteriores trabajos bajo esta línea de investigación se

recomienda hacer ensayos con otras variedades ya que dependiendo de su genética y habito de crecimiento pueden tener diferentes comportamientos y adaptaciones al ambiente, así mismo se aconseja realizar podas excesivas sólo cuando el índice de área foliar sobrepase los valores óptimos.

A los 75 y 90 dds los tratamientos con aplicación de $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (ppm) de paclobutrazol (PBZ+P5 y PBZ+P3+2F^R1) presentaron disminuciones significativas en la mayoría de las variables morfológicas (Cuadros 4, 5, 7 y 8) en comparación con los tratamientos donde no se aplicó, entre ellas destacan la menor área foliar e índice de área foliar el cual estuvo muy por debajo del óptimo.

Los resultados coinciden con las observaciones hechas por Zarate et al. (2021) y Moreno et al. (2021), quienes con una dosis similar de paclobutrazol obtuvieron disminuciones significativas en la altura de planta, diámetro del tallo, peso fresco, área foliar e índice de área foliar en plantas de jitomate. Ambos autores coinciden en que el uso de retardadores de crecimiento como el paclobutrazol tiene por objetivo mantener más tiempo las plántulas en el semillero; formado plantas con entrenudos más cortos y hojas más pequeñas que faciliten su mantenimiento y permitan hacer trasplantes a mayor edad para reducir el ciclo de trasplante a fin de cosecha sin consecuencias negativas posteriores. Sin embargo, esto puede variar dependiendo de las variedades, las dosis aplicadas y si se combina con otro producto o actividad, como en este caso con las podas.

7.3. Variables de peso seco evaluadas a los 75 y 90 días después de la simbra (dds) durante la fase intermedia de alta densidad

Los hallazgos indican que los tratamientos de poda de hojas y foliolos no tuvieron efecto sobre el peso seco de tallo, el peso seco de frutos y el peso foliar específico, tanto a los 70 como a los 90 dds. Esto debido a que todas las plantas se despuntaron por arriba de la tercera inflorescencia dejando solo una hoja por arriba de esta, por lo que el tallo dejó de crecer. Que no hubiera diferencias en el peso seco de los frutos puede sugerir que hasta estos periodos de tiempo las hojas de las plantas de jitomate cumplían con la demanda de fotoasimilados de

los frutos en desarrollo aún con la aplicación de las podas, lo cual concuerda con que tampoco hubo diferencias en el peso foliar específico el cual es una forma de estimar la eficiencia fotosintética mediante la producción de materia seca por unidad de superficie foliar (Sonnewald & Willmitzer, 1992; Pedraza & Cayón, 2010; Becerril, 2018).

En cuanto al peso seco de hojas se observa una tendencia a ser mayor en los tratamientos con menor nivel de poda y mayor en los tratamientos con más poda, tanto a los 75 como a los 90 dds (Cuadros 10 y 13). Estos resultados tienen un comportamiento similar al de la variable de área foliar, por lo que una mayor cantidad de hojas también se vio reflejada en un mayor peso seco de éstas.

A los 75 dds se observa que tratamientos con menor nivel de poda (P3, P3+2F^R1, P3+3F^R2) presentaron mayor peso seco de raíz y peso seco total (Cuadro 10), en relación con tratamientos con mayor poda (P4+4F^R1, P5+2F^R2), esto pudo deberse a que la aplicación de las diferentes podas de hojas y foliolos se realizó un día antes de las mediciones, ya que la mayor cantidad del peso seco total recae en el de las hojas; lo cual influyó en el cálculo del peso seco total y de raíz. Sin embargo, para los 90 dds, la poda de hojas y foliolos no presentó efectos en estas mismas variables.

7.4. Variables de rendimiento y sus componentes

Los resultados de estas variables mostraron que los diferentes tratamientos de poda de hojas y foliolos no tuvieron efecto sobre el número de flores por planta, el porcentaje de flores abortadas y el número de frutos cosechados (Cuadro 16). Estos resultados sugieren que, con el número de hojas y folíolos que conservaron las plantas después de aplicar los tratamientos de poda, fue suficiente para cubrir las demandas nutricionales de las flores y frutos en desarrollo.

Al respecto está documentado que el meristemo apical es un órgano con más demanda de fotoasimilados que las inflorescencias en desarrollo; sin embargo, la remoción de éste pretende evitar la competencia en la demanda y que los

fotosintatos producidos se destinan al desarrollo de flores y frutos (Sonnewald & Willmitzer, 1992; Cota et al., 2004, Sánchez et al., 2017b). Por su parte Rusell y Morris (1983) y Shishido et al. (1989) mencionaron que la mayoría de asimilados requeridos por una inflorescencia en desarrollo, son abastecidos por las 2 hojas adyacentes a la posición radial de la inflorescencia en el eje vertical de la planta, razón por la cual no se removieron en su totalidad estas hojas en el presente experimento.

Los valores de los resultados para el número de flores por planta, porcentaje de flores abortadas y número de frutos cosechados (Cuadro 16), coinciden con los reportados por Silva (2021) para algunas variedades de jitomate que fueron manejadas bajo una fase intermedia de alta densidad y con despuntes a tres racimos; sin embargo, el alto porcentaje de absorción puede estar relacionado con la genética de la variedad y su respuesta al ambiente en condiciones de altas densidades de población (Chamarro, 1995; Picken et al., 1986; Sánchez et al., 2012b; Heuvelink & Okello, 2018).

En cuanto al peso promedio de frutos, éste fue menor en los tratamientos con mayor nivel de poda de foliolos ($P4+4F^R2$, $P4+4F^R1$, $P3+3F^R1$) y con aplicación de paclobutrazol ($PBZ+P5$, $PBZ+P3+2F^R1$) comparados con el tratamiento testigo ($P3$). Así mismo el rendimiento por planta se vio significativamente reducido por el tratamiento con mayor nivel de poda ($P4+4F^R1$) y por el tratamiento que combina la aplicación de paclobutrazol y poda de las cinco primeras hojas ($PBZ+P5$). Estos resultados indican que podas severas y aplicación de paclobutrazol combinado con podas; pueden afectar las demandas nutricionales de los frutos en etapas de desarrollo más avanzadas mermando su peso promedio y el rendimiento final. Al respecto Kim et al. (2014) declaran que la eliminación de hojas en plantas de jitomate no afecta la tasa de floración, pero si disminuye los rendimientos totales.

VIII. CONCLUSIONES

Con la implementación de la fase intermedia de alta densidad (30 plantas/m²) en el sistema de producción de jitomate con despuntes a tres racimos, es posible reducir la fase final de producción (de trasplante a fin de cosecha) de 100 días a sólo 50 días, con lo que se podrían realizar hasta siete ciclos de cultivo por año con una muy alta productividad potencial.

Podas moderadas de hojas y folíolos en plantas de jitomate no afectan las variables morfológicas, y tampoco el peso y rendimiento.

Podas severas de hojas y folíolos (P4+4F¹R1) llegan a afectar considerablemente el área foliar y en consecuencia el índice de área foliar; causando una disminución en el rendimiento final.

La aplicación de paclobutrazol combinada con podas de hojas y folíolos (PBZ+P5, PBZ+P3+2F¹R1) afecta la altura de planta, el área foliar, el índice de área foliar, el peso seco de hojas, el peso de tallo, el peso seco total aún después de los 90 días después de la siembra. También afectó negativamente el rendimiento total por planta.

IX. LITERATURA CITADA

- Acock, B., Charles, E. D. A., Fitter, D. J., Hand, D. W., Ludwig, L. J., & Warren, W. (1978). The contribution of leaves from different levels within a tomato crop to canopy net photosynthesis: an experimental examination of two canopy models. *Journal of Experimental Botany*, 29(4), 815-827.
- Alcántar, G. G., Trejo, T. L. I., Fernández, P. L., & Rodríguez, M. M. de las N. (2016). Elementos esenciales. En G. G. Alcántar, T. L. I. Trejo, & M. F. C. Gómez (Eds.), *Nutrición de cultivos* (2da ed., pp. 21-55). Biblioteca Básica de Agricultura.
- Argerich, C., & Troilo, L. (2011). Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en la cadena de tomate. FAO.
- Argerich, C., Troilo, L., Fazzone, M. R., Izquierdo, J., Strassera, M. E., Balcaza, L., & Iribarren, M. J. (2013). Manual de buenas prácticas agrícolas en la cadena de tomate. FAO.
- Arnon, D. I., & Stout, P. R. (1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, 14(2), 371-375.
- Atherton, J. G., & Harris, G. P. (1986). Flowering. In J. G. Atherton, & J. R. Rudich (Eds.), *The Tomato Crop* (pp. 167-200). Chapman and Hall.
- Bastida, C. O. A. (2020). *Métodos de cultivo hidropónico de jitomate (Solanum lycopersicum L.) bajo invernadero basados en doseles escaleriformes* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo].
- Becerril, R. A. E. (2018). Peso específico de hoja y concentración de nitrógeno durante la fenología del ciruelo japonés cv. Methley. *AgroProductividad*, 11(10), 43-50.
- Bula, A. O. (2020). Importancia de la agricultura en el desarrollo socioeconómico. Observatorio Económico Social.
- Cabañas, D. A. (2020). *Evaluación de métodos de va para el cultivo de jitomate manejado en alta densidad de población* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo].
- Camacho, R. G., Garrido, O., & Lima, M. G. (1995). Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación al área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Scientia Agricola*, 52(2), 294-298.
- Carbone, A. (2015). Nutrición mineral. En J. Beltrano, & D. O. Gimenez (Eds.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 62-72). Universidad de la Plata.
- Castellanos, J. Z., & Borbón, C. (2009). Panorama de la Horticultura Protegida en México. En J. Z. Castellanos (Ed.), *Manual de Producción de Tomate en Invernadero* (pp. 1-18). INTAGRI.

- Castilla, P. N. (1995). Manejo del cultivo intensivo con suelo. En F. Nuez (Ed.), *El Cultivo del Tomate* (pp. 189-225). Mundi-Prensa.
- Chamarro, L. J. (1995). Anatomía y Fisiología de la Planta. En F. Nuez (Ed.), *El Cultivo del Tomate* (pp. 43-91). Mundi-Prensa.
- Costa, J. M., & Heuvelink, E. (2018). The global tomato industry. In E. Heuvelink (Ed.), *Tomatoes* (2nd ed., pp. 1-26). Wallingford, UK: CABI.
- Cota, J. R. V., Hernández, V. A. G., Salazar, J. A. C., Muñoz, M. L., Del Castillo, F. S., & Enciso, T. O. (2004). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 333-338.
- Devlin, P. (2007). Photocontrol of flowering. In G. C. Whitelam, & K. J. Halliday (Eds.), *Light and plant development* (pp. 185-210). Oxford Blackwell Publishing.
- Días, P. T., & Alfonso, H. D. (2003). Comportamiento de la germinación de semillas de tomate tratadas con cloro (Cl). *Temas de ciencia y tecnología*, 7(19), 63-66.
- FIRA. (2019). *Panorama Agroalimentario Tomate rojo 2019*. Recuperado en: <https://es.scribd.com/document/502336019/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019>
- Flores, J., Ojeda, B. W., López, I., Rojano, A., & Salazar, I. (2007). Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, 25(2), 127-134.
- Flórez, L. E., González, G., Pulido, S. P., Wyckhuys, K., Escobar, H., Salamanca, C., Zamudio, A., Jiménez, J., Gil, R., Fuentes, L. S., Niño, N., Fuentes, L., & Bojacá, C. (2012). Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). En R. H. Pinzón (Ed.), *Manual para el cultivo de hortalizas* (pp. 498-528). Produmedios.
- Fornaris, G. (2007). Características de la planta. *Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate de Ensalada*. Universidad de Puerto Rico.
- Franklin, K. A., & Whitelam, G. C. (2007). Red: far-red ratio perception and shade avoidance. *Light and plant development*, 211-234.
- Garza, L. J. (1985). Las Hortalizas Cultivadas en México, Características Botánicas. *Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México*.
- Gómez, M. (2012). *Calidad de fruto en 12 poblaciones silvestres de jitomate Solanum lycopersicum L var. cerasiforme (Dunal) del occidente de México* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara].
- Heuvelink, E., & Dorais, M. (2005). Crop growth and yield. In E. Heuvelink (Ed.), *Tomatoes* (pp. 85-144). Wallingford, UK: CABI.

- Heuvelink, E., & Okello, C. O. R. (2018). Developmental process. In E. Heuvelink, (Ed.), *Tomatoes* (2nd ed., pp. 59-88). Wallingford, UK: CABI.
- Heuvelink, E., Tao, L., & Dorais, M. (2018). Plant growth and yield. In E. Heuvelink (Ed.), *Tomatoes* (2nd ed., pp. 89-136). Wallingford, UK: CABI.
- Higashide, T. (2016). Factors pertaining to dry matter production in tomato plants (*Solanum lycopersicum*). In T. Higashide (Ed.), *Solanum lycopersicum* (pp. 1-23). Nova Publ.
- Higashide, T., Mochizuki, Y., Saito, T., Kawasaki, Y., Ahn, D. H., & Ohyama, A. (2017). Differential influences of leaf tip trimming on light interception and dry matter production in tomato Dutch cultivar Gourmet and Japanese cultivar Momotaro York. *Hort Science*, 52(5), 686-691.
- Higuchi, Y., & Hisamatsu, T. (2016). Light acts as a signal for regulation of growth and development. In T. Kosai, K. Fujiwara, & E. S. Runkle (Eds), *Led Lighting for Urban Agriculture* (pp. 57-73). Springer.
- Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Hortícola*, 205, 52-54.
- Inforural. (11 de junio 2021). *Se esperan alza en producción de jitomate: USDA*. Recuperado en: <https://www.inforural.com.mx/se-esperan-alza-en-produccion-de-jitomate-usda/#respond>
- INTAGRI. (2017). Soluciones Nutritivas para el Cultivo de Tomate. Serie Horticultura Protegida Núm. 33. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Extraído de: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/soluciones-nutritivas-para-el-cultivo-de-tomate>
- INTAGRI. (2018). El Cultivo de Tomate. Serie Hortalizas. Núm. 14. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 9 p. Extraído de: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/el-cultivo-de-tomate>
- Jayanti, A. S., & Pribadi, D. U. (2022). The effect of paclobutrazol concentration and types of organic liquid fertilizer on the growth and production of tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika*, 4(1), 48-60.
- Jean, M. P. (2007). *Cultivo de tomates*. Ediciones Omega.
- Jishi, T. (2018). Led lighting technique to control plant growth and morphology. In T. Kosai (Ed.), *Smart Plant Factory* (pp. 211-222). Springer.
- Jones, J. B. (2008). Plant Characteristics and Physiology. In J. B. Jones (Ed.), *Tomato plant culture in the field, greenhouse and home garden* (pp. 55-80). CRC Press.

- Jorge, S. M., & Sánchez, Del C. F. (2003). Densidad de Población, Arreglos de Dosel y Despuntes en Jitomate Cultivado en Hidroponía Bajo Invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(4), 257-262.
- Kim, S. E., Lee, M. Y., Lee, M. H., Sim, S. Y., & Kim, Y. S. (2014). Optimal management of tomato leaf pruning in rockwool culture. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55(6), 445-454.
- Kinet, J. M. (1977). Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae*, 6(1), 27-35.
- Kirkby, E. (2012). Introduction, Definition and Classification of Nutrients. In H. Marschner (Ed.), *Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed., pp. 3-5). Academic Press.
- León, G. H. M. (2001). *Manual para el cultivo de tomate en invernadero*. Gobierno de Chihuahua.
- Li, T., & Yang, Q. (2016). Diffusing the incident light: A potential measure for improving greenhouse production. In T. Higashide (Ed.), *Solanum lycopersicum* (pp. 25-36). Nova Publ.
- Li, T., Heuvelink, E., Dueck, T. A., Janse, J., Gort, G., & Marcelis, L. F. (2014). Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: Quantifying the contributing factors. *Annals of Botany*, 114(1), 145–156.
- Lorenzo, P., & Sánchez, G. M. C. (2004). Gestión del clima en el invernadero. En J. Z. Castellanos (Ed.), *Manual de Producción de Producción Hortícola en Invernadero* (2da ed., pp. 181-206). INTAGRI.
- Marrero L. P. (1986). *Influencia de Algunos Factores Ecológicos Sobre el Crecimiento del Jitomate*. Instituto Superior de Ciencias de La Habana.
- Mejia, B. F. De los A. (2020). *Manejo de esquejes enraizados para la producción de jitomate en alta densidad de población, bajo invernadero e hidroponía* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo].
- Méndez G., T., Sánchez del C., F., Sahagún C., J., & Contreras M., E. (2005). Doseles escalariformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este oeste. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 11(1), 185-192.
- Mendoza, C., Ramírez, C., Martínez, A., Rubiño, E., Trejo, C., & Vargas, A. (2018). Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 355-366.
- Miguel, Z., N., Ayala, G. O. J., Sánchez, Del C. F., & Magdaleno, V. J. J. (2021). Uso de retardadores de crecimiento vegetal en plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 27(3), 157-169.

- Mondragón, S. L. (2005). *Producción de jitomate en invernadero*. ICAMEX.
- Moreno, P, E. del C., Sánchez, Del C. F., Ruiz, D. M. & Contreras, M. E. (2021). Efecto de densidades de población y aplicaciones de paclobutrazol en calidad de plántula y rendimiento en jitomate. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 27(1), 5-17.
- Moreno, P. E. del C., Sánchez, Del C. F., González, M. L., Contreras, M. E., & Messina, F. R. (2016). Métodos de enraizamiento de esquejes para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico. *Revista Agroproductividad*, 9(10), 50-55.
- Muñoz, R. J. J. (2009). Manejo del Cultivo de Tomate en Invernadero. En J. Z. Castellanos (Ed.), *Manual de Producción de Tomate en Invernadero* (2da ed., pp. 45-104). INTAGRI.
- NUEZ, F. (2001). *El Cultivo del Tomate*. Mundi-Prensa.
- Nuño, M. R. (2007). *Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el Valle de Mexicali, Baja California*. Fundación Produce.
- Osuna, R. J. M. (2011). *Comparación de sistemas con y sin recirculación de la solución nutritiva en un cultivo hidropónico de jitomate* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo].
- Pan, T., Ding, J., Qin, G., Wang, Y., Xi, L., Yang, J., Li, J., Zhang, J., & Zou, Z. (2019). Interaction of supplementary light and CO₂ enrichment improves growth, photosynthesis, yield, and quality of tomato in autumn through spring greenhouse production. *HortScience*, 54(2), 246-252.
- Pavan, S., van Heusden, A. W., & Bai, Y. (2009). *Solanum lycopersicum* (tomato). eLS.
- Pedraza, S. E. A., & Cayón, S. D. G. (2010). Caracterización morfofisiológica de *Jatropha curcas* L. variedad Brasil cultivada en dos zonas de Colombia. *Acta Agronómica*, 59(1), 30-36.
- Pérez, G. M., & Castro, B. R. (2011). Jitomate en invernadero. *Universidad Autónoma Chapingo, Mex.*
- Pérez, J., Hurtado, G., Aparicio, V., Argueta, Q., & Larín, M. A. (2002). Guía Técnica Cultivo de Tomate. *Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, San Salvador*.
- Picken, A. J. F., Stewart, K., & Klapwijk, D. (1986). Germination and vegetative development. In J. G. Atherton, & J. Rudich (Eds.), *The tomato Crop* (. pp. 110-166). Chapman and Hall.
- Portillo, M. L. (2020). *Efectos de luz suplementaria sobre calidad de plántulas y número de flores por racimo en plantas de jitomate (Solanum lycopersicum L.)* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo].

- PROAIN. (2020). Condiciones ambientales óptimas para el cultivo de tomate en invernadero. Recuperado en: https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/condiciones-ambientales-optimas-para-el-cultivo-de-tomate-en-invernadero?gclid=Cj0KCQjwspKUBhCvARIsAB2IYutaZGxX-J8vmsgeApJfLrwsLnp1wA6GBKa1HgXbS4mJbeuoXFMF450aAm0jEALw_wcB
- Rangaswamy, T. C., Sridhara, S., Ramesh, N., Gopakkali, P., El-Ansary, D. O., Mahmoud, E. A., Abdelmohsen, S. A. M., Abdelbacki, A. M. M., Elansary, H. O., & Abdel, H. A. M. (2021). Assessing the Impact of Higher Levels of CO₂ and Temperature and Their Interactions on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plants*, 10(2), 256.
- Resh, H. M. (2004). *Cultivos Hidropónicos* (3ra ed.). Mundi-Prensa.
- Rodríguez, R. R., Tabares, R. J. M., & Medina, S. J. J. A. (1997). *Cultivo moderno del tomate* (2da ed.). Mundi-Prensa.
- Ruiz, D. M. (2019). *Efectos de Densidad de Población, Volumen de Contenedor, Paclobutrazol y Luz Suplementaria sobre Calidad de Plántula y Floración de Jitomate* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo].
- Russell, C. R., & Morris, D. A. (1983). Patterns of assimilate distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Annals of Botany*, 52(3), 357-363.
- Salas, S. M. D., & Urrestarazu, G. M. (2004). Métodos de riego y fertirrigación en cultivos sin suelo. En G. M. Urrestarazu (Ed.), *Tratado de cultivo sin suelo* (pp. 161-237). Mundi-Prensa.
- Sánchez, Del C. F. (1994). *Relaciones entre Fuente y Demanda en Jitomate Manejado con Despunte y Altas Densidades de Población* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Colegio de Postgraduados Campus Motecillos].
- Sánchez, Del C. F. (2016). *Validación Comercial de un Sistema de Producción de Jitomate Basado en la Formación de Doseles en Forma de Escalera: Informe Técnico del Proyecto de Transferencia de Tecnología 2015*. Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.
- Sánchez, Del C. F., & Moreno, P. E. (2017). *Diseño agronómico y manejo de invernaderos*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Sánchez, Del C. F., & Ponce, O. J. (1998). Densidad de plantación y nivel de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 4(2), 69-93.
- Sánchez, Del C. F., Bastida, O. A., Moreno, P. E. del C., Contreras, M. E., & Sahagún, C. J. (2014b). Rendimiento de jitomate con diferentes métodos

- de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 20(3), 239-251.
- Sánchez, Del C. F., & Corona, S. T. (1994). Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despunte y altas densidades. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 1(2), 109-114.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., & Contreras, M. E. (2012a). Desarrollo de Sistemas de Cultivos Alternativos para la Producción Comercial de Hortalizas en Hidroponía. *Acta Horticulturae*, 947, 179-187.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., Morales, M. A., Peña, L. A., & Colinas, L. M. T. (2012b). Densidad de población y volumen de sustrato en Plántulas de Jitomate (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.). *Agrociencia*, 46(3), 255-266.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., Pineda, P. J., Osuna, R. J. M., Rodríguez, P. J. E., & Osuna, E. T. (2014a). Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia*, 48(2), 185-197.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., Vázquez, R. J. C., & González, N. M. A. (2017b). Densidades de población y niveles de despunte para variedades contrastantes de jitomate en invernadero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 23(3), 163-174.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E., Coatzín, R. R., Colinas, L. M. T., & Peña, L. A. (2010). Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 16(3), 207-214.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E., Pastor, Z. O., & Contreras, M. E. (2017a). Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 333-340.
- Sánchez, Del C. F., Ortiz, C. J., Mendoza, C. C., González, H. V., & Bustamante, O. J. (1998). Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotecnia Mexicana*, 21(1), 1-13.
- Sánchez, Del C. F., Portillo, M. L., Moreno, P. E. del C., Magdaleno, V. J. J., & Vázquez, R. J. C. (2021a). Efectos del volumen de contenedor y densidad de plántula sobre trasplante tardío y número de flores en jitomate. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 27(2), 71-84.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., & Cruz, A. 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, P. A. (2004). Análisis y diagnóstico nutricional en los cultivos sin suelo. En G. M. Urrestarazu (Ed.), *Tratado de Cultivo sin Suelo* (3ra ed., pp. 49-79). Mundi-Prensa.
- Santos, B. M., & Torres, Q. E. A. (2018). Irrigation and fertilization. In E. Heuvelink (Ed.), *Tomatoes* (2nd ed., pp. 180-260). Wallingford, UK: CABI.
- Shalaby, T. A., Taha, N. A., Taher, D. I., Metwaly, M. M., El-Beltagi, H. S., Rezk, A. A., & Bayoumi, Y. A. (2022). Paclobutrazol improves the quality of tomato seedlings to be resistant to *Alternaria solani* Blight disease: Biochemical and histological perspectives. *Plants*, 11(3), 425.
- Shishido, Y., Scyama, N., Imada, S., & Hori, Y. (1989). Carbon budget in tomato plants as affected by night temperature evaluated by steady state feeding with 14CO_2 . *Annals of Botany*, 63(3), 357-367.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Panorama Agroalimentario. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/511195869/Atlas-Agroalimentario-2020>
- Silva, A. G. E. (2021). *Híbridos de jitomate sometidos a periodos de alta densidad de población en condiciones de invernadero* [Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo].
- Smith, H., & Whitelam, G. C. (1997). The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant, Cell & Environment*, 20(6), 840-844.
- Sonnewald, U., & Willmitser, L. (1992). Molecular approaches to sink-source interactions. *Plant Physiology*, 99(4), 1267-1270.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology* (3rd ed.). Sinauer Associates, Massachusetts.
- Taiz, L., Zeiger, E., Ian, M., & Morphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6a ed.). Sinauer Associates Incorporated.
- Ucán, Ch. I., Sánchez, Del C. F., Contreras, M. E., & Corona, S. T. (2005). Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en jitomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 33-38.
- Vázquez, J., Sánchez, Del C. F., & Moreno, P. E. del C. (2007). Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 13(1), 55-62.
- Wien, H. C. (1999). Transplanting. In H. C. Wien (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops*. CABI Publishing.
- Xiao, S., Van der Ploeg, A., Bakker, M., & Heuvelink, E. (2004). Two instead of three leaves between tomato trusses: measured and simulated effects on partitioning and yield. *Acta Horticulturae*, 654(35), 303-308.