



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



INSTITUTO DE HORTICULTURA

**MANEJO DE ESQUEJES ENRAIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN
DE JITOMATE EN ALTA DENSIDAD DE POBLACIÓN, BAJO
INVERNADERO E HIDROPONÍA**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

FRANCISCA DE LOS ÁNGELES MEJÍA BETANCOURT

Bajo la supervisión del Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez



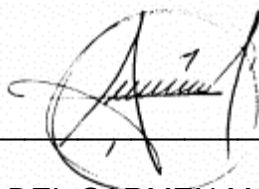
Chapingo, Texcoco, Edo México, diciembre de 2020

**MANEJO DE ESQUEJES ENRAIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE
JITOMATE EN ALTA DENSIDAD DE POBLACIÓN, BAJO INVERNADERO E
HIDROPONÍA**

Tesis realizada por **Mejía Betancourt Francisca de los Ángeles** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

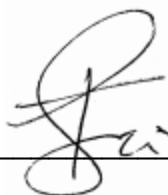
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. ESAÚ DEL CARMEN MORENO PÉREZ

ASESOR:



DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO

ASESOR:



DRA. LUCILA GONZÁLEZ MOLINA

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2020

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA

ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
DEDICATORIA	x
RESUMEN GENERAL.....	xiv
GENERAL ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. OBJETIVO GENERAL.....	6
III. HIPÓTESIS GENERAL.....	6
IV. REVISIÓN GENERAL DE LITERATURA	7
V. LITERATURA CITADA.....	18
CAPÍTULO 1. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE PLANTAS DE JITOMATE PROVENIENTES DE ESQUEJES Y SEMILLAS.....	23
1.1. RESUMEN	23
1.2. INTRODUCCIÓN.....	24
1.3. OBJETIVOS	25
1.4. HIPÓTESIS	26
1.5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
1.5.1. Ubicación del experimento	27
1.5.2. Material biológico utilizado.....	27
1.5.3. Descripción de los tratamientos y diseño experimental.	27
1.5.4. Variables evaluadas en etapa de semillero.....	28
1.5.5. Variables evaluadas en etapa reproductiva	29
1.5.6. Conducción del experimento	31
1.5.7. Análisis de datos	41
1.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
1.6.1. Variables evaluadas en etapa de semillero.....	42
1.6.2. Variables evaluadas en etapa reproductiva	49
1.7. CONCLUSIONES.....	64
1.8. LITERATURA CITADA	65
CAPÍTULO 2. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE PLANTAS DE JITOMATE PROVENIENTES DE ESQUEJES ENRAIZADOS EN SOLUCIÓN NUTRITIVA Y EN SUSTRATOS HIDROPÓNICOS	69

2.1.	RESUMEN	69
2.2.	INTRODUCCIÓN.....	70
2.3.	OBJETIVO.....	73
2.4.	HIPÓTESIS	73
2.5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	73
2.5.1.	Ubicación del experimento	73
2.5.2.	Material biológico utilizado.....	74
2.5.3.	Descripción de los tratamientos y diseño experimental	74
2.5.4.	Variables evaluadas en etapa de semillero.....	75
2.5.5.	Variables evaluadas en etapa reproductiva	75
2.5.6.	Conducción del experimento	77
2.5.7.	Análisis de datos	83
2.6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
2.6.1.	Variables evaluadas en el semillero	84
2.6.2.	Variables evaluadas en etapa reproductiva.....	87
2.7.	CONCLUSIONES.....	91
2.8.	LITERATURA CITADA	92
CAPÍTULO 3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE PLANTAS DE JITOMATE PROCEDENTES DE ESQUEJES ENRAIZADOS CON Y SIN ELIMINACIÓN DE INFLORESCENCIAS		96
3.1.	RESUMEN	96
3.2.	INTRODUCCIÓN.....	97
3.3.	OBJETIVO.....	99
3.4.	HIPÓTESIS	99
3.5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	99
3.5.1.	Ubicación del experimento	99
3.5.2.	Material biológico utilizado.....	100
3.5.3.	Descripción de tratamientos y diseño experimental	100
3.5.4.	Variables evaluadas en etapa de semillero.....	101
3.5.5.	Variables evaluadas en etapa reproductiva	102
3.5.6.	Conducción del experimento	103
3.5.7.	Análisis de datos	109
3.6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	110
3.6.1.	Variables evaluadas en etapa de semillero.....	110
3.6.2.	Variables evaluadas en etapa reproductiva.....	111

3.8. CONCLUSIONES.....	118
3.7. LITERATURA CITADA.....	118
VI. CONCLUSIÓN GENERAL	122
VII. RECOMENDACIONES GENERALES.....	122

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados.	28
Cuadro 2. Concentración y fuentes fertilizantes de la solución nutritiva utilizada durante el desarrollo de las plantas de jitomate.	37
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.	42
Cuadro 4. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.	44
Cuadro 5. Cuadrados medios de las medias de los tratamientos para variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate proveniente de esquejes y de semillas.....	44
Cuadro 6. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de esquejes y semilla en la variedad Pai Pai.	45
Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de esquejes variedad Pai Pai.	46
Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de semilla variedad Pai Pai.	46
Cuadro 9. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de esquejes variedad Pai Pai.	49
Cuadro 10. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de semilla en la variedad Pai Pai.	49
Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.	50
Cuadro 12. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.	51
Cuadro 13. Cuadrados medios de las medias de los tratamientos para variables morfológicas y días a antesis evaluadas en etapa reproductiva de plántulas de jitomate proveniente de esquejes y de semillas.	52
Cuadro 14. Comparación de medias de tratamientos para variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai.	53

Cuadro 15. Cuadrado medios del análisis de varianza para variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai	53
Cuadro 16. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de semilla variedad Pai Pai.	54
Cuadro 17. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva en plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai.	55
Cuadro 18. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva en plantas de jitomate provenientes de semilla variedad Pai Pai.	56
Cuadro 19. Cuadrados medios de los análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plántulas de jitomate cultivar Pai Pai..	58
Cuadro 20. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas para el rendimiento y sus componentes del cultivo de jitomate variedad Pai Pai	59
Cuadro 21. Cuadrados medios de las medias de los tratamientos para variables de rendimiento y sus componentes evaluadas en etapa reproductiva de plántulas de jitomate proveniente de esquejes y de semillas.	60
Cuadro 22. Comparación de medias de tratamientos para variables del rendimiento y sus componentes evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai.....	61
Cuadro 23. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de esquejes.	62
Cuadro 24. Cuadrados medios de los análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de semilla cultivar Pai Pai.....	62
Cuadro 25. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas del rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de esquejes.	63
Cuadro 26. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas del rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de semilla variedad Pai Pai.	64
Cuadro 27. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.	85
Cuadro 28. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.	87

Cuadro 29. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.	88
Cuadro 30. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.	89
Cuadro 31. Cuadrados medios de los análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plántulas de jitomate cultivar Pai Pai.	90
Cuadro 32. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas para el rendimiento y sus componentes del cultivo de jitomate variedad Pai Pai.	91
Cuadro 33. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.	110
Cuadro 34. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero en plántulas de jitomate variedad Pai Pai.	110
Cuadro 35. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.	111
Cuadro 36. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.	112
Cuadro 37. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes por racimo en plantas de jitomate variedad Pai Pai.	113
Cuadro 38. Comparación de medias entre tratamientos de variables del rendimiento y sus componentes por racimo en plantas de jitomate variedad Pai Pai.	114
Cuadro 39. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables del rendimiento y sus componentes por planta en jitomate variedad Pai Pai.	117
Cuadro 40. Comparación de medias entre tratamientos de variables del rendimiento y sus componentes por planta en jitomate variedad Pai Pai.	117

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Trasplante (a) y crecimiento de las plantas madre para obtención de esquejes (b).....	31
Figura 2. Infraestructura del microtúnel (a), ubicación de la malla sombra (b) y desinfección del microtúnel (c).	32
Figura 3. Brotes de jitomate para su enraizado (a) y brote de jitomate con corte diagonal en la parte basal (b).	33
Figura 4. Establecimiento de los tratamientos de esquejes (a) y de semilla (b) de jitomate.....	34
Figura 5. Aclimatación de esquejes enraizados de jitomate.....	35
Figura 6. Condiciones para la germinación de la semilla.	35
Figura 7. Trasplante en camas de tezontle rojo.	36
Figura 8. Tutorado de las plantas con hilo de rafia y anillos de plástico.	38
Figura 9. Despunte de las plantas de jitomate dejando dos hojas por arriba del tercer racimo.....	38
Figura 10. Eliminación de brotes laterales de las plantas en todos los tratamientos	39
Figura 11. Práctica del deshoje de las plantas en el cultivo de jitomate.....	40
Figura 12. Diferencias en crecimiento y desarrollo de plántulas de esqueje con trasplante a los 20 (a) y 45 (b) días después de iniciado el enraizado.	47
Figura 13. Diferencias en crecimiento y desarrollo de plántulas de semilla con trasplante a los 30 (a), 35 (b) y 45 días después de la siembra (c).	48
Figura 14. Tratamiento de esqueje con trasplante a los 20 (a) y 45 días después de iniciado el enraizado (b).	55
Figura 15. Rendimiento del tratamiento de esqueje trasplantado a los 20 días después de iniciado el enraizado, y el tratamiento de semilla con trasplante a los 45 días después de la siembra (b).	59
Figura 16. Características ideales para la colecta de un brote lateral.	79
Figura 17. Establecimiento de los tratamientos, a: T1 (en solución nutritiva), b: T2 (peat moss), c: T3 (tezontle rojo) y d: T4 (mezcla peat moss + tezontle rojo).	79
Figura 18. Aclimatación de esquejes enraizados en sustrato (A) y Aclimatación de esquejes enraizados en solución nutritiva (B).	81
Figura 19. Trasplante en camas de tezontle rojo.	81
Figura 20. Esquejes enraizados en solución nutritiva, lista para medir el volumen de raíz.	85
Figura 21. Diferencia de altura por efecto de los diferentes tratamientos: a) Solución nutritiva, b) Peat-moss, c) Tezontle rojo y c) Mezcla de tezontle+ peat-moss.....	86

Figura 22. Representación esquemática de tratamientos donde a: Sin eliminación de inflorescencias, b: Eliminación de la primera inflorescencia y c: Eliminación de las dos primeras inflorescencias al momento del corte o antes del trasplante.	101
Figura 23. Trasplante de plantas madre en camas de tezontle rojo.	104
Figura 24. Enraizamiento de esquejes de jitomate dentro del microtúnel.....	105
Figura 25. Eliminación manual de las inflorescencias en esquejes de jitomate.	106
Figura 26. Área de aclimatación de esquejes enraizados de jitomate.	107
Figura 27. Tratamiento sin eliminación de inflorescencias con alta aborción de flores.....	115
Figura 28. Rendimiento del racimo tres, a: Tratamiento sin eliminación de inflorescencia, b: Tratamiento con eliminación de la primera inflorescencia y c: Tratamiento con eliminación de las dos primeras inflorescencias.	116

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño a mi madre: **Petrona Betancourt Mendoza**, quién siempre ha luchado hasta donde sus facultades se lo permiten por brindarme su apoyo en todos los sentidos para alcanzar mis sueños.

A mis hermanas y hermanos por estar para mí siempre.

A la señora **María Teresa Gutiérrez** que desde el cielo celebra conmigo este nuevo logro y siempre estuvo para apoyarme y aplaudir mis éxitos.

A la familia **Alvarado Rodríguez** por su apoyo incondicional y motivación de siempre.

Al Dr. **Efraín Contreras Magaña** por la motivación, consejos y apoyo incondicional en la ejecución de mi experimento y durante la estadía en México, sé que desde el cielo aplaude mi logro.

A todos mis compañeros, amigos, maestros y colegas quiénes celebran cada logro y me motivan siempre a luchar por alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que es el que me ha dado la sabiduría y me bendijo con mucha paciencia y optimismo para culminar mis estudios de maestría.

A toda Familia Betancourt-Mendoza, Alvarado-Rodríguez por sus oraciones, apoyo y motivación para seguirme profesionalizando.

A las autoridades, colegas y amigos de la Universidad Nacional Agraria, por alegrarse por mis logros y brindarme palabras de ánimo y motivación. En especial al Ing. Gregorio Varela, Aleida López, Jael Cruz, Carolina Padilla, Mercedes Ordoñez y Juan Avelares.

A la familia Carbajal-Murillo por su apoyo incondicional y hacer que me sintiera parte de su familia durante toda mi estancia en México.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad de estudiar y seguir creciendo en conocimientos y experiencias que me fortalecen como profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico, lo que facilitó mi estadía durante el desarrollo de mis estudios.

Al comité de asesores que, dispusieron sus conocimientos y experiencias para conducirme hacia el desempeño y finalización de la investigación en especial a:

Al Dr. Esaú Moreno por su apoyo durante la conducción y manejo del experimento, así como sus recomendaciones para elaborar un mejor escrito de tesis.

Al Dr. Felipe Sánchez por compartir su admirable experiencia y su conocimiento para lograr una buena ejecución y desarrollo del trabajo de tesis.

Al Dr. Efraín Contreras, por tener ese espíritu de ayudar siempre y por compartir no solo conocimientos valiosos, sino parte de la cultura y gastronomía de este bello país.

Al Dr. Juan Martínez, por su apoyo, gestión y atenciones durante todo el proceso de visado y sus consejos durante todo el proceso de maestría.

A todo el equipo del posgrado de Fitotecnia, al Dr. Oscar Mascorro, Rogelio Deheza, María de los Ángeles Pérez y Ana Robles, por su apoyo en todos los tramites durante los dos años de estudio.

A mis amigos y compañeros Rommel Alvarado, Jhusua Reina, Juana Pérez, César Barrera, Nancy y Laura por su apoyo durante la conducción y manejo del experimento.

Gracias a todos los que han puesto un granito de arena para el alcance de todas las metas propuestas.

DATOS BIOGRÁFICOS

Francisca de los Ángeles Mejía Betancourt, nació el 27 de enero de 1990 en la ciudad Chinandega-Nicaragua, realizó los estudios de primaria y secundaria en la comunidad de villa 15 de Julio-Chinandega en la Escuela Dr. Timoteo Baca S. y el Instituto Juan Francisco Martínez Castro respectivamente. En el año 2009 se graduó con méritos académicos de Técnico Agropecuario del IPADEN-Matagalpa. Realizó los estudios universitarios en la Universidad Nacional Agraria ubicada en Managua-Nicaragua, graduada con la distinción “Cum Laude” como Ing. Agrónoma en el 2016, mismo año en que inició a laborar como docente del Departamento de producción Vegetal en la Facultad de Agronomía en esa misma casa de estudios. Durante el periodo 2019-2020, realizó estudios a nivel Maestría en el Posgrado de Horticultura del Departamento de Fitotecnia, en la Universidad Autónoma Chapingo, en México.

RESUMEN GENERAL

MANEJO DE ESQUEJES ENRAIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE EN ALTA DENSIDAD DE POBLACIÓN, BAJO INVERNADERO E HIDROPONÍA

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza de importancia nacional y mundial, y la más cultivada bajo invernadero. En la Universidad Autónoma Chapingo se ha desarrollado tecnología de producción hidropónica bajo invernadero orientada a incrementar el rendimiento del cultivo y a acortar su ciclo mediante trasplantes tardíos, despunte de las plantas a tres racimos y alta densidad de población, obteniéndose rendimientos de 500 t·ha⁻¹·año⁻¹. Sin embargo, esta tecnología ocupa elevadas cantidades de semilla híbrida de alto precio, lo que incrementa los costos de producción. En esta investigación se establecieron tres experimentos para contribuir al desarrollo de un protocolo de producción de esquejes como alternativa al uso de semilla botánica. Se evaluó el crecimiento y rendimiento de plantas provenientes de esquejes con seis edades de trasplante: 20, 25, 30, 35, 40 y 45 días respecto a plantas obtenidas de semilla híbrida con cuatro edades: 30, 35, 40 y 45 días; se compararon esquejes enraizados en sustratos sólidos: Peat-Moss, tezontle rojo y mezcla de éstos, contra esquejes enraizados directamente en solución nutritiva; además se evaluó el efecto de podar una, dos o ninguna inflorescencia del esqueje sobre dichas variables. En cada experimento se utilizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y diez plántulas por unidad experimental. Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$). En cada caso se obtuvieron plántulas de calidad para el trasplante sin efectos importantes de tratamientos. Entre plantas provenientes de esquejes y de semillas no hubo diferencias en rendimiento y sus componentes; tampoco hubo diferencias debidas al enraizamiento en sustratos sólidos o en solución nutritiva, o por la remoción o no de inflorescencias del esqueje. Se concluyó que los esquejes enraizados son una alternativa viable para la producción de jitomate en altas densidades de población.

Palabras claves: Edad del esqueje, enraizamiento de esquejes, poda de inflorescencia, altos rendimientos.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Francisca de los Ángeles Mejía Betancourt

Director de tesis: Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez.

GENERAL ABSTRACT

MANAGEMENT OF ROOTED CUTTINGS FOR THE PRODUCTION OF TOMATO IN HIGH PLANT POPULATION DENSITY GROWN IN GREENHOUSE AND HYDROPONICS

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a national and worldwide important vegetable, and it is the most grown in greenhouses. At Chapingo Autonomous University a production technology using greenhouses and hydroponics has been developed to increase tomato crop yields by shortening its production cycle, delaying transplantation, pruning plants to the third flowering cluster, and planting high population densities, which has reached estimated yields of 500 t·ha⁻¹·year⁻¹. However, this production technology demands high amounts of high-priced hybrid seed that increases production costs. To avoid using botanic seed three experiments were established to contribute to develop a tomato cuttings production protocol. Therefore, plants of 20, 25, 30, 35, 40, and 45 days old obtained by cuttings were contrasted with 30, 35, 40, and 45 days old plants obtained by hybrid seeds. The performance of cuttings rooted in solid substrates: Peat-Moss, red tezontle sand, and the mixture of these were compared with cuttings rooted directly in a nutrient solution. Besides, in plants originated from rooted cuttings, the effect of eliminating the first, second, or any inflorescence before pruning the plant to the third flowering cluster was evaluated. For each experiment, a randomized complete block design with four replicates containing 10 plants per experimental unit was used, and an analysis of variance and a Tukey's means comparison test ($p \leq 0.05$) were performed. Quality plants were obtained for transplanting regardless of the treatments. There were not any differences in yield and their components neither between plants originated from cuttings or seedlings, nor due to the rooting media, nor the level of flowering cluster pruning. It was concluded that rooted cuttings are a viable alternative to produce tomato in high population densities.

Key words: Cutting age, cutting rooting, inflorescence pruning, high yields.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) es considerada la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional e internacional, debido a su amplio consumo, área cosechada y valor económico de la producción (Escobar y Lee, 2009). México es el principal exportador de tomate rojo a nivel mundial; en 2017 participó con 24 % de las exportaciones totales (TRADEMAP, 2018), siendo los principales estados productores San Luis Potosí, Michoacán, Zacatecas, Puebla y Coahuila (SIAP, 2019).

Debido a los problemas que enfrenta la agricultura extensiva como la precipitación errática, granizadas, heladas tempranas y tardías, alta incidencia de plagas y enfermedades, entre otros, la producción bajo invernadero ha ido ganando terreno a la producción a cielo abierto; en particular el uso de invernaderos y casa sombra ha crecido grandemente en los últimos años (Sánchez y Moreno, 2017).

El sistema de producción de tomate rojo bajo invernadero comúnmente usado por muchas empresas en México y en el mundo se basa en el manejo de las plantas a densidades de 2 a 3 plantas/m² (20,000 a 30,000 plantas·ha⁻¹ en un ciclo de un año), lográndose cosechar de 15 a 25 racimos por planta y rendimientos de hasta 500 t·ha⁻¹·año⁻¹ (Hanan, 1998; Resh, 2001; Chapagain y Wiesman, 2004; Mendoza *et al.*, 2018).

En México y en muchos países de América, la mayoría de los productores de tomate en invernadero son pequeños, y sus productos son destinados para mercados nacionales, cuyos precios son fluctuantes e inestables a lo largo del año. Por ello, el problema principal para la adopción de este sistema de producción, es que es difícil de implementar debido a que la infraestructura y el equipo requerido es costoso, lo que conlleva a costos de producción por kilogramo de fruto producido muy elevado y sólo son económicamente redituables cuando se puede acceder a mercados de exportación o mercados selectos que pueden pagar precios altos (Sánchez *et al.*, 2014).

Sánchez *et al.* (2017) y De Anda (2018), mencionan que el sistema tiene también otros problemas, como la dificultad técnica de mantener sanas a las plantas por el ciclo de cultivo tan largo, donde tan sólo el periodo de inicio a fin cosecha dura de 5 a 7 meses.

Reportes de investigaciones realizadas por Sánchez *et al.* (2010), Sánchez *et al.* (2012); Sánchez *et al.* (2015) y Moreno *et al.* (2021), muestran que han logrado desarrollar y validar comercialmente tecnologías alternativas de producción hidropónica de jitomate bajo invernadero, orientadas a incrementar el rendimiento por unidad de superficie y acortar el ciclo de cultivo mediante trasplante tardío, despunte del ápice de las plantas al tercer racimo y establecimiento del cultivo en altas densidades de población (8 a 10 plantas/m² de invernadero). Comparado con un sistema convencional de ciclo largo y baja densidad de población, el rendimiento por planta es mucho menor, pero por unidad de superficie se compensa parcialmente al utilizar mayor densidad de población, lo cual es posible debido a la menor área foliar que desarrollan las plantas despuntadas a dicha altura. De esta manera, el ciclo de cultivo de trasplante a cosecha se acorta tanto que se hace posible lograr tres o hasta cuatro ciclos de cultivo por año, y con ello obtener una productividad anual superior a la del sistema convencional (Cancino *et al.*, 1991; Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez y Ponce, 1998; Moreno *et al.*, 2021 y Sánchez *et al.*, 2021).

Al reducirse el ciclo del cultivo también disminuyen los problemas fitosanitarios y se concentra la cosecha en un periodo más corto de tiempo (20 a 30 días), lo que permite programar la cosecha cuando el precio en el mercado es alto, dándole al productor un mayor beneficio económico (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 2015).

También se ha logrado incrementar el rendimiento por unidad de superficie de este sistema mediante un aprovechamiento más eficiente de la radiación solar incidente al acomodar las plantas en hileras a distinta altura, a modo de construir un dosel en forma de escalera (sistema escaleriforme), lo que ha permitido el uso de una mayor densidad de población (hasta 12 plantas/m²) sin afectar

significativamente el peso o la calidad del fruto (Méndez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2014; Sánchez *et al.*, 2015).

Con la tecnología desarrollada hasta hoy con este último sistema, contando con un buen equipo de control climático, o en localidades con un clima benigno que permite mantener condiciones apropiadas de crecimiento todo el año dentro de los invernaderos, potencialmente se ve posible lograr entre 20 y hasta 30 kg·m⁻² por ciclo, para tomate tipo saladette y bola, respectivamente, es decir, entre 60 y 90 kg·m⁻²·año⁻¹, equivalente a 600 y 900 t·ha⁻¹·año⁻¹) al establecerse tres ciclos anuales (Méndez *et al.*, 2005; Vázquez *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2017), que es aproximadamente el doble de lo que se produce con sistemas convencionales con mediana a alta tecnología, donde sólo se produce un ciclo por año (Castellanos y Borbón, 2009).

A pesar de los altos rendimientos, calidad de frutos, y beneficios adicionales que ofrece el sistema de manejo de plantas despuntadas solamente al tercer racimo y alta densidad de población, un inconveniente es que se ocupa una alta cantidad de semilla, normalmente híbridos (hasta 240,000 semillas por hectárea al establecerse tres ciclos de cultivo por año). Hay que considerar que las semillas híbridas altamente productivas que comercializan las casas semilleras trasnacionales, son costosas, lo que incrementa de manera significativa el costo de producción por kilogramo producido (Moreno *et al.*, 2016).

Para optimizar el sistema de producción alternativo mencionado y bajar los costos de producción se ha propuesto propagar vegetativamente las plantas mediante el uso de esquejes enraizados a partir de brotes laterales que generalmente son eliminados durante las labores del cultivo (poda de brotes laterales o del ápice de la planta) en vez del uso de semilla botánica, que como ya se señaló, resulta muy costosa.

De acuerdo con experiencias comerciales, una plántula lista para su trasplante obtenida por esquejes enraizados tiene un costo aproximado de \$1.00, mientras que, en las provenientes de semilla híbrida, dependiendo de la variedad, el costo oscila entre \$3.00 y \$6.00. También se sabe que el rendimiento y la calidad de

fruto de jitomate que se logra con el uso de esquejes enraizados es similar al que se obtiene con plántulas provenientes de semilla, con la ventaja adicional de que mediante esquejes, el periodo de manejo en el semillero se reduce e incluso las plantas llegar a iniciar su producción en menos tiempo (Bruin y Sande, 1986).

Además de las experiencias comerciales, se han realizado experimentos encaminados a establecer un protocolo para la obtención de esquejes de alta calidad, contándose ya con resultados preliminares del manejo ambiental, en particular sobre el uso de enraizadores, el efecto de la poda de hojas del brote, el tamaño del esqueje a enraizar, el volumen de sustrato y la densidad de población sobre la calidad de esquejes y rendimiento posterior (Juárez *et al.*, 2000; Gómez, 2018). Sin embargo, hay aspectos del manejo de los esquejes que aún es necesario estudiar a fin de optimizar dicho protocolo.

En primer lugar, se hace necesario estudiar y comparar el crecimiento y comportamiento agronómico que tienen las plántulas que provienen de esqueje con respecto a las que provienen de semilla.

También se debe evaluar la calidad de plántula que se puede obtener de esquejes enraizados en sustratos convencionales o directamente en solución nutritiva, comparando su efecto en el crecimiento y rendimiento posterior.

Por otro lado, se sabe que los brotes laterales o terminales ya tienen iniciadas inflorescencias que pueden aparecer a nivel macroscópico, pero no se ha evaluado el efecto que podría tener remover una o dos de estas inflorescencias para favorecer el crecimiento vegetativo y tener un aparato fotosintético capaz de llenar los frutos en las inflorescencias dejadas más adelante.

Es por ello que, en este trabajo de investigación, se planteó el establecimiento de tres experimentos con la finalidad de contribuir en el desarrollo de un protocolo de producción de esquejes de tomate rojo, y poder implementar el manejo del este cultivo en altas densidades de población con despunte del ápice para dejar solamente tres racimos por planta sin que la obtención de plántulas represente un costo tan elevado.

El escrito de este documento de tesis comprende tres experimentos, mismos que se presentan como capítulos independientes, cada uno de los cuales está estructurado con resumen, introducción, objetivos, hipótesis, materiales y métodos, resultados y discusión, así como la literatura citada. Estos están titulados de la siguiente manera:

Experimento I: Comportamiento agronómico de plantas de jitomate provenientes de esquejes y semillas.

Experimento II: Comportamiento agronómico de plantas de jitomate provenientes de esquejes enraizados en solución nutritiva y en sustratos hidropónicos.

Experimento III: Comportamiento productivo de plantas de jitomate procedentes de esquejes enraizados con y sin eliminación de inflorescencias.

II. OBJETIVO GENERAL

Contribuir al desarrollo de un protocolo de producción de esquejes de jitomate como alternativa ante el uso de semilla botánica híbrida de alto costo para el manejo del cultivo en altas densidades de población, mediante el estudio comparativo de esquejes y semillas con diferentes edades de trasplante, sustratos para el enraizamiento y eliminación o no de las primeras inflorescencias del esqueje y su efecto sobre el comportamiento morfológico y productivo.

III. HIPÓTESIS GENERAL

Es posible utilizar esquejes enraizados de jitomate en lugar de semilla botánica, considerando que con un manejo adecuado se pueden obtener plántulas de calidad y con buen comportamiento productivo posterior.

IV. REVISIÓN GENERAL DE LITERATURA

4.1. Importancia del cultivo

El tomate o jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es considerado la hortaliza de mayor importancia en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda se eleva continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio (López, 2011). El crecimiento de la producción mundial ha sido promovido principalmente por el incremento de productividad promedio por unidad de superficie. En lo que respecta al consumo, este ha mostrado mayor dinamismo en países como China e India (FIRA, 2019).

Según la FAO (2012), La producción mundial de esta hortaliza, se elevó a 211,021,843 toneladas, destacándose China como el primer productor de este cultivo en el mundo con 50,125,055 toneladas, seguido por India con 17,500,000 toneladas y Estados Unidos, 13,206,950 toneladas. México ocupa la décima posición con 3,433,567 toneladas.

El cultivo de jitomate es un rubro muy relevante para la economía de México, no sólo por su importancia económica, sino también por su impacto social ya que toda la cadena del cultivo es ocupadora de mano de obra. Según el SIAP (2019), México es el principal exportador de esta hortaliza a nivel mundial. En el ciclo primavera-verano se obtuvo una superficie cosechada de 23,284 hectáreas y una producción acumulada de 1,902,276 toneladas, siendo los principales estados productores San Luis Potosí, Michoacán, Zacatecas, Puebla y Coahuila.

4.2. El cultivo del tomate bajo agricultura protegida

A pesar de que el jitomate es un cultivo de relevancia nacional e internacional, existe un gran número de factores ambientales y edáficos que provocan que los rendimientos se abatan y que su producción sea riesgosa. Como solución, la agricultura protegida reúne una serie de tecnologías de vanguardia entre las que

se encuentran los invernaderos, estructuras con cubiertas que controlan los principales factores ambientales de la parte aérea de las plantas, y la hidroponía o cultivo sin suelo, que controla el ambiente de la raíz (Urrestarazu, 2004). En conjunto, ambas tecnologías, invernadero e hidroponía, han dado excelentes resultados con producciones muy superiores a las obtenidas a campo abierto. Además, con estas técnicas es posible obtener cultivos fuera de temporada (Velasco *et al.*, 2011).

4.3. Sistema de producción convencional de Jitomate

El sistema de producción de jitomate en invernadero que normalmente se práctica en Europa y Norteamérica consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado con frutos de tipo bola y, recientemente roma o saladette. Las plantas son sembradas en suelo mejorado o, más frecuentemente, en sustratos hidropónicos a densidades de 2 a 3 plantas·m⁻², y se dejan crecer más de tres metros de altura (bajando después la planta) para cosechar de 15 hasta 25 racimos por planta en un ciclo de cultivo por año; el rendimiento promedio anual en este sistema fluctúa de 200 a 400 t·ha⁻¹ (Van de Vooren *et al.*, 1986; Hannan, 1998; Resh, 2001; Peet y Welles, 2005; Mendoza *et al.*, 2018).

En el centro del país, por las condiciones climáticas prevalecientes, generalmente la mayoría de los productores de jitomate en invernadero acoplan el sistema de producción a un calendario en donde la cosecha inicia a finales de junio y que puede terminar a fines de noviembre o mediados de diciembre, cuando se cuenta con algún sistema de calefacción o las temperaturas lo permiten (Bastida, 2011; Sánchez y Moreno, 2017).

El problema principal de este sistema de producción, es que es técnicamente difícil de manejar y la infraestructura y equipo requerido es costoso, por lo que los costos de producción por kilogramo de fruto producido son altos y sólo son económicamente redituables cuando se puede acceder a mercados de exportación o mercados selectos que pueden pagar precios altos por los

productos cosechados (Sánchez *et al.*, 2014). Entre los problemas técnicos más difíciles del sistema, se pueden mencionar el bajado de las plantas que es una labor en la que se ocasionan daños físicos a las plantas y caída de frutos, en consecuencia, disminuciones en el rendimiento final; el otro aspecto es la dificultad de mantener las plantas sanas durante todo el ciclo de cultivo tan largo que se maneja (Sánchez *et al.*, 2017; De Anda, 2018).

4.4. Sistema de producción basado en altas densidades de población y ciclos cortos

Es un paquete tecnológico que se ha venido desarrollando por investigadores de la Academia de Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Chapingo, y se ha propuesto como una alternativa más apropiada para productores con recursos económicos limitados, permitiéndoles derivar un beneficio económico importante de pequeñas superficies (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez y Ponce, 1998; Jorge y Sánchez, 2003; Sánchez *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2017). Este sistema de producción está basado en las siguientes estrategias:

1. Hacer el trasplante con plántulas de 45-50 días después de la siembra, en vez de los 25 a 30 días que se manejan con los sistemas convencionales de producción.
2. Eliminar la yema terminal de las plantas una o dos hojas por encima de la tercera inflorescencia, la cual requiere de sólo 20-30 días de inicio a fin de cosecha, en lugar de los siete meses que se ocupan para cosechar en el sistema convencional.
3. Se establecen de 8 a 10 plantas m⁻² de invernadero, que es posible gracias a la poca área foliar que cada planta forma al ser despuntada a la altura del tercer racimo.

4.4.1. Ventajas del sistema

- a) Se concentra la producción en breves intervalos de tiempo que se pueden hacer coincidir con las ventanas en que los precios de venta son elevados, para mayor beneficio económico del productor (Nuño, 2007; Sánchez *et al.*, 2014).
- b) Se manejan varios ciclos al año, con lo que se logra al menos el mismo rendimiento anual, pero con menores dificultades técnicas de manejo (Méndez *et al.*, 2005).
- c) Los costos de inversión se reducen considerablemente, ya que no requiere invernaderos tan altos y sofisticados y, en las condiciones climatológicas favorables como las que ocurren en varias zonas del país, pueden ser manejados con el mínimo de equipo de control ambiental (Sánchez y Ponce, 1998; Sánchez y Moreno, 2017).
- d) El periodo desde el trasplante hasta el fin de cosecha se reduce de 300 días a menos de 100 según el nivel de poda, con poca disminución del rendimiento por ciclo, ya que, con la alta densidad poblacional utilizada se compensa la baja producción por planta (Méndez *et al.*, 2005). Así mismo se cosechan frutos más inocuos, pues por lo corto de cada ciclo, se reduce grandemente el problema de plagas y enfermedades.

4.4.2. Desventajas

Los inconvenientes de este sistema son citados por Gómez (2018) y se mencionan a continuación:

1. Cuando se establece el cultivo a 4 hileras por cama, las plantas de las hileras centrales interceptan menor RFA lo que tiene implicaciones en su crecimiento y desarrollo, y por lo tanto rinden de un 20 a 30 % menos que las plantas de las hileras exteriores (Ucán *et al.*, 2005). Para solucionar

este inconveniente se han realizado investigaciones de arreglo de cultivo en un sistema de acomodo de las plantas formando una escalera (sistema escaleriforme) para un mejor aprovechamiento y distribución de la luz (Sánchez *et al.*, 2014; Sánchez *et al.*, 2017).

2. Las labores de siembra y trasplante resultan caras (Jean-Marie, 2007), y a pesar de los altos rendimientos y calidad de frutos que se obtiene en este sistema, el costo de producción es elevado debido principalmente a la gran cantidad de semillas híbrida de alto costo que se ocupa (80,000 o más semillas por hectárea por cada ciclo de cultivo; 240,000 si se manejan tres ciclos al año (Moreno *et al.*, 2016), llegándose a requerir un costo anual por hectárea de al menos medio millón de pesos solamente por concepto de semilla.

4.5. Propagación asexual de plantas de jitomate

4.5.1. Generalidades

La dependencia del hombre de las plantas como la fuente más significativa de alimento depende predominantemente de la capacidad no sólo para cultivar las plantas y utilizarlas, sino también para propagarlas. Por esta razón, se han aplicado muchos enfoques diferentes para desarrollar métodos de propagación de plantas, y estos incluyen una mejor comprensión de las bases genéticas y fisiológicas del enraizamiento; la manipulación a través del cultivo de tejidos para estabilizar el fenotipo juvenil; las condiciones ambientales para optimizar el enraizamiento, etc.

Según Avendaño (2016) cada especie de planta ha diseñado y perfeccionado, a través de procesos evolutivos, diferentes estrategias reproductivas únicas que les han permitido colonizar de manera exitosa diferentes ambientes terrestres y acuáticos. Las dos formas básicas de reproducción vegetal son la sexual y la asexual o clonal. Cada una de ellas tiene ventajas y desventajas que varían según las características de la especie y los factores ambientales imperantes.

Uno de los principios en los que se basa la propagación de las plantas es el de totipotencia, capacidad de la célula para reproducir un organismo entero ya que posee toda la información genética necesaria (Hartmann *et al.*, 1997; Bermúdez, 2009).

Esto es factible en jitomate, ya que la inducción de raíces adventicias se obtiene con relativa facilidad, gracias a la alta concentración de auxinas que se encuentra en las ramas (Álvarez *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2016), lo que permite que bajo condiciones adecuadas de temperatura (20-30°C) se obtengan esquejes con suficiente raíz para ser trasplantados en un tiempo máximo de 15 días a partir de su establecimiento (Bruin y Sande, 1986; Juárez *et al.*, 2000), incluso sin la necesidad de utilizar sustancias estimuladoras de enraizamiento (Hartmann y Kester, 1988).

El rendimiento y la calidad de fruto de jitomate que se lograra con el uso de esquejes enraizados es similar al que se obtiene con plántulas provenientes de semilla botánica, con la ventaja adicional de que, mediante esquejes, el periodo de manejo en el semillero se reduce e incluso las plantas inician su producción en menos tiempo (Bruin y Sande, 1986; Simon *et al.*, 2002).

Aunque con el uso de esquejes se pueden presentar problemas de transmisión de enfermedades, se considera que es posible evitarlo con un manejo fitosanitario apropiado, poniendo énfasis en la selección de esquejes a partir de plantas identificadas como sanas y siguiendo un control sanitario similar al de plántulas en semillero (Moreno *et al.*, 2016).

Mangiarua (2008), indica que el esqueje es un tipo de propagación asexual, consiste en separar de la planta madre una porción de tallo, raíz u hoja que posteriormente se coloca en condiciones favorables que inducen a la formación de raíces, para obtener una nueva planta independiente que en la mayoría de los casos es idéntica a la planta madre.

4.5.2. Plantas madre

Según Sisaro y Hagiwara (2016) los esquejes deben cosecharse de plantas vigorosas, que no tengan afectaciones por insectos plagas y enfermedades tanto de origen fúngico como viral o bacteriano y no deben manifestar síntomas de deficiencia de agua y nutrientes (clorosis); sin embargo, no son necesarios planes de especiales de fertilización, lo importante es considerar que tanto el exceso como la falta de nutrientes son perjudiciales para el enraizamiento de las estacas.

4.5.3. Tipos de esquejes

Vozmediano (1982), menciona que los esquejes se pueden clasificar según la parte de la planta de la que proceden en:

- a) Esquejes caulinares con yemas, son aquellos que necesitan únicamente un nuevo sistema radicular, ya que su sistema aéreo está potencialmente presente en la yema. Estos a su vez se subdividen considerando la naturaleza de la madera en: leñosas, semileñosas o herbáceas.
- b) Esquejes de raíz, son los que dar lugar a una nueva copa a partir de una yema adventicia.
- c) Esquejes de hojas, deben formar tanto un nuevo sistema radicular como aéreo.

También se pueden clasificar de acuerdo con la naturaleza de la madera utilizada: herbácea, blanda, dura y semidura (Gordon y Barden, 1984; Barbat, 2006). Las estacas de tejido joven enraízan en menor tiempo y producen raíces de mayor longitud y vigor que los de tejido viejo (Heuser, 1976). Las estacas de la porción apical de las ramas de jitomate normalmente presentan alto porcentaje de enraizamiento (Cheng y Chu, 2002). Es importante considerar que la propagación vegetativa del cultivo de tomate es factible aun sin el uso de promotores de enraizamiento.

4.5.4. Condiciones para el enraizamiento de esquejes

En el enraizamiento de esquejes es muy importante mantener alta humedad tanto en el sustrato como en el aire con el fin de evitar una alta transpiración que pudieran provocar un alto déficit hídrico ya que, en la etapa inicial, el esqueje carece de raíces para absorber agua. La nebulización es una forma de provisionamiento de agua que a la vez reduce las altas temperaturas que se pueden dar en un invernadero a medio día. Sin embargo, se debe procurar que la humedad no sea demasiada alta, pues en estas condiciones se tiene la desventaja de favorecer el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas (Agrios, 1991). El agua utilizada para la propagación debe ser de buena calidad porque las plantas jóvenes y tiernas son muy susceptibles a tensiones como la alta salinidad y el ataque de patógenos.

En la mayoría de las especies, durante todo el proceso de enraizamiento se debe mantener temperaturas entre 23 a 27 °C en la zona basal de las estacas y de 21 °C en la parte foliar; en la mayoría de los casos las estacas de madera suave o herbácea producen raíces en un lapso de dos a cinco semanas (Hartmann y Kester, 1995).

Según Hartmann y Kester (1995), el medio de enraizamiento debe cumplir tres objetivos: Mantener a la estaca en su lugar durante el enraizamiento, permitir la penetración del aire a la base de las estacas; y tener capacidad de retención de humedad para proporcionar agua a las estacas al mismo tiempo que permite un buen drenaje.

4.5.5. Consideraciones importantes para enraizar esquejes de jitomate

Harman y kester (1995), Velasco *et al.* (2011), Moreno *et al.* (2016) y Gómez (2018) mencionan algunos aspectos que deben ser tomados en cuenta para garantizar éxito en el enraizamiento de los esquejes:

1. Seleccionar los brotes más vigorosos y de tamaño uniforme que procedan de plantas madre sanas.
2. La obtención de los brotes debes hacerse en las horas más tempranas de la mañana, para evitar la deshidratación de los mismos.
3. Los esquejes a enraizar no deben ser muy tiernos porque son más sensibles a la deshidratación y además son susceptibles al ataque de enfermedades o a la pudrición en la parte basal del brote; tampoco deben ser brotes muy desarrollados, puesto que éstos se tardan más en el enraizamiento y en reiniciar su desarrollo.
4. El tamaño ideal del brote para propagación es de 15 a 20 cm.
5. La propagación por esquejes se recomienda para variedades de jitomate de crecimiento indeterminado; no se debe de utilizar cuando se trate de variedades de crecimiento determinado, ya que muestran un desarrollo muy lento y poco vigor de planta.
6. Cuando se ponen a enraizar los esquejes se deben introducir al suelo o sustrato a una profundidad de 3 a 4 cm, con la finalidad de facilitar el enraizamiento y luego 15 a 25 días después del establecimiento, ya enraizados se plantan en el lugar definitivo. Se ha observado que cuando se dejan por más tiempo, pierden calidad al trasplante.
7. Una vez que los esquejes tengan raíces se deben regar con solución nutritiva.
8. Los esquejes de jitomate enraízan fácilmente sin la necesidad de utilizar alguna sustancia o producto químico que promueva dicha acción, pero de ser necesario se puede usar Radix 5000.

Moreno *et al.* (2016) recomiendan trasplantar esquejes con el cepellón, ya que cuando son trasplantadas a raíz desnuda, ésta sufre más daños y estrés durante este proceso, lo que tiene como consecuencia una reducción en el rendimiento, esto se debe posiblemente a que al haber daños a la raíz, se provoca temporalmente un mayor flujo de fotoasimilados a éstas para su recuperación y en consecuencia un menor flujo de azúcares hacia las nuevas flores y los frutos (Tadeo, 2000).

4.5.6. Investigación realizada sobre enraizamiento de esquejes de jitomate

Escobar (2011), encontró que es posible obtener plántulas de tomate a partir de propágulos provenientes de plantas adultas. En este caso utilizó vástagos, poniéndolos a enraizar en tres diferentes sustratos (arena blanca, turba y una combinación de ambas). Obtuvo un porcentaje de enraizamiento arriba del 90 %. Posterior al enraizado procedió a realizar injertos con plántulas de la variedad Xena, obteniendo un buen porcentaje de prendimiento del injerto. Igualmente, los rendimientos de tomate en sus tres categorías superaron al testigo sin injertar.

Moreno *et al.* (2016) evaluaron el efecto de cinco métodos para enraizar esquejes de jitomate sobre el crecimiento, precocidad y rendimiento. Los esquejes fueron obtenidos a partir de brotes laterales de plantas en producción, cortados a una longitud de aproximadamente 10 cm y haciendo un corte diagonal a 45° en el extremo basal. Encontraron que cuando se hizo enraizado directo de esquejes en la cama de producción sin trasplante (enraizado directo) a una densidad de 8 plantas·m⁻², la altura de planta y el diámetro de tallo fueron mayores que cuando se hizo trasplante posterior al enraizado, resultado que lo atribuyen a que las plantas de enraizado directo llevaban un adelanto en el crecimiento respecto a los otros tratamientos, debido a que no tuvieron el estrés del trasplante, que ocasiona detención o disminución temporal del crecimiento vegetativo. Con este método de enraizado directo del esqueje en las camas de cultivo, el rendimiento fue mayor e incluso se aceleró el periodo de cosecha.

Juárez *et al.* (2000), evaluaron el crecimiento y rendimiento de plantas de jitomate del cv. Daniela usando como tratamientos esquejes de diferente origen (brotes laterales o apicales), tamaño (10 y 15 cm), con o sin poda de la hoja basal del esqueje antes de enraizar y sin poda o con poda parcial de la hoja más grande. Los esquejes se obtuvieron de plantas de 70 días de edad, se retiraron las inflorescencias visibles en el esqueje y se trató la base del mismo con Radix F-10000®. En la cama de propagación se formó un microtúnel a 1 m de altura con

polietileno transparente. Como sustrato utilizaron arena de tezontle en una capa de 10 cm de profundidad. Los esquejes se trasplantaron a los 20 días después de ponerlos a enraizar. No se encontraron diferencias significativas entre plantas provenientes de esquejes apicales o laterales para ninguna de las variables evaluadas. Con relación al tamaño de los esquejes se encontró que las plantas provenientes de esquejes de 15 cm de longitud presentaron valores más altos de altura de planta y diámetro de tallo que las que provienen de esquejes de 10 cm. La poda de la hoja basal del esqueje al momento de ponerlo a enraizar afectó negativa y significativamente la altura de la planta, el diámetro del tallo y el rendimiento por unidad de superficie respecto al tratamiento en que no se podó dicha hoja. Los tratamientos de poda de la hoja más grande del esqueje no afectaron ninguna de las variables consideradas en relación al tratamiento de no podar; sin embargo, la interacción entre los factores origen del esqueje y poda parcial de la hojas más grande fue significativa para el número de frutos por unidad de superficie, observándose que a medida que se podó mayor cantidad de la hoja más grande en esquejes de origen lateral, se produjo un aumento en el número de frutos·m⁻², mientras que en los esquejes de procedencia apical sucedió lo contrario. Para la variable de rendimiento por unidad de superficie, los valores encontrados por tratamiento fueron los siguientes: esquejes de origen lateral fue 4.7 kg·m⁻², esquejes de origen apical 5.1 kg·m⁻²; para el caso de tratamientos de poda, el rendimiento del tratamiento sin poda de la hoja basal fue de 5.3 kg·m⁻² y 4.5 kg·m⁻² donde se podó la hoja basal.

Gómez (2018) evaluó el efecto que tiene el volumen de sustrato y la densidad de población, así como la poda de hoja, sobre el enraizamiento de esquejes de jitomate y su efecto en el rendimiento. Se utilizaron tres variedades comerciales, un tipo bola de crecimiento indeterminado (Imperial), un tipo bola de crecimiento determinado (Suzan) y una de tipo saladette indeterminado (Pai Pai). El trasplante se realizó a los 17 días y se hizo despunte de la yema terminal a tres racimos, resultando que, la mayor longitud, el mayor volumen y peso seco de raíz, se dio con el uso de charolas de 60 cavidades con capacidad de 200 cm³ de volumen de sustrato y una densidad poblacional de 285 plantas/m², pero este

efecto no modificó el rendimiento posterior en ningún caso. La poda de hoja para el enraizamiento del esqueje afectó el crecimiento de la raíz, sólo en la variedad Imperial, donde la longitud fue menor con poda de la hoja más grande. Tampoco hubo efectos de la poda en la precocidad de cosecha y en rendimiento, y solamente para la variedad Imperial se encontró la formación de más flores·planta⁻¹ cuando se hizo poda de la hoja más grande con respecto al testigo.

V. LITERATURA CITADA

- Agrios, N. G. 1991. Fitopatología. Editorial Limusa. México, D. F. 530 p.
- Álvarez, M. 2011. Multiplicación de plantas, Albatros, Argentina. 91 p.
- Avendaño, M. 2016. La reproducción de las plantas: Costos y beneficios. Disponible en: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/67_4/PDF/ReproduccionPlantas.pdf (Consultado en agosto de 2020).
- Barbat, T. 2006. La multiplicación de las plantas. Viveros. Revista Extra. Pp: 35-36.
- Bastida, T. 2011. Los Invernaderos y la Agricultura Protegida en México. Serie de Publicaciones Agribot. Departamento de Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. 415 p.
- Bermúdez, G. 2009. Boletín del programa nacional sectorial de la producción agrícola bajo ambientes protegidos: El injerto en tomates, una razón para el éxito: Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. 8 p.
- Bruin, de J.; Sande, V. 1986. Tomato cuttings for interplanting. Groenten en Fruit 41(43): 32-33.
- Cancino B., J.; Sánchez C., F.; Espinosa R., P. 1991. Efectos del despunte y densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Revista Chapingo 73-74: 26-30.
- Chapagain, P. B & Wiesman, Z. 2004. Effect of potassium magnesium chloride in the fertigation solution as partial source of potassium on growth, yield and quality of greenhouse tomato. Sci. Hortic. 99(3): 279-288.

- Chengs S.; Chue, Y. 2002. Habito do fructificacao e produtividade do tomateiro propagado vegetative e sexudamente do Amazonia Oriental. Horticultura Brasileira 20(4): 664-666.
- De Anda M., L. E. 2018. Despuntes tempranos en tres cultivares de jitomate a diferentes densidades de población, en condiciones de hidroponía e invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 65 p.
- Escobar, H.; Lee, R. 2009. Manual de producción de tomate bajo invernadero. Universidad de Bogotá. Jorge Tadeo Lozano. 189 p.
- Escobar, S. (2011). Capacidad de reproducción asexual de dos portainjertos y su efecto sobre el rendimiento y calidad del Fruto de Tomate (*Solanum lycopersicum* L) variedad Xena, en el Centro de Producción San Ignacio, Guatemala. Tesis de licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Guatemala. 70 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (F.A.O.) 2012. The state of food and agriculture. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3028e.pdf> (Consultado en septiembre de 2020).
- FIRA. 2019. Panorama agroalimentario, tomate rojo 2019. Disponible en: <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019.pdf>. (Consultado en agosto de 2020).
- Gómez D., A. 2018. Efecto del volumen de sustrato, Densidad de población y poda de hoja en el enraizamiento de esquejes de jitomate. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 119 p.
- Gordon, R. H., y Barden, J. A. 1984. Horticultura. México, D. F.: Editorial México. 727 p.
- Hannan, J. 1998. Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. CRC Press. USA. 708 p.
- Hartmann, H.; Kester, D.; Davies, F.; Geneve, R. 1997. Plant propagation: principles and practices (6th ed.), Prentice Hall, EUA. 747 p.
- Hartmann, H., y Kester, D. 1995. Propagación de plantas: principios y prácticas (4th ed.). México: Continental. 760 p.
- Hartmann, T. H.; Kester, E. D. 1988. Propagación de Plantas (2nd ed.). Editorial Continental. México. 760 p.
- Heuser, C. 1976. Juvenility and rooting cofactors. Acta Horticulturae 55: 251-261.

- Pierik R. 1990. Cultivo *in vitro* de las Plantas Superiores. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 326 p.
- Jean-Marie, P. 2007. Cultivo de tomates. Traducido por Frederic Valero. Barcelona, España: Ediciones Omega. 95 p.
- Jorge, S. M. y Sánchez del C., F. 2003. Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. Revista Fitotecnia Mexicana 26(4): 257-262.
- Juárez, L. G.; Sánchez del C., F. y Contreras M., E. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 19-23.
- López-Santiago, F. 2011. análisis de la cadena productiva del tomate en el municipio de la Independencia, Chiapas. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. 73 p.
- Mangiarua, L. 2008. Como hacer un esqueje. Disponible en: <http://bonsai-baires-esquejes.blogspot.com/> (Consultado en febrero de 2019).
- 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.; Rubiños, 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.
- Moreno P., E. del C.; Sánchez del C., F.; González, M. L.; Contreras M., E.; y Messina, F. R. 2016. Métodos de enraizamiento de esquejes para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico. Revista Agroproductividad 9(10): 50-55.
- Moreno P., E. del C.; Ruíz D., M.; Contreras M., E.; Sánchez del C., F. 2021. Effect of population densities and paclobutrazol applications on seedling quality and yield in tomato. Revista Chapingo Serie Horticultura 27(1): 5-17.
- Nuño, M. R. 2007. Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero, para el Valle de Mexicali. Baja California, México: Fundación Produce, Modulo No. 21. 41 p.
- Peet, M. M. & Welles, W. H. 2005. Greenhouse Tomato Production. In: Tomato. Heuvelink, E. (ed). Wageningen University. The Netherlands. pp: 257-304.
- Resh, H. M., 2001. Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 558 p.

- Sánchez del C., F. y Moreno P., E. del C. 2017. Diseño Agronómico y Manejo de Invernaderos. Serie Agricultura Protegida No. 1. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 405 p.
- Sánchez del C., F.; Corona S., T. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo Serie Horticultura 1(2): 109-114.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; 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. C.; Contreras M., E. 2012. Development of alternative commercial soilless production systems *In*: Tomato. (Proceedings of the Second International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics) Acta Horticulturae 947: 179-187.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Pastor Z., O.; Contreras M., E. 2017. 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.; 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.; y Sahagún C., J. 2014. 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.; Moreno P., E. del C.; Magdaleno, V. J.; Pineda P., J.; Martínez, D.T. y Vázquez, J. C. 2015. Validación comercial de un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 26 p.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno P., E. del C.; Pineda Pineda, J.; Osuna Rodríguez, J. M.; Rodríguez Pérez, J. E.; Osuna Encino, T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. Agrociencia 48(2): 185-197.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/518034/Bolet_n_avance_producci_n_tomate_rojo_noviembre_2019.pdf (Consultado junio 2020).

- Sisaro, D.; Hagiwara, J. (2016). Propagación vegetativa por medio de estacas de tallo. Hurlingham-Buenos Aires. INTA. 16 p.
- Tadeo, R. F. 2000. Fisiología de las plantas y el estrés. En: Azcón-Bieto, J. y Talón M. Fundamentos de fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. Pp: 481-498.
- Trade Map. 2018. Market Analysis and Research, International Trade Centre (ITC). Disponible en: <http://www.trademap.org/Index.aspx> (Consultado en julio de 2020).
- Ucán, I.; Sánchez del C., F.; Corona S., T.; Contreras M., E. 2005. Efecto del manejo de relaciones fuente-demanda sobre el tamaño de fruto de jitomate. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 33-38.
- Van De Vooren, J. G., Welles, W. H.; Hayman, G. 1986. Glasshouse Crop Production. In: The Tomato Crop. Atherton, J. G.; Rudich, J. (eds). Chapman and Hall. London, England. Pp: 581-623.
- 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: 55-62.
- Velasco, H. E.; Nieto, A. R.; y Navarro, E. R. 2011. Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero (3ra ed.). Chapingo, Méx.: Universidad Autónoma Chapingo. 126 p.
- Vozmediano, J. 1982. Fruticultura fisiológica: ecológica del árbol frutal y tecnología aplicada. 25 p.

CAPÍTULO 1. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE PLANTAS DE JITOMATE PROVENIENTES DE ESQUEJES Y SEMILLAS

1.1. RESUMEN

El manejo del jitomate en altas densidades de población, ocupa una elevada cantidad de semilla, la mayoría de éstas de muy alto costo, por lo que el presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de comparar el crecimiento y rendimiento de plántulas de jitomate provenientes de semilla y esquejes enraizados como alternativa para reducir costos de producción. Se evaluaron seis edades de trasplante de esquejes: 20, 25, 30, 35, 40 y 45 días y cuatro de plántulas de semilla: 30, 35, 40 y 45 días. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y diez plántulas por unidad experimental. Se midieron variables morfológicas y del rendimiento y sus componentes. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). En fase de semillero el tratamiento de esqueje trasplantado a los 45 ddie fue el que presentó significativamente mayor área foliar (953.4 cm^2), volumen de raíz (20.4 cm^3) y peso seco de plántula (9.8 g). Al comparar las medias de los tratamientos de semilla y de esquejes, para estas mismas variables, resultó que en general los esquejes tuvieron mejor comportamiento. Al realizar este mismo análisis en etapa reproductiva se encontró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de esquejes respecto a los de semilla en altura, diámetro de tallo, área foliar y ancho de la planta, pero sí difirieron para días a antesis siendo los tratamientos tanto de esquejes como de semillas trasplantados a los 45 días en los que ésta se dio en menor tiempo con 1.8 y 3.3 días, respectivamente. No se encontró diferencias estadísticas en el número de flores, número de frutos, peso promedio de frutos, pero sí para rendimiento por planta siendo, el tratamiento de esquejes trasplantados a los 20 ddie el que se destacó al rendir 2526.5 g/planta , con diferencia estadística respecto a las plantas obtenidas a partir de semilla trasplantadas a los 40 y 45 dds con 1952.3 y 1944.2 g , respectivamente; sin embargo, al analizar las medias de todos los tratamientos de semilla contra todos los tratamientos de esquejes, no se encontró diferencias significativas para ninguna de las variables antes mencionadas. Con trasplantes más tardíos (45 ddie/ddds) se logró adelantar la cosecha en 16 y 14 días, respectivamente.

Palabras claves: Semilla, esqueje, trasplante, rendimiento, ciclo de cultivo.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Francisca de los Ángeles Mejía Betancourt.

Director de tesis: Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez.

1.2. INTRODUCCIÓN

El tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia a nivel nacional y mundial, debido a su amplio consumo, área cosechada y valor económico de la producción y aporte social por la generación de empleos (López, 2011).

En la Universidad autónoma Chapingo, se han desarrollado tecnologías alternativas de producción hidropónica de jitomate bajo invernadero, orientadas a incrementar el rendimiento por unidad de superficie y acortar el ciclo de cultivo mediante trasplante tardío, despunte temprano a tres racimos y el establecimiento de altas densidades de población (Sánchez *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2015; Moreno *et al.*, 2020). Se logran rendimientos cercanos a las 500 t·ha⁻¹·año⁻¹, con tecnología hidropónica sencilla y utilizando invernaderos de baja tecnología y por lo tanto de bajo costo. Sin embargo, se tiene el inconveniente de que este sistema de producción ocupa una alta cantidad de semilla (hasta 240,000 semillas por hectárea al año), lo que incrementa significativamente los costos de producción (Moreno *et al.*, 2016), ya que las semillas híbridas que normalmente se utilizan para la producción de plántulas bajo estos sistemas, son de muy alto costo.

Esto conlleva a la necesidad de buscar alternativas accesibles que permitan una reducción de costos en la obtención de plántulas; es por tal razón que en esta investigación se planteó comparar el rendimiento y precocidad de plántulas provenientes de semillas contra aquéllas obtenidas de esquejes enraizados a partir de brotes laterales de plantas madres, brotes (chupones) que normalmente son eliminados durante las prácticas de manejo del cultivo (Juárez *et al.*, 2000); con la utilización de esquejes pueden abaratare los costos que se elevan con el alto precio de la semilla botánica de los genotipos altamente productivos de jitomate.

Cabe señalar que, con el manejo del cultivo de jitomate en alta densidad de población, la productividad anual depende del rendimiento (kg·m⁻²) por ciclo y del número de ciclos por año. Ya se ha estudiado con detalle la densidad óptima para un rendimiento máximo con este sistema (Sánchez y Corona, 1994; Ponce, *et al.*,

2000; Sánchez *et al.*, 2012) y el rendimiento está basado en la cosecha de pocos racimos por planta, por lo que para incrementar la productividad anual es necesario aumentar el número de ciclos por año, mediante la disminución del tiempo de trasplante a fin de cosecha, lo cual es posible por medio de trasplantes tardíos entendidos éstos como el uso de plántulas de mayor edad al momento del trasplante respecto a la edad de las plántulas a la que normalmente son trasplantadas (Sánchez *et al.*, 2010 y Moreno *et al.*, 2016; Moreno *et al.*, 2020). Adicionalmente, con trasplante tardío, se disminuye el tiempo de manejo del cultivo en el invernadero de producción, se reduce los daños a las plantas por plagas y enfermedades, se puede escapar de algunas condiciones ambientales desfavorables y se disminuye el costo de manejo del cultivo, esto en la medida en que el tiempo de trasplante a fin de cosecha sea menores. Es por eso que, en esta investigación, se plantea también evaluar hasta qué edad es posible retrasar el trasplante de plántulas provenientes de esquejes y semilla botánica sin que el rendimiento se vea afectado.

1.3. OBJETIVOS

1. Comparar el crecimiento y rendimiento que se logra con plantas de jitomate provenientes de esquejes enraizados y de semilla híbrida, manejadas en altas densidades de población y despunte de las plantas para cosechar solamente tres racimos.
2. Evaluar diferentes densidades de población de plántulas de jitomate y volúmenes de cavidad de contenedor sobre la calidad de plántula al momento de trasplante.
3. Determinar hasta qué edad es posible mantener las plántulas en semillero sin efectos negativos del trasplante sobre el rendimiento y sus componentes y definir en cuánto tiempo se acorta el ciclo de trasplante a fin de cosecha según la edad de la plántula al trasplante.

1.4. HIPÓTESIS

Las plantas provenientes de esquejes enraizados, al ser un clon de la planta madre, tendrán un comportamiento agronómico similar a las plantas provenientes de semillas.

Las plántulas dispuestas a las más bajas densidades poblacionales en charola con mayor volumen por cavidad, resistirán los trasplantes más tardíos sin reducción significativa del rendimiento, considerando que entre éstas existe menos competencia por espacio y luz.

A medida que se retrasa en trasplante, las plantas expresan mayor precocidad ya que éstas llevan avances en cuanto a crecimiento y desarrollo, lo que se expresará en un acortamiento del ciclo del cultivo que se traduce a mayor precocidad, y en consecuencia más ciclos de cultivo al año para una mayor productividad anual.

1.5. MATERIALES Y MÉTODOS

1.5.1. Ubicación del experimento

El estudio, se llevó a cabo de julio a diciembre del 2019 en condiciones de invernadero e hidroponía, mismo que se encuentra ubicado en el campo agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México, a una altitud de 2,250 m, en las coordenadas geográficas de 19° 29' de Latitud Norte y 98° 53' Longitud Oeste.

1.5.2. Material biológico utilizado

Se trabajó con el cultivar Pai Pai, de fruto tipo saladette y hábito de crecimiento indeterminado, de la empresa Enza Zaden. Las plantas de este cultivar tienen entrenudos cortos, presentan precocidad a cosecha y son muy productivas. Sus frutos son grandes (promedio de 170 g) y de color rojo intenso, sin hombros, y con larga vida de anaquel.

1.5.3. Descripción de los tratamientos y diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con diez tratamientos y cuatro repeticiones; la unidad experimental constó de 10 plántulas, tanto en la fase de semillero como en la fase productiva. Los diez tratamientos evaluados, resultaron de los distintos tipos de material de siembra, densidad poblacional en charola, número de cavidades por charola y edad de trasplante, tal como se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Material de siembra	Plántulas por charola	Número de cavidades por charola	Días a trasplante (dds o ddie)
1	Esqueje	60	60	20
2	Esqueje	30	60	25
3	Esqueje	30	60	30
4	Esqueje	15	60	35
5	Esqueje	15	60	40
6	Esqueje	15	60	45
7	Semilla	200	200	30
8	Semilla	128	128	35
9	Semilla	60	60	40
10	Semilla	30	60	45

dds= días después de la siembra (para plántulas provenientes de semilla). ddie= días después de iniciado el enraizado (para plántulas provenientes de esquejes enraizados).

1.5.4. Variables evaluadas en etapa de semillero

El día programado para el trasplante (según el tratamiento) se tomaron tres plántulas de cada unidad experimental y repetición, en las que se evaluaron las siguientes variables:

- Altura de plántula: Esta variable se midió con un flexómetro en cm, se consideró la longitud del tallo desde el cuello de la raíz hasta el brote apical.
- Diámetro de tallo: Se midió en mm con un vernier electrónico, tomando la lectura entre la segunda y tercera hoja de la plántula.
- Área foliar por planta: Se midió en cm² con un integrador de área foliar LI-3000A (LI-COR, Lincon, Nebraska); para tal caso, se realizó muestreo destructivo de las plántulas.
- Volumen de raíz. Se empleó el método de desplazamiento, el cual consistió en sumergir el total de raíces previamente lavadas y cortadas de la base del esqueje en un volumen conocido de agua contenida en una probeta. El volumen de raíz se expresó en cm³.

- e) Peso seco de plántula: Los tejidos de hoja, raíz y tallo se introdujeron en bolsa de papel Kraft y se sometieron al horno a 70 °C durante tres días; y posteriormente se determinó el peso con una balanza en gramos.

1.5.5. Variables evaluadas en etapa reproductiva

- a) Altura de planta: Se midió en cm con ayuda de un flexómetro desde el cuello de la raíz hasta donde se hizo el despunte de la yema terminal.
- b) Diámetro de tallo: Se midió en mm con un vernier electrónico después de la segunda hoja basal.
- c) Ancho de planta: Se midió en cm con un flexómetro el diámetro máximo que ocupa cada planta sin extender las hojas, tomado como referencia la parte más ancha de la planta, que generalmente es la parte media de la misma.
- d) Índice de área foliar (m^2 de hoja/ m^2 de superficie de invernadero): Para poder estimar esta variable primero se midió el largo y ancho de todas las hojas de las plantas muestreadas sin destruirlas, posteriormente se realizó muestreo destructivo en cinco plantas provenientes de esquejes y cinco plantas de semilla, a las cuales se les midió largo y ancho y se determinó su área foliar mediante un integrador (LI 3000). Con esos datos se realizó una regresión lineal simple considerando el resultado del área foliar en el integrador y el producto de la multiplicación de largo por ancho de la hoja y se generaron los siguientes factores de corrección:

En plántulas provenientes de esqueje = $[(0.476) (x) - (435.76)]$

En plántulas provenientes de semilla = $[(0.5443) (x) - (561.34)]$

Donde x= al producto de la multiplicación de largo por ancho de la hoja, generando el área foliar estimada por hoja que, posteriormente se sumaron para dar como resultado el área foliar por planta; éste dato se multiplicó por el número de plantas establecidas en 1 m^2 de invernadero para obtener el índice de área foliar en cada tratamiento.

Éstas primeras cuatro variables se determinaron a inicios de la cosecha. Posteriormente se determinó:

- e) Días a antesis de la primera flor: Se contabilizó el número de días transcurridos desde el trasplante hasta que al menos el 50 % de las plantas mostraran apertura floral (antesis) en cada repetición de cada tratamiento.
- f) Número de flores formadas por planta: Se contabilizaron las flores bien formadas por cada racimo cuando estaban completamente abiertas y se sumaron para obtener el número de flores por planta.
- g) Número de frutos por planta (suma de todos los cortes): Se contabilizaron los frutos por cada racimo y se sumaron 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. Esta variable se estimó al finalizar la cosecha de los tres racimos.
- h) Peso medio de fruto: Se estimó con el dato de peso total de frutos por planta dividido entre el número de frutos cosechados por cada planta muestreada en cada repetición, y en cada uno de los tratamientos.
- i) Rendimiento por planta: Se cuantificó el peso total de los frutos cosechados en cada racimo de cada planta muestreada y la suma de los tres racimos representó el rendimiento por planta. Esta variable se estimó desde el inicio a fin de cosecha de los tres racimos y los valores se expresaron en gramos por planta (g/planta).
- j) Días de trasplante a fin de cosecha: Corresponde al número de días que transcurrieron a partir del trasplante hasta la realización del último corte, en el cual se cosechó el 100 % de los frutos.

1.5.6. Conducción del experimento

Establecimiento y manejo de plantas madre

Para la obtención de los esquejes a enraizar, se realizó la siembra de las plantas madre a partir de semilla (variedad Pai Pai). Se utilizó como sustrato de siembra una mezcla de peat-moss y perlita en proporción 1:1 (v:v). El trasplante se realizó en camas de cultivo rellenas con una capa de tezontle rojo, con las hileras de plantas dispuestas a diferentes alturas (sistema escaleriforme) para un mayor aprovechamiento de la luz y el espacio como se observa en la Figura 1. Se usó un sistema de riego por goteo con cintillas con gotero integrado cada 20 cm, mediante el cual se suministró la solución nutritiva al 50 % de concentración (Sánchez y Escalante, 1989) durante los primeros 15 dds y de ahí en adelante y hasta el fin de su ciclo de cultivo a la concentración normal (100 %). La solución nutritiva al 100 % se describe en el Cuadro 2.



Figura 1. Trasplante (a) y crecimiento de las plantas madre para obtención de esquejes (b).

Fase de semillero

Ésta se desarrolló en un invernadero de tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico y de alta dispersión de luz. Este invernadero tiene una superficie de 300 m² y está acondicionado con mallas antiáfidos, sistema de pared húmeda y extractores para regular la temperatura y humedad relativa del

interior del invernadero. Durante la fase de semillero se buscó mantener la temperatura del día entre 15 y 25 °C, y durante la noche entre 10 y 16 °C.

Construcción del microtúnel

Días previos al corte y enraizado de esquejes, se construyó dentro del invernadero, con malla agribón y alambre galvanizado liso de calibre 11, un microtúnel con dimensiones de 10 m de largo, 3 m de ancho y 2.5 m de altura (Figura 2). A lo largo de éste, se colocaron nebulizadores de baja presión cada 1.3 metros. El agua se distribuyó mediante una bomba de 500 HP con retorno a un tinaco de 200 litros con solución nutritiva. Este espacio fue suficiente para colocar 32 charolas con los esquejes a enraizar. Una vez construido el microtúnel, se procedió a realizar desinfección interna y externa con sales cuaternarias de amonio al 5 %, como también se observa en la Figura 2.

El objetivo de la construcción del microtúnel fue garantizar condiciones ambientales favorables para el enraizamiento de esquejes, como una alta humedad relativa (80-90%), baja intensidad lumínica (2500-3000 pie-bujía) y temperaturas de 15-25 °C, para lo cual se colocó una malla sombra en la parte externa del microtúnel con una separación de 50 cm para permitir suficiente ventilación, disminuir la radiación solar y en conjunto con la nebulización bajar la temperatura (Figura 2).

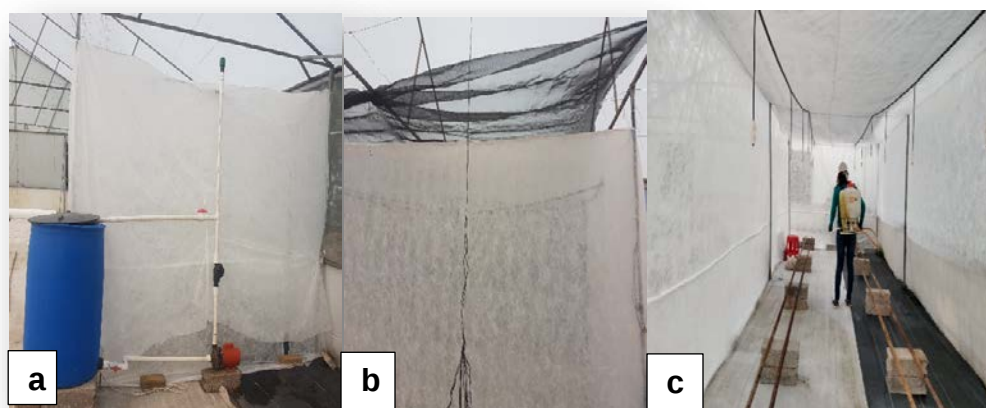


Figura 2. Infraestructura del microtúnel (a), ubicación de la malla sombra (b) y desinfección del microtúnel (c).

Establecimiento del ensayo

A los 70 días después del trasplante, se procedió a colectar los brotes laterales de aproximadamente 15 cm de longitud con dos o tres hojas bien formadas para su enraizamiento posterior (Figura 3). Con la finalidad de promover mayor área para la formación de raíces, inmediatamente después de la colecta del brote, se realizó un corte diagonal en la parte basal del brote con una navaja de Gillette previamente desinfectada con sales cuaternarias de amonio al 5 %, tal como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Brotes de jitomate para su enraizado (a) y brote de jitomate con corte diagonal en la parte basal (b).

El establecimiento de los esquejes se realizó en charolas rellenas de una mezcla de peat-moss y perlita en proporción 1:1 (v:v) al igual que en los tratamientos de semilla, respetando las especificaciones de cada tratamiento de densidad de plántulas en charola y el volumen de cada cavidad de acuerdo con el número de cavidades por charola. Esta actividad se ilustra en la Figura 4.

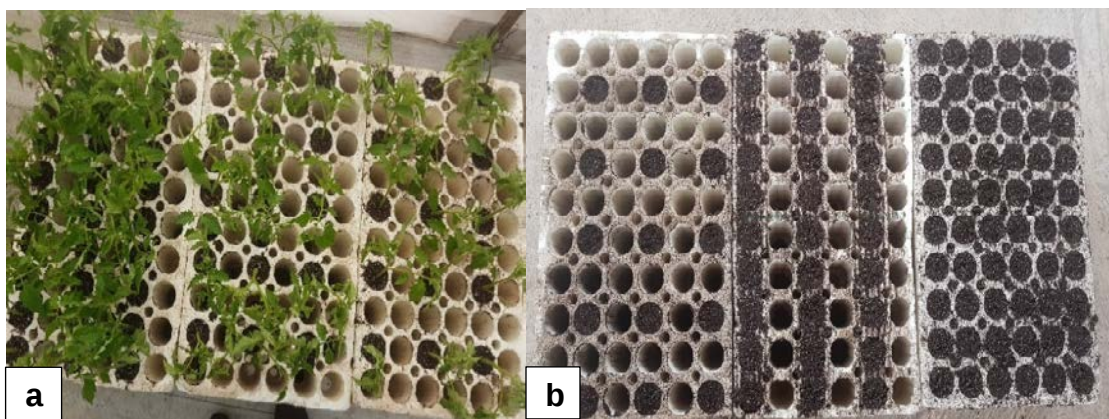


Figura 4. Establecimiento de los tratamientos de esquejes (a) y de semilla (b) de jitomate.

El riego se aplicó mediante un sistema de nebulización automática cada hora durante dos minutos, aplicando la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1989) a concentración del 50 % durante los primeros 15 días, continuando con la concentración al 100 % hasta fin de cosecha, la cual tenía los siguientes nutrimentos y concentraciones: N=200, P=40, K=250, Ca=250, S=150, Mg=50, Fe=2, Mn= 0.1, Cu=0.1, Mn=1, B=0.5 y Zn=0.1 (ver detalles en el Cuadro 2).

Aclimatación de los esquejes

A los 15 ddie los esquejes se trasladaron al área de aclimatación, la cual estaba ubicada dentro del mismo invernadero (Figura 5). Se puso como techo una cubierta de agribón a 3.5 m de altura desde la base del suelo, la cual se fue levantando poco a poco con la finalidad de ir adaptando a las plántulas a las condiciones del lugar del trasplante definitivo. Aquí, el riego de las plantas se realizó de forma manual dos veces al día.



Figura 5. Aclimatación de esquejes enraizados de jitomate.

Las charolas con los tratamientos de semillas fueron apiladas y cubiertas con doble capa de plástico con la finalidad de crear condiciones de oscuridad, temperatura y humedad para favorecer la germinación tal como se muestra en la Figura 6. Después de los tres días fueron extendidas y regadas de forma manual dos veces al día con la misma solución nutritiva utilizada para los esquejes.



Figura 6. Condiciones para la germinación de la semilla.

Trasplante y manejo del cultivo

Una vez enraizados los esquejes, se llevó a cabo el trasplante en camas de cultivo de un metro de ancho rellenas con sustrato a base de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro como se muestra en la Figura 7. El cultivo se estableció a tres hileras a una distancia de 30 x 30 cm (10 plantas·m⁻² útil de invernadero). Previamente se humedeció el sustrato donde se establecerían las plantas definitivamente. Los esquejes se trasplantaron 20, 25, 30, 35, 40 y 45 ddie, y las plántulas provenientes de semilla a los 30, 35, 40 y 45 dds. El trasplante se realizó en un invernadero con características similares al que se utilizó durante la fase de semillero.



Figura 7. Trasplante en camas de tezontle rojo.

Riego y fertilización

Se efectuó con una solución nutritiva concentrada al 100 % y conducida a través de un sistema con cinta de goteo de polietileno flexible con goteros cada 20 cm, aplicando un riego cada hora durante 10 minutos desde las 9:00 am a las 4:00 pm los primeros ocho días después del trasplante. Posteriormente y hasta la cosecha, los riegos se hicieron de tres a cuatro aplicaciones al día, cada uno de 15 minutos. Las fuentes de fertilizantes y la concentración de cada uno de los elementos para preparar la solución nutritiva se indican en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Concentración y fuentes fertilizantes de la solución nutritiva utilizada durante el desarrollo de las plantas de jitomate.

Nutrimento	Concentración (mg L ⁻¹)	Fuente de fertilizante
Nitrógeno	200	Nitrato de calcio 15.5-00-00-26.5 (CaO)
Fósforo	40	Ácido fosfórico al 53 %
Potasio	250	Sulfato de potasio 00-00-50+9.8 % MgO+12.9 % S
Calcio	250	Nitrato de calcio 15.5-00-00-26.5 (CaO)
Azufre	150	Sulfato de potasio, sulfato de magnesio
Magnesio	50	Sulfato de magnesio 00-00-00+9.8 % MgO+12.9% S
Hierro	2	Sulfato ferroso 11 % S y 21 % Fe
Manganeso	1	Sulfato de manganeso 19 % S y 32 % Mn
Boro	0.5	Ácido bórico 99.9 %
Cobre	0.1	Sulfato de cobre 25% Cu pentahidratado
Zinc	0.1	Sulfato de zinc monohidratado 34.51 Zinc y 17.14 S.

Tutorado

Una vez realizado el trasplante se procedió a hacer el tutorado de las plantas sujetándolas del tallo con un anillo de plástico que soportaban un hilo de rafia amarrado a alambres colocados a lo largo de las camas a 1.5 m de altura. A medida que la planta iba creciendo esta se fue envolviendo con el mismo hilo de rafia en sentido de las manecillas del reloj buscando evitar quebrar las hojas o causar daño en las flores y el tallo (Figura 8).



Figura 8. Tutorado de las plantas con hilo de rafia y anillos de plástico.

Despunte

Esta actividad se realizó en diferente momento respondiendo a las diferentes fechas de trasplante, según el tratamiento correspondiente, tomando como criterio que hubiese dos hojas bien formadas por arriba del tercer racimo como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Despunte de las plantas de jitomate dejando dos hojas por arriba del tercer racimo.

Eliminación de chupones

Las plantas se condujeron a un solo tallo, eliminando los brotes laterales cada tres días, como se observa en la Figura 10. Esto se realizó con el objetivo de evitar que dichos brotes restaran nutrientes que pueden destinarse al crecimiento y desarrollo del tallo principal y los otros órganos de la planta.



Figura 10. Eliminación de brotes laterales de las plantas en todos los tratamientos

Polinización

Una vez que aparecieron las primeras flores y que inició la antesis, diariamente entre las 9:00 am y 11:30 am, se movían los alambres que sujetaban a los hilos tutores, con la finalidad de producir vibraciones en las plantas que favorecieran la polinización. Ésta también se vio favorecida cuando se encendían los extractores para bajar la humedad relativa en las mañanas, pues estos causaban movimientos leves en las plantas.

Deshoje

El deshoje o poda de hoja, se realizó cuando los frutos del primer racimo estaban bien formados. Esta actividad se efectuó con la finalidad de facilitar la aireación en

el cultivo y evitar enfermedades. Para ello se dejó una hoja por debajo del primer racimo tal como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Práctica del deshoje de las plantas en el cultivo de jitomate.

Manejo de plagas y enfermedades

Para el control de plagas y enfermedades, el invernadero contaba con mallas antiáfidos en las ventanas laterales como modo preventivo. En etapa de semillero y después del trasplante hubo presencia de trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*). Para el controlar de trips se realizaron aplicaciones de Spinosad a dosis de 0.3 g/L de agua y se aplicó una sola vez en la fase de semillero y a inicios de la fructificación que fue donde los umbrales de esta plaga estaban más altos. Para el control de mosca blanca, se aplicó Revus (i.a imidacloprid al 23.4 %) a razón de 1.5 ml/L. Al final del ciclo hubo incidencia de tizón temprano (*Alternaria solani*) y tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Para controlar el tizón temprano se aplicó Amistar (i.a. Azoxistrobina 50%) 5 ml/litro, y para tizón tardío Ridomil Gold (i.a Metalaxil-M 3.30 % + Clorotalonil 33%) con dosis de 12 ml/L y Phyton (i.a sulfato de cobre pentahidratado) a 5ml/L.

Calefacción

En el mes de diciembre cuando la temperatura del exterior del invernadero bajó a 5 °C, se programó el sistema de calefacción con un calefactor automático de gas a base de combustión directa con la finalidad de proveer calor para que la planta continuara con sus actividades fisiológicas normales. Se calibró con encendido automática a 5 °C y apagado a los 8 °C. Aunque no es lo deseable, el cultivo de tomate puede soportar temperaturas nocturnas de 5 °C por dos horas máximo, por lo que en tiempo de heladas se requiere mantener la temperatura interior del invernadero, al menos en 8 °C. (Sánchez y Moreno, 2017).

1.5.7. Análisis de datos

Los datos obtenidos se sometieron 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).

1.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.6.1. Variables evaluadas en etapa de semillero

En el Cuadro 3, se muestran los resultados del análisis de varianza para las variables altura de la planta, diámetro del tallo, área foliar, volumen de raíz y peso seco, encontrándose que hubo efecto de tratamiento para todas las variables evaluadas. Se puede observar también que los coeficientes de variación son relativamente bajos que van desde 5.6 % en el caso de la variable diámetro del tallo y 16.8 % para volumen de raíz, que indica homogeneidad en los valores de cada variable.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Bloque	3	5.3	0.3	4752.1	1.91	0.05
Tratamiento	9	439.3**	8.5**	329079.5**	147.3**	37.5**
Error	27	6.4	0.1	2384.5	1.9	0.24
CV%		7.3	5.6	10.6	16.8	11.9
Media		34.7	5.8	462.3	8.2	4.15

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$.

En el Cuadro 4, se puede observar que el tratamiento de esqueje con trasplante a los 45 ddie, presentó significativamente mayor área foliar (953.4 cm²), volumen de raíz (20.4 cm³) y peso seco de plántula (9.8 g), respecto a todos los demás tratamientos. El diámetro del tallo también fue mayor en los esquejes trasplantados a los 45 ddie con 7.6 mm, pero estadísticamente igual que con los esquejes trasplantados a los 40 ddie con 7.4 mm; la mayor altura de plántula se obtuvo con los trasplantes más tardíos a los 40 y 45 días tanto para plántulas procedentes de semilla, como de esquejes. Esto se debe posiblemente a que cuando las plántulas fueron trasplantadas a los 40 y 45 días, aunque se utilizaron charolas de 60 cavidades con un volumen de cavidad de 200 cm³, aun así, el

espacio tanto de la parte aérea como de la raíz fue limitado, pues se observaba que las raíces sobresalían del fondo de la charola. Al respecto Sakurai *et al.* (2007) mencionan que, al usar cavidades pequeñas para producción de plántulas, éstas sufren efectos fisiológicos y morfológicos negativos como etiolación de la parte aérea e hipoxia de la raíz, en respuesta al sombreado mutuo por la alta densidad de plantas, lo que explica las diferencias en altura de las plántulas entre trasplantes de distintas edades; sin embargo, las otras variables en estudio no se vieron afectadas por esta condición, pues los resultados se encuentran entre los rangos óptimos de una planta con buena calidad.

Leskovar (2001) señala que una plántula de buena calidad presenta características deseables como un buen grosor de tallo, sistema radicular y foliar bien desarrollado que hacen que ésta soporte la manipulación y estrés durante el trasplante, mantiene una buena tasa de crecimiento y alcanza el máximo de productividad, por lo que hay que considerar que el tamaño de las cavidades de las charolas y la densidad de población para manejar las plántulas en semillero influyen en su vigor, crecimiento y desarrollo (Nesmith y Duval, 1998; Sánchez *et al.*, 2012).

Monge-Cerdas (2007) menciona que un tallo de 0.4-0.5 cm es adecuado al momento del trasplante, lo que indica que con todos los tratamientos a excepción de las plántulas provenientes de semilla trasplantadas a los 30 y 35 dds cumplen con este requisito.

Cuadro 4. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Esqueje, 20 ddie	18.8 e	5.7 bc	233.9 f	4.3 cd	1.7 fg
Esqueje, 25 ddie	30.4 d	5.6 c	310.5 f	4.0 cd	2.7 ef
Esqueje, 30 ddie	33.2 cd	6.0 bc	444.2 e	5.8 c	3.9 de
Esqueje, 35 ddie	38.8 bc	6.4 bc	570.2 cd	11.3 b	4.5 cd
Esqueje, 40 ddie	41.9 ab	7.4 a	775.5 b	13.3 b	8.2 b
Esqueje, 45 ddie	46.6 a	7.6 a	953.4 a	20.4 a	9.8 a
Semilla, 30 dds	22.6 e	3.0 d	79.5 g	1.48 d	0.5 h
Semilla, 35 dds	23.8 e	3.7 d	114.0 g	2.1 d	0.6 h
Semilla, 40 dds	43.3 ab	6.3 bc	464.5 de	6.3 c	3.9 d
Semilla, 45 dds	47.6 a	6.4 b	677.1 bc	12.9 b	5.6 c
DMS	6.13	0.79	118.8	3.3	1.2

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 5, se muestran los resultados del análisis de varianza de las medias de los tratamientos de esquejes y los de semillas con las mismas edades de trasplante (30, 35, 40, y 45 ddie o dds, respectivamente), en éste se puede observar que hay diferencias altamente significativas con $P \leq 0.01$, entre los tratamientos de esquejes con respecto a los de semilla para todas las variables morfológicas evaluadas.

Cuadro 5. Cuadrados medios de las medias de los tratamientos para variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate proveniente de esquejes y de semillas.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Bloque	3	0.8	0.05	16.5	0.6	0.03
Tratamiento	1	66.4**	37.9**	247878.4**	98.2 **	31.0**
Error	3	0.6	0.02	354.7	0.2	0.04
CV%		2.0	2.2	3.7	4.8	4.2
Media		37.2	5.9	509.8	9.2	4.6

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$.

En el Cuadro 6, se puede observar que los tratamientos de esquejes se diferencian estadísticamente de los de semilla en todas las variables evaluadas en etapa de semillero, siendo los tratamientos de esquejes los que muestran mayor altura (40.1 cm), diámetro de tallo (6.9 mm), área foliar (685.8 cm²), volumen de raíz (12.7 cm³) y peso seco (6.6 g).

Esto se debe posiblemente a que los esquejes tenían mayor avance en su crecimiento al momento de colectarlos con respecto a las plántulas provenientes de semillas, sin dejar de mencionar que con los esquejes se tiene la ventaja de seleccionar aquellos brotes con las características deseables. Hartmann y Kester (1995) señalan que el avance en el crecimiento de éstos permite que sean implementados como técnica para acortar periodos juveniles prolongados en diferentes especies de cultivo, sobre todo de frutales. Por otro lado, Ryugo (1993) menciona que la presencia de hojas en los esquejes acelera la tasa de formación de raíces y el número de éstas es proporcional al área foliar, lo que se refleja en todas las variables morfológicas evaluadas. Además, Aloni (1987) señala que el esqueje al ser una porción de un tallo o rama, a medida que incrementa su tamaño garantiza mayor acumulación y transporte de solutos en la planta.

Cuadro 6. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de esquejes y semilla en la variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro De tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Esquejes	40.1 a	6.9 a	685.8 a	12.7 a	6.6 a
Semillas	34.3 b	4.9 b	333.8 b	5.7 b	2.7 b
DMS	1.66	0.29	42.38	0.997	0.4

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

Con la finalidad de definir el mejor tratamiento de edad al trasplante y densidad de población, se realizó el análisis de varianza por separado para los tratamientos de esquejes y los de semilla como se muestra en los Cuadros 7 y 8,

respectivamente. En ambos casos se observan diferencias significativas para todas las variables morfológicas evaluadas, lo que indica que existe efecto de edad de trasplante y de densidad de población sobre las características morfológicas evaluadas en las plántulas obtenidas tanto a partir de esquejes como de semillas.

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de esquejes variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Bloque	3	2.9	0.2	3889.4	1.7	0.08
Tratamiento	5	387.0**	3.1**	305922.1**	165.5**	40.6**
Error	15	2.9	0.1	3625.8	2.4	0.4
CV%		4.9	5.2	11.0	15.6	12.3
Media		34.9	6.5	548.0	9.9	5.1

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$.

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de semilla variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Bloque	3	4.5	0.1	1400.1	0.4	0.1
Tratamiento	3	671.9**	12.3**	330569.6**	110.8**	25.2**
Error	9	13.5	0.1	931.5	1.6	0.04
CV%		10.7	7.3	9.1	22.4	7.5
Media		34.3	4.9	333.8	5.7	2.7

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$.

En el caso de las plántulas obtenidas a partir de esquejes (Cuadro 9), se observa que con trasplante a los 45 ddie se tuvo valores mayores en altura de plántula (46.6 cm), diámetro de tallo (7.6 mm), área foliar (953.4 cm²), volumen de raíz (20.4 cm³) y peso seco (9.8 g), indicadores de un mayor crecimiento y desarrollo, aunque en diámetro de tallo es estadísticamente igual al de las plántulas del

tratamiento trasplantado a los 40 ddie. Por otro lado, fue el tratamiento trasplantado a los 20 ddie el que mostró la menor altura (18.8 cm), área foliar (233.9 cm²) y peso seco (1.7 g). En la Figura 12, se muestran las diferencias en crecimiento y desarrollo del tratamiento trasplantado más tempranamente en comparación con el más tardío.



Figura 12. Diferencias en crecimiento y desarrollo de plántulas de esqueje con trasplante a los 20 (a) y 45 (b) días después de iniciado el enraizado.

En los tratamientos de semilla (Cuadro 10) también sobresalen las plantas trasplantadas a los 45 dds con la mayor área foliar (677.1 cm²), más volumen de raíz (12.9 cm³) y mayor peso seco (5.6 g); con respecto a altura de la planta y diámetro de tallo, las plántulas de este tratamiento son similar estadísticamente a las del tratamiento con trasplante a los 40 dds. Los tratamientos trasplantados a los 30 y 35 dds fueron los que mostraron el menor comportamiento en todas las variables evaluadas. En la Figura 13, se puede observar la diferencia en crecimiento y desarrollo de plántulas provenientes de semilla trasplantadas a los 30 y 35 dds comparadas con las que fueron trasplantadas a los 45 dds.



Figura 13. Diferencias en crecimiento y desarrollo de plántulas de semilla con trasplante a los 30 (a), 35 (b) y 45 días después de la siembra (c).

Estos resultados se pueden atribuir a que las plantas trasplantadas a mayor edad tuvieron más tiempo para acumular una mayor cantidad de peso seco para lograr un crecimiento mayor en sus estructuras pues como lo mencionan Reghin *et al.*, (2006), una mayor tasa de producción de fotoasimilados y en consecuencia de materia seca acumulada, favorece el crecimiento y desarrollo del jitomate, aspecto que se reflejó principalmente en una mayor altura de plántula, diámetro de tallo, área foliar y volumen de raíz. Valiente-Velázquez (2018), menciona que plantas de mayor edad al momento del trasplante presentan mayor desarrollo radicular, mayor número de hojas verdaderas y mayor altura. Estos resultados concuerdan con los reportes de investigación de Salazar-Ruiz (2013) quién evaluó distintas edades de trasplante y volumen de sustrato en cultivo de tomate rojo y reportó que, en la etapa de plántula los tratamientos con mayor crecimiento a nivel de peso seco, longitud radical y número de hojas fueron los de mayor edad (48 y 36 días) y producidos en las celdas de mayor volumen (63.33ml/celda).

Cuadro 9. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de esquejes variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Esqueje, 20 ddie	18.8 d	5.7 b	233.9 e	4.3 c	1.7 e
Esqueje, 25 ddie	30.4 c	5.6 b	310.5 de	4.0 c	2.7 de
Esqueje, 30 ddie	33.2 c	6.0 b	444.2 cd	5.8 c	3.9 cd
Esqueje, 35 ddie	38.8 b	6.4 b	570.2 c	11.3 b	4.5 c
Esqueje, 40 ddie	41.9 b	7.4 a	775.5 b	13.3 b	8.2 b
Esqueje, 45 ddie	46.6 a	7.6 a	953.4 a	20.4 a	9.8 a
DMS	3.9	0.77	138.34	3.54	1.45

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

Cuadro 10. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate procedentes de semilla en la variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Semilla, 30 dds	22.6 b	3.0 b	79.5 c	1.48 c	0.5 c
Semilla, 35 dds	23.8 b	3.7 b	114.0 c	2.12 c	0.6 c
Semilla, 40 dds	43.3 a	6.3 a	464.5 b	6.30 b	3.9 b
Semilla, 45 dds	47.6 a	6.4 a	677.1 a	12.9 a	5.6 a
DMS	8.10	0.78	67.37	2.82	0.43

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

1.6.2. Variables evaluadas en etapa reproductiva

Variables Morfológicas y días a antesis

El análisis de varianza para variables morfológicas evaluadas después del trasplante, muestra que hay diferencias significativas para todas las variables en estudio (Cuadro 11). El coeficiente de variación más alto es el correspondiente a la variable de índice de área foliar (23.2%), que indica confiabilidad en los datos.

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Bloque	3	151.3	1.2	1.7	7.8	0.6
Tratamiento	9	310.2**	10.1**	7.2**	20.3**	150.6**
Error	27	77.3	1.08	0.8	5.9	2.5
CV%		8.8	8.0	23.2	6.7	16.7
Media		100.5	12.97	3.8	36.1	9.4

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$.

En el Cuadro 12, se puede observar que, en la variable altura de la planta en el tratamiento de esqueje trasplantado a los 40 ddie con 113.3 cm fue mayor respecto a los tratamientos de esqueje trasplantado a los 30 y 35 ddie con 89.8 cm y 90.6 cm, respectivamente. El diámetro del tallo fue mayor en las plantas del tratamiento de esqueje trasplantado a los 20 ddie (15.0 mm) y el de semilla con trasplante a los 30 dds (15.2 mm), con diferencias estadísticas del tratamiento de semilla trasplantado a los 45 dds, que fueron las que mostraron el menor grosor (10.3 mm). Con respecto al índice de área foliar se observa diferencia estadística entre las plantas provenientes de semilla con trasplante a los 30 dds con el mayor valor para esta variable (5.9 m²) de las de trasplante a los 45 días con 1.8 m², y en ancho de planta, los esquejes trasplantados a los 20 días (39.4 cm) y 35 ddie (39.2 cm) dieron lugar a plantas más anchas con diferencia estadística respecto al tratamiento de semilla con trasplante a los 45 dds (32.5 cm).

El vigor de plántula se evalúa mediante indicadores fenotípicos como un mayor grosor de tallo, mayor crecimiento de raíz, un área foliar adecuada y plántulas con mayor acumulación de materia seca, entre otros (Sánchez *et al.*, 1999; Wien 1999). En el presente estudio, fueron las plantas de los tratamientos de esquejes trasplantados a los 20 ddie y el de semilla con trasplante 30 dds, los que mostraron mayor diámetro de tallo, área foliar y ancho de planta.

Para la variable días a antesis fueron los tratamientos de esquejes trasplantado a los 20 ddie (17 días) y de semilla con trasplante a los 30 y 35 dds los que tardaron mayor tiempo con aproximadamente 19 y 16 días respectivamente. Caso contrario ocurrió en los tratamientos tanto de esquejes como de semilla con el trasplante a los 45 días, ya que tardaron el menor tiempo, pues estas plantas al momento del trasplante ya llevaban las primeras flores abiertas.

Cuadro 12. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Esqueje, 20 ddie	96.9 ab	15.0 a	4.6 abc	39.4 a	17.0 a
Esqueje, 25 ddie	95.3 ab	13.5 abc	4.2 abc	36.8 ab	10.3 b
Esqueje, 30 ddie	89.8 b	12.2 bcd	3.4 cd	37.3 ab	7.5 bc
Esqueje, 35 ddie	90.6 b	13.1 abc	3.6 bcd	39.2 a	4.5 cd
Esqueje, 40 ddie	113.3 a	11.7 cd	2.8 cd	34.0 ab	4.7 cd
Esqueje, 45 ddie	94.1 ab	11.5 cd	2.5 cd	33.8 ab	1.8 d
Semilla, 30 dds	109.9 ab	15.2 a	5.9 a	36.7 ab	18.8 a
Semilla, 35 dds	108.8 ab	14. 4 ab	5.7 ab	35.8 ab	16.3 a
Semilla, 40 dds	109.2 ab	12.9 abc	3.7 bcd	35.6 ab	10.0 b
Semilla, 45 dds	97.2 ab	10.3 d	1.8 d	32.5 b	3.3 d
DMS	21.4	2.5	2.2	5.9	3.8

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 13, se muestra los cuadrados medios del análisis de varianza de los tratamientos de esquejes comparado con los de semilla. Se puede observar que para ninguna de las variables morfológicas medidas hubo diferencias entre plantas provenientes de esquejes y de semillas. En cambio, para días a antesis si hay inferencia.

Cuadro 13. Cuadrados medios de las medias de los tratamientos para variables morfológicas y días a antesis evaluadas en etapa reproductiva de plántulas de jitomate proveniente de esquejes y de semillas.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Bloque	3	59.9	0.1	1.3	1.4	0.3
Tratamiento	1	173.7 NS	2.2 NS	0.4 NS	1.6 NS	110.6**
Error	3	36.1	0.7	0.8	4.6	1.3
CV%		5.9	6.8	21.0	6.0	13.7
Media		101.6	12.7	4.3	35.6	8.3

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS=No significativo.

En el Cuadro 14 de comparaciones de medias entre plantas que provienen de esquejes y de semillas, también se observa que no hubo diferencias significativas para todas las variables morfológicas evaluadas. En lo que sí hubo diferencias estadísticas fue en días a antesis, en donde en plantas de esquejes se adelantó la misma en ocho días respecto a las plantas de semilla. Esto seguramente obedece a que los esquejes desde que se colectan ya tienen iniciadas las inflorescencias, aspecto que se abordará más detalladamente en el capítulo siguiente.

Los resultados obtenidos muestran claramente que para un sistema de producción de jitomate en alta densidad de población como el propuesto por Sánchez *et al.* (2012), es posible utilizar esquejes enraizados en vez de semilla, con lo que se logra bajar de manera importante los costos de producción, sin que se afecte el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, de que mantienen las características genéticas de la variedad como lo señalan Hartmann y Kester (1995).

Cuadro 14. Comparación de medias de tratamientos para variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Esquejes	106.3 a	13.2 a	4.6 a	36.0 a	4.1 b
Semillas	96.9 a	12.1 a	4.1 a	35.2 a	12.1 a
DMS	13.5	1.9	2.1	4.8	2.6

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

Cuando se realizó el análisis de varianza, separando los tratamientos de esquejes (Cuadro 15) de los tratamientos de semilla (Cuadro 16), se observa que entre tratamientos de esquejes sí hay diferencias significativas para todas las variables morfológicas evaluadas, incluyéndose días a antesis, lo mismo que entre tratamientos de semilla, con excepción de altura de planta en este último caso.

Cuadro 15. Cuadrado medios del análisis de varianza para variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Bloque	3	54.5	0.7	0.3	21.6	0.5
Tratamiento	5	293.7**	6.8**	2.5**	23.8**	117.9**
Error	15	65.8	0.9	0.6	5.9	3.0
CV%		8.4	7.4	22.8	6.6	22.7
Media		96.7	12.8	3.5	36.7	7.6

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$.

Cuadro 16. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de semilla variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Bloque	3	329.2	2.4	3.2	2.1	3.7
Tratamiento	9	146.6 NS	18.7**	15.5**	13.2**	192.2**
Error	27	44.7	1.1	0.7	2.5	1.3
CV%		6.3	8.0	19.6	4.5	9.4
Media		106.3	13.2	4.2	35.2	12.1

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

En el Cuadro 17 se puede observar que con el tratamiento con trasplante a los 20 ddie (en plantas provenientes de esquejes), se obtiene plantas más desarrolladas que el resto de tratamientos de trasplantes más tardíos, dada por su mayor diámetro de tallo (14.97 mm), índice de área foliar (4.6 m²) y ancho de la planta (39.4 cm), notándose una tendencia de disminución del valor de cada variable conforme el trasplante fue más tardío, características que también se aprecian en la Figura 14. De aquí podemos deducir que, para lograr plantas con características morfológicas deseable ya en etapa reproductiva, es preferible hacer los trasplantes desde los 20 días después de su enraizamiento, a pesar de que las plántulas de 45 ddie presentaban mejores características al momento del trasplante (Cuadro 9). Posiblemente el estar más tiempo en el lugar definitivo del cultivo, y por lo tanto en un ambiente menos limitado después del trasplante, permitió que las plantas trasplantadas a los 20 ddie tuvieran un mayor crecimiento y desarrollo, como lo mencionan Gardner *et al.* (1995).

El grosor de tallo y área foliar con los trasplantes más tardíos, además de la competencia por luz entre las plántulas, pudo ser afectado también por el volumen de la charola en que estaban creciendo inicialmente, ya que entre mayor edad tenía la plántula, la raíz sobresalía del contenedor y al desprenderla para realizar el trasplante éstas sufrieron daños. Al momento del trasplante en estos trasplantes más tardíos las plántulas estaban más altas, debido principalmente a

un efecto de elongación, mostrando más estrés al momento del establecimiento en camas definitivas. Al respecto Tadeo (2000), menciona que, al producirse daños a la raíz, se provoca temporalmente un mayor flujo de fotoasimilados y en consecuencia un menor flujo de azúcares, afectándose el crecimiento y desarrollo de frutos.

Con el trasplante más tardío se redujo los días a antesis, pues a la edad del trasplante más tardío (45 ddie), algunas plantas ya estaban iniciando la floración.



Figura 14. Tratamiento de esqueje con trasplante a los 20 (a) y 45 días después de iniciado el enraizado (b).

Cuadro 17. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva en plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Esqueje, 20 ddie	96.9 ab	15.0 a	4.6 a	39.4 a	17.0 a
Esqueje, 25 ddie	95.3 ab	13.5 ab	4.2 ab	36.8 ab	10.3 b
Esqueje, 30 ddie	89.8 b	12.2 b	3.4 ab	37.3 ab	7.5 bc
Esqueje, 35 ddie	90.6 b	13.1 ab	3.6 ab	39.2 ab	4.5 cd
Esqueje, 40 ddie	113.3 a	11.7 b	2.8 ab	34.0 ab	4.7 cd
Esqueje, 45 ddie	94.1 b	11.5 b	2.5 b	33.8 b	1.8 d
DMS	18.7	2.2	1.8	5.6	4.0

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 18, se muestra una tendencia de que en el tratamiento de trasplante a los 30 dds (en plantas obtenidas de semilla botánica), las plantas tuvieron mayor altura (109.9 cm), diámetro de tallo (15.2 mm), índice área foliar (5.9 m²) y ancho de planta (36.7 cm), valores que fueron disminuyendo conforme el tratamiento se hizo más tardíamente, teniéndose diferencias estadísticas entre el trasplante a los 30 dds respecto al trasplante más tardío (45 dds). Al igual que en las plantas provenientes de esquejes, en las de semilla la antesis también fue más pronta con el trasplante más tardío (45 dds).

Cuadro 18. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva en plantas de jitomate provenientes de semilla variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a la antesis
Semilla, 30 dds	109.9 a	15.2 a	5.9 a	36.7 a	18.8 a
Semilla, 35 dds	108.8 a	14.4 a	5.7 a	35.8 ab	16.3 a
Semilla, 40 dds	109.2 a	12.9 a	3.7 b	35.6 ab	10.0 b
Semilla, 45 dds	97.2 a	10.3 b	1.8 c	32.5 b	3.3c
DMS	14.8	2.3	1.84	3.5	2.5

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa. CV= Coeficiente de variación.

Estos resultados obedecen posiblemente a que las plantas que fueron trasplantadas más tardíamente (45 dds), sufrieron más estrés por efecto de la competencia por espacio y luz al crecer en charolas por más tiempo, y además cuando se realizó el establecimiento en las camas definitivas, las plantas que fueron trasplantadas más tempranamente ya llevaban un avanzado crecimiento y desarrollo, que les permitía un mejor aprovechamiento de la radiación solar incidente para una adecuada producción de fotosíntesis, aspecto que normalmente es reflejado en un mayor crecimiento, desarrollo y rendimiento (Taiz y Zeiger, 2002).

No obstante, Sánchez *et al.* (2006) mencionan que, con plantas de menor altura y área foliar, se pueden establecer más plantas en un mismo espacio y por lo

tanto es posible aumentar el rendimiento por unidad de superficie. Señalan también que, el ancho de la planta es una variable importante, ya que permite determinar el espacio útil que ocupa una planta, lo que se constituye un referente importante para determinar las óptimas densidades poblacionales de los cultivos, sobre todo para el sistema de producción en el que se maneja altas cantidades de plantas por unidad de área.

En relación al índice de área foliar es importante considerar que cuando éste es excesivo pueden crearse condiciones de sombreado para las hojas situadas en el interior de la cubierta vegetal, ocasionando eventualmente que los carbohidratos producidos por ellas sean utilizados en la misma proporción de la que son sintetizados (Mitchell, 1970), sin omitir que una planta con follaje denso y cultivada en altas densidades de población se limita la ventilación y se crean condiciones para el desarrollo de enfermedades, por lo que es conveniente tener un alto índice de área foliar, pero se deben garantizar condiciones para lograr una distribución más equitativa de la radiación solar entre las hojas del dosel lo que permite mayor producción de materia seca por día y eventualmente un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo (Gardner *et al.* 1995).

Variables del rendimiento y sus componentes

En cuanto al rendimiento y sus componentes, el análisis de varianza (Cuadro 19) indica que hubo diferencias altamente significativas con $P \leq 0.01$ para las variables de rendimiento por planta y días de trasplante a cosecha, no así para número de flores por planta, número de frutos por planta y peso promedio de fruto. En todas las variables evaluadas el coeficiente de variación fue menor del 11 %.

Cuadro 19. Cuadrados medios de los análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plántulas de jitomate cultivar Pai Pai

FV	GL	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Bloque	3	3.4	5.1	27.5	81120.8	10.6
Tratamiento	9	3.3 NS	4.1 NS	123.1 NS	126835.7 **	134.1 **
Error	27	2.3	2.2	99.5	50104.2	3.2
CV%		7.1	7.7	9.0	10.4	1.7
Media		21.1	19.4	111.4	2157.0	105.7

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

En el Cuadro 20, se presenta las comparaciones de medias del rendimiento y sus componentes en el que se observa que, el rendimiento por planta fue mayor con los esquejes trasplantados a los 20 ddie (2526.5 g), con diferencia estadística respecto a las plantas obtenidas a partir de semilla trasplantadas a los 40 y 45 dds con 1952.3 g y 1944.2 g, respectivamente (Figura 15). El mayor rendimiento con las plantas provenientes de esquejes trasplantados a los 20 ddie, se explica principalmente porque los frutos con este tratamiento tuvieron en valores absolutos mayor peso que el resto de los tratamientos, pues en número de frutos todos los tratamientos fueron similares. El mayor peso de fruto logrado pudiera ser consecuencia de un mayor diámetro de tallo de estas plantas que ayudan a un mayor aporte de agua y nutrientes como mencionan Aloni (1987) y Chavarría (2016) y por su área foliar de 4.6 m² formada por planta (Cuadro 17) que es apropiado para una adecuada fotosíntesis, acumulación de asimilados hacia los frutos (Taiz y Zeiger, 2002 y Sánchez y Moreno 2017), y por lo tanto para un alto rendimiento por planta, que en este caso fue de 2526 g (16.7 kg·m⁻²) en un tiempo de 113 días de trasplante a fin de cosecha, rendimiento similar a lo reportado en otros trabajos por Sánchez *et al.* (2012 y 2014) y por Moreno *et al.* (2021), bajo el sistema de alta densidades de población con despunte al tercer racimo.

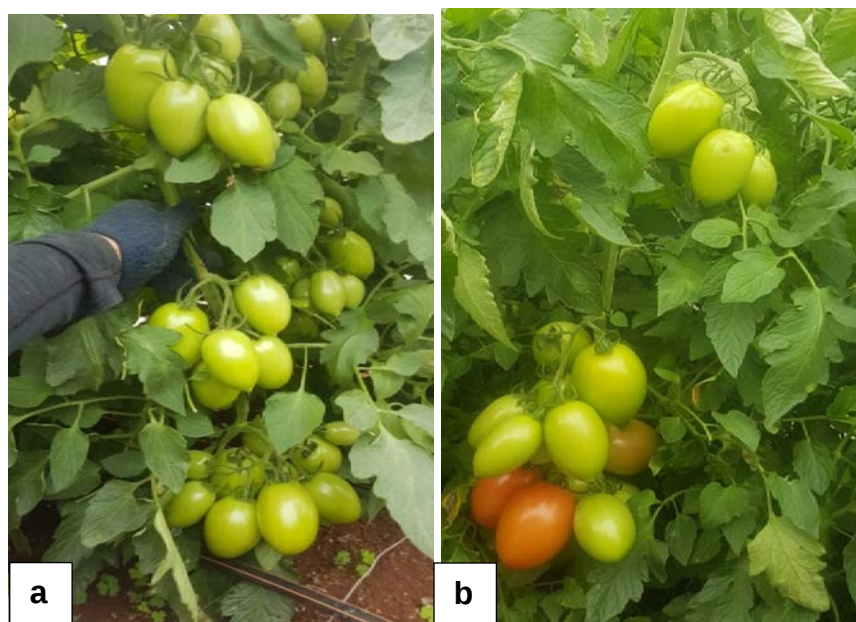


Figura 15. Rendimiento del tratamiento de esqueje trasplantado a los 20 días después de iniciado el enraizado, y el tratamiento de semilla con trasplante a los 45 días después de la siembra (b).

Cuadro 20. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas para el rendimiento y sus componentes del cultivo de jitomate variedad Pai Pai

Tratamiento	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Esqueje, 20 ddie	20.5 a	20.3 a	125.0 a	2526.5 a	113 a
Esqueje, 25 ddie	20.3 a	20.5 a	113.5 a	2324.5 ab	111 ab
Esqueje, 30 ddie	22.3 a	20.3 a	113.3 a	2244.0 ab	108 bc
Esqueje, 35 ddie	20.5 a	19.3 a	112.5 a	2185.8 ab	103 d
Esqueje, 40 ddie	20.5 a	19.5 a	111.3 a	2168.0 ab	102 d
Esqueje, 45 ddie	20.0 a	18.5 a	110.5 a	2045.0 ab	97 e
Semilla, 30 dds	22.5 a	20.5 a	105.8 a	2132.3 ab	111 abc
Semilla, 35 dds	21.0 a	18.3 a	108.3 a	2047.8 ab	106 cd
Semilla, 40 dds	21.5 a	18.8 a	105.8 a	1952.3 b	110 abc
Semilla, 45 dds	20.5 a	17.8 a	108.8 a	1944.2 b	97 e
DMS	3.7	3.6	24.3	544.6	4.3

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 21, se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza del promedio de tratamientos de semilla y esquejes, encontrándose que, entre éstos, no hubo diferencias significativas para las variables del rendimiento y sus componentes que fueron evaluadas. En días de trasplante a cosecha sí hubo efecto de tratamiento.

Cuadro 21. Cuadrados medios de las medias de los tratamientos para variables de rendimiento y sus componentes evaluadas en etapa reproductiva de plántulas de jitomate proveniente de esquejes y de semillas.

FV	GL	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Bloque	3	0.4	0.9	126.0	29634.2	1.8
Tratamiento	1	1.1 NS	0.8 NS	257.0 NS	40077.1 NS	27.2**
Error	3	0.5	0.8	80.1	18505.1	1.1
CV%		3.5	4.6	8.4	6.51	1.0
Media		21.1	19.1	106.2	2089.9	104.1

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

En el Cuadro 22 se presentan los resultados de comparaciones de medias entre tratamientos de esquejes y semillas, en el que se confirma que entre plantas provenientes de esquejes y semillas no hubo ninguna diferencia significativa en las variables del rendimiento y sus componentes, resultado que coincide con Moreno *et al.* (2016). Solamente se encontró que las plantas de esquejes adelantaron la cosecha tres días respecto a las obtenidas a partir de semilla, como también ocurrió con los días a antesis. Bruin y Sande (1986) y Simon *et al.*, (2002) también hicieron esta observación y mencionan que generalmente los esquejes inician su producción en menos tiempo respecto a plantas de semilla.

Cuadro 22. Comparación de medias de tratamientos para variables del rendimiento y sus componentes evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate provenientes de esquejes variedad Pai Pai.

Tratamiento	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Esquejes	21.4 a	19.4 a	111.9 a	2160.6 a	102.3 b
Semillas	20.7 a	18.8 a	100.5 a	2019.1 a	105.9 a
DMS	1.7	1.98	20.1	306.1	2.4

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= Diferencia mínima significativa.

En los Cuadros 23 y 24 se muestran los resultados del análisis de varianza de tratamientos de plantas de esquejes y de semillas, respectivamente, y en los Cuadros 25 y 26, se presentan las correspondientes comparaciones de medias. Se puede observar que, aunque hubo una disminución del rendimiento y sus componentes a medida en que el trasplante se hizo más tardío, en ningún caso las diferencias fueron estadísticamente significativas. En días de trasplante a cosecha sí se manifestó efecto de tratamiento.

Los resultados son similares a los reportados por Flores-Ortega (2013), quién menciona que en jitomate con trasplantes muy tardíos se afecta el rendimiento, y con trasplantes a 30 y 38 días después de la siembra, reportó rendimiento 122.6 y 106.3 frutos/m², respectivamente.

En el caso del tratamiento de esquejes trasplantados 20 ddie, se tuvo un rendimiento por planta de 2526 g, y para el tratamiento de semilla con trasplante a los 30 dds, el rendimiento por planta fue 2132.3 g. Con la densidad poblacional utilizada de 6.6 plantas/m² de invernadero, en una hectárea de cultivo se podrían obtener con el uso de plántulas enraizadas 167 toneladas en un ciclo de cultivo, con un potencial de rendimiento de hasta 500 t·ha⁻¹·año⁻¹ si se estableciera tres ciclos al año, mientras que, con plántulas formadas a partir de semilla, el rendimiento potencial sería de al menos 140.7 toneladas por ciclo (422 t·ha⁻¹·año⁻¹). Ambos casos superan los rendimientos de jitomate que normalmente se logra

con el sistema de manejo convencional, que de acuerdo con Castellanos y Borbón (2009), el rendimiento anual que se logra es del orden de las 300 t·ha⁻¹.

Cuadro 23. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de esquejes.

FV	GL	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Bloque	3	5.2	6.8	35.2	89724.6	12.0
Tratamiento	9	3.9 NS	2.3 NS	114.6 NS	107927.2 NS	147.2**
Error	27	1.8	1.8	80.56	63703.8	3.6
CV%		6.4	6.8	7.86	11.2	1.8
Media		21.0	19.7	114.3	2248	105.5

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

Cuadro 24. Cuadrados medios de los análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de semilla cultivar Pai Pai.

FV	GL	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Bloque	3	0.9	0.9	27.7	9678.8	2.6
Tratamiento	9	2.9 NS	5.7 NS	9.2 NS	31593.6 NS	156.4 **
Error	27	2.9	2.7	152.6	38045.4	2.2
CV%		8.0	8.8	11.5	9.7	1.4
Media		21.4	18.8	107.1	2019.1	105.9

FV=Fuente de variación, GL=Grados de libertad, CV=Coeficiente de variación, **=Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

En el cuadro 25 y 26, también se observa que los trasplantes más tardíos (45 dds y ddie) la cosecha se dio en menor tiempo (97 días). Esto permite adelantar la cosecha en 16 días en el caso de los esquejes y de aproximadamente 14 días para las plantas provenientes de semilla con respecto al tratamiento 1 que fue el trasplante más temprano a los 20 ddie. Sin embargo, esto no es suficiente para obtener un ciclo más de cultivo, por lo que económicamente no se compensaría

realizar trasplantes tardíos. De Anda (2018) menciona que el trasplante con plántulas de mayor edad (45 a 50 días después de la siembra), permite adelantar el tiempo que transcurre entre el trasplante y el inicio de la cosecha en 20 a 30 días; sin embargo, Valiente-Velásquez (2018) no encontró diferencias significativas para esta variable en híbridos de jitomate trasplantados a los 30, 40, 50 y 60 días.

Al respecto, Schrader (2000) menciona que cuando se utilizan plántulas jóvenes para el trasplante, estas sufren un mínimo de estrés, mientras que las plántulas de edades más avanzadas se estresan más y muchas veces el desarrollo reproductivo inicia con un desarrollo vegetativo en desventaja; sin embargo presentan un mayor desarrollo reproductivo por lo que estas tienden a florecen de forma prematura y esto a su vez provoca que se dé una producción de frutos más rápida así como su maduración, pero puede disminuir su productividad ya que muchas veces las plantas son muy pequeñas.

Cuadro 25. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas del rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de esquejes.

Tratamiento	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Esqueje, 20 ddie	20.5 a	20.25 a	125.0 a	2526.5 a	113 a
Esqueje, 25 ddie	22.3 a	20.50 a	113.5 a	2324.5 a	111 ab
Esqueje, 30 ddie	22.3 a	20.23 a	113.3 a	2244.0 a	107.5 b
Esqueje, 35 ddie	20.5 a	19.25 a	112.5 a	2185.8 a	102.5 c
Esqueje, 40 ddie	20.5 a	19.5 a	111.3 a	2168.0 a	102.0 c
Esqueje, 45 ddie	20.0 a	18.5 a	110.5 a	2045.0 a	97 d
DMS	3.07	3.07	20.7	579.9	4.36

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

Cuadro 26. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas del rendimiento y sus componentes en plantas de jitomate provenientes de semilla variedad Pai Pai.

Tratamiento	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin cosecha
Semilla, 30 dds	22.5 a	20.5 a	105.8 a	2132.3 a	110.5 a
Semilla, 35 dds	21.0 a	18.3 a	108.3 a	2047.8 a	106.3 b
Semilla, 40 dds	21.5 a	18.8 a	105.8 a	1952.3 a	110.0 a
Semilla, 45 dds	20.5 a	17.8 a	108.5 a	1944.3 a	97 c
DMS	3.8	3.7	27.3	430.6	3.3

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

1.7. CONCLUSIONES

De acuerdo con estos resultados se puede concluir lo siguiente:

La obtención de plántulas de jitomate mediante enraizado de esquejes constituye una alternativa económicamente viable para los pequeños y medianos productores de jitomate bajo invernadero, ya que permite reducir los costos de producción que se elevan con la adquisición de la semilla de los genotipos altamente productivos, considerando que las plantas reproducidas mediante esqueje tuvieron un comportamiento morfológico y productivo igual o incluso mejor a las plantas obtenidas mediante semilla botánica.

A medida que se retrasó el trasplante se afectó el crecimiento y desarrollo de las plantas, y hubo una tendencia a reducir el rendimiento y sus componentes. Por lo que la mejor edad de trasplante de esquejes de jitomate es a los 20 días después de iniciado su enraizamiento, con lo que es posible obtener un rendimiento de 16.6 Kg por planta en un ciclo de 113 días de trasplante a fin de cosecha.

Los resultados demostraron que las plantas de todos los tratamientos tenían características ideales para el trasplante; sin embargo, el espacio de cavidad de las charolas utilizadas (250 ml) sigue siendo pequeño y restrictivo para un trasplante tardío, ya que las raíces de las plántulas sobresalían de la cavidad.

Con trasplantes más tardíos, se logró adelantar la cosecha; sin embargo, no es posible obtener cuatro ciclos al año como para compensar el efecto negativo en crecimiento y rendimiento, por lo que la mejor edad para el trasplante de esquejes es a los 20 días después de iniciado el enraizamiento.

1.8. LITERATURA CITADA

- Aloni, R. 1987. Differentiation of vascular tissues. *Revista Plant Physiol* 38: 179-204 p.
- Bruin, J., and Sande, V. 1986. Tomato cuttings for interplanting. *Groenten en Fruit* 41(43): 32-33.
- Castellanos, J.Z. y Borbón, C.M. 2009. Panorama de la industria protegida en México. En *Manual de Producción de Tomate de Invernadero*. Pp: 1-18.
- Chavarría, E. 2016. Evaluación de la densidad de siembra de plántulas in vitro en el establecimiento de semilleros básicos de caña de azúcar. *Revista Entre Cañeros* 4: 26-35 p.
- Charles-Edwards, D. A.; Doley, D.; Rimmington, G. M. 1986. *Modelling Plant Growth and Development*. Academic Press. Sidney, Australia. 235 p.
- De Anda M., L.E. 2018. Despuntes tempranos en tres cultivares de jitomate a diferentes densidades de población, en condiciones de hidroponía e invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 65 p.
- Flores- Ortega, A. D. 2013. Efecto de la edad de trasplante en el crecimiento y rendimiento de pepino, jitomate y pimiento hidropónico bajo invernadero. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 94 p.
- Gardner, F. P.; Pearce, R. B.; Mitchel, R. L. 1995. *Physiology of Crop Plants*. State University Press. Iowa, EUA. 327 p.

- Gómez D., A. 2018. Efecto del volumen de sustrato, Densidad de población y poda de hoja en el enraizamiento de esquejes de jitomate. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 119 p.
- Hartmann, H.; y Kester, D. 1995. Propagación de plantas: principios y prácticas (4th ed.). México: Continental. 760 p.
- Juárez, L. G.; Sánchez, del C. F. y Contreras, M. E. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 19-23.
- Leskovar D. 2001. Producción y ecofisiología del trasplante hortícola. Texas, USA. Texas and University. Buenavista Saltillo Coahuila. 18 p.
- López V., J. A.; Valverde J., F. J.; Mejía T., S. L.; López, A. G. y Vega G., M.O. 2011. Efecto del almacenamiento en atmosfera controlada sobre la calidad poscosecha y nutricional del tomate. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(2): 115-128.
- Mitchell, R. L. 1970. Crop Growth and Culture. The Iowa State University Press. 349 p.
- Monge -Cerdas, A. S. 2007. Evaluación del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y chile dulce (*Capsicum annuum* L.) mediante la utilización de seis sustratos y tres métodos de fertilización en el cantón de San Carlos, Costa Rica. Tesis de grado. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 109 p.
- Moreno P., E. del C.; Sánchez del C., F.; González, M. L.; Contreras M., E.; y Messina, F. R. 2016. Métodos de enraizamiento de esquejes para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico. Revista Agroproductividad 9(10): 50-55.
- Moreno P., E. del C.; Ruíz D., M.; Contreras M., E.; Sánchez del C., F. 2021. Effect of population densities and paclobutrazol applications on seedling quality and yield in tomato. Revista Chapingo Serie Horticultura 27(1): 5-17.
- Nesmith, D. S.; & Duval, J. R. 1998. Transplant production and performance: The effect of container cell size. Department of Horticulture. Georgia Experiment Station. Griffin, G. A. USA. HortTechnology 8: 1-4.
- Reghin, M. Y.; Otto, R. F.; Olinik, J. R.; Jacoby, C. F. 2006. Produção de cebola sobre palhada a partir de mudas obtidas em bandejas com diferentes números de células. Hort. Bras. 24: 289-297.

- Ruff, M. S.; Krizek, D. T.; Mirecki, R. M.; and Inouye, D. W. 1987. Restricted root zone volume: influence on growth and development of tomato. J. Am. Soc. Hort. Sci. 112: 763-769.
- Ryugo, K. 1993. Fruticultura – Ciencia y arte. AGT Editor, S.A., México. 460 p.
- Sakurai, K.; Ogawa, A.; Kawashima, C.; and Chino, M. 2007. Effects of biodegradable seedling pots on growth and nutrient concentrations of tomato plants: 2. Growth and nutrient concentrations after transplanting. Bioresource Technol. 98: 2781-2786.
- Salazar-Ruiz, N. 2013. Cultivo protegido hidropónico del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) utilizando plántulas producidas en celdas de diferente volumen y edad de trasplante en Santa clara. Tesis de grado. San Carlos, Costa Rica. 98 p.
- Sánchez del C., F.; Corona S., T. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo Serie Horticultura 1(2): 109-114.
- Sánchez del C., F.; Escalante R. 1989. Hidroponía un sistema de producción. UACH. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Contreras M., E. 2012. Development of alternative commercial soilless production systems I: Tomato. (Proceedings of the Second International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics) Acta Horticulturae 947: 179-187.
- Sánchez del C., F.; Ortiz C., J.; Mendoza C., M. C.; González H., V. A.; Colinas L., M.T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. Revista Agrociencia 46: 21-29.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Contreras M., E. 2006. Reducción del ciclo de crecimiento en pepino europeo, mediante trasplante tardío. Revista Fitotecnia Mexicana 29(2): 87-90.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Magdaleno, V. J.; Pineda, P. J.; Martínez, D. T. y Vázquez R. J. C. 2015. Validación comercial de un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo, México. 26 p.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; 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. y Moreno P., E. del C. 2017. Diseño Agronómico y Manejo de Invernaderos. Serie Agricultura Protegida No. 1. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 405 p.
- Schrader, W. 2000. El uso de almácigos en la producción de hortalizas. California, Estados Unidos. Universidad de California. 6 p.
- Statistical Analysis System (SAS, Institute). 2002. SAS/STAT 9.1 user's guide. Cary, NC, USA: <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugintroduction/61750/PDF/default/statugintroduction.pdf>.
- Tadeo, R. F. 2000. Fisiología de las plantas y el estrés. En: Azcón-Bieto, J. y Talón M. Fundamentos de fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. Pp: 481-498.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2002. Plant physiology, third edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 690 p.
- Valiente-Velásquez, R.I. 2018. Efecto de cuatro edades de trasplante sobre el rendimiento de dos híbridos comerciales de tomate bajo invernadero en Tajumulco, San Marcos. Universidad Rafael Landívar. Tesis de grado. Quetzaltenango-Guatemala. 81p.
- Wien, H. C., 1999. Transplanting. In: Wien, H. C. (ed.), The Physiology of Vegetable Crops. CABI Publishing, Co. Cambridge, Inglaterra. Pp: 37-68.

CAPÍTULO 2. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE PLANTAS DE JITOMATE PROVENIENTES DE ESQUEJES ENRAIZADOS EN SOLUCIÓN NUTRITIVA Y EN SUSTRATOS HIDROPÓNICOS

2.1. RESUMEN

En la Universidad Autónoma Chapingo, se ha desarrollado tecnologías de producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero, orientadas a incrementar el rendimiento por unidad de superficie y acortar el ciclo de cultivo mediante trasplante tardío, despunte de plantas a tres racimos y altas densidades de población; sin embargo, este sistema de producción requiere alta cantidad de semilla híbrida que es costosa, lo que incrementa los costos de producción. En este experimento se planteó evaluar la calidad de plántula proveniente de esquejes enraizados en solución nutritiva y en sustratos sólidos peat-moss (turba vegetal), tezontle rojo y la mezcla de estos y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento posterior. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y 10 plántulas por unidad experimental. Se evaluaron variables morfológicas y de rendimiento. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se encontró que las plántulas del tratamiento de enraizado directamente en solución nutritiva, tuvieron estadísticamente mayor diámetro de tallo (7.34 mm), área foliar (354.52 cm²) y peso seco total (3.07 g) respecto al tratamiento del tezontle rojo. En etapa reproductiva no se encontró efecto de tratamiento en variables morfológicas y tampoco en las variables del rendimiento y sus componentes. En términos absolutos, el rendimiento más alto fue con los esquejes enraizados en la mezcla de turba más tezontle fino, con el que se logró 2541 g/planta, es decir 17 kg/m² en un ciclo de cultivo de 113 días de trasplante a fin de cosecha.

Palabras claves: Esqueje, enraizamiento, sustrato, solución nutritiva.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Francisca de los Ángeles Mejía Betancourt.

Director de tesis: Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez.

2.2. INTRODUCCIÓN

El Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia en México debido a la cantidad de empleos directos e indirectos que genera su cultivo y al número de divisas que ingresan al país por concepto de su comercialización. De acuerdo con la SAGARPA (2017), esta especie hortícola es la más cultivada tanto a cielo abierto como en invernadero, por lo que se constituye como la principal hortaliza cultivada bajo agricultura protegida por ser un cultivo de alto valor económico y consumo (Sánchez y Moreno, 2017).

La Horticultura protegida en México se desarrolla en diferentes regiones y en diversas condiciones agroclimáticas, donde se toman en cuenta factores como el clima, suelo y calidad del agua (Muñoz, 2003). Las últimas estadísticas oficiales reportan que la superficie de agricultura con cubiertas de protección de cultivos es de más de 25 mil hectáreas, sin considerar acolchados y túneles bajos (SIAP, 2016), además se estima que el 80 % de los cultivos bajo condiciones protegidas se establecen en suelo y el resto en algún sustrato (Castellanos y Vargas, 2004).

No obstante, es ampliamente reconocido que los suelos agrícolas presentan proceso de degradación tales como salinización, alcalinización, disminución de permeabilidad, desequilibrios nutritivos y desarrollo de enfermedades (Alconada *et al.*, 2011), por lo que el uso de sustratos se ha convertido en una buena opción para el sector agrícola cuando se produce bajo condiciones protegidas. Cabrera (1999) y Morel *et al.* (2000) mencionan que, uno de los principales factores que determinan el éxito o fracaso en sistemas hidropónicos es el sustrato o medio de crecimiento tanto en semillero como en camas definitivas. Calderón y Cevallos (2001) definen un sustrato como un material sólido o medio de crecimiento cuyas funciones son: anclar la planta, proteger a las raíces de la luz, permitir la aireación, contener y retener el agua y los nutrientes requeridos para el desarrollo de la planta; además tienen la función de permitir el intercambio de gases desde y hacia las raíces (Martínez *et al.*, 2005).

Por esta razón es importante buscar sustratos que sean capaces de mantener una gran cantidad de raíces en un reducido espacio con suficiente agua y aire disponible, combinados con un programa integral de manejo y fertilización, que permitan un adecuado crecimiento de las plantas (Cabrera, 1995).

En México para la siembra en charolas y producción de plántulas, generalmente se usa como sustrato principal turba vegetal (peat moss) sola o en combinación con perlita; ambos sustratos tienen propiedades físicas y químicas deseables (Arias, 1998) para el crecimiento de las plántulas; sin embargo, presentan el inconveniente de ser de alto costo. Por esta razón, se han realizado diversos estudios como el de Trejos *et al.* (2013), que demuestran que se pueden usar otros sustratos solos o en combinaciones como el tezontle, arena de río, fibra de coco, corteza de árboles, cascarilla de arroz, etc. Según Martínez *et al.* (2011) estos sustratos alternativos por su menor costo han tenido buena aceptación y difusión en México.

Hartmann y Kester (2002), mencionan que la elección del sustrato adecuado depende de varios factores como la especie vegetal a propagar, tipo de propágulo, época, sistema de propagación, costo, disponibilidad y características propias del sustrato; sin embargo, desde el punto de vista medioambiental es importante considerar la durabilidad y capacidad para ser reciclado posteriormente (Abad y Noguera, 2000).

Además de los sustratos sólidos también se maneja la modalidad de cultivo sin suelo que es un sistema en el cual las raíces de una planta están suspendidas o sumergidas en un medio líquido (solución nutritiva que contiene los elementos nutritivos necesarios), evitando la presencia de luz. En este caso la incorporación de oxígeno en la raíz se realiza mediante una bomba o compresor que hace que el aire circule hacia el interior de la solución nutritiva a través de una tubería con perforaciones (Resh, 1992; Sánchez y Escalante, 1988).

En cuanto al sistema de manejo del cultivo de jitomate, en la Universidad Autónoma Chapingo, se ha estado desarrollando un sistema muy intensivo de producción en el que las plantas son establecidas en altas densidades de población con despunte de la yema terminal para dejar de uno a tres racimos florales por planta, trasplantes tardíos y acortamiento del ciclo de cultivo (Sánchez *et al.*, 1998; Ucan *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2010 y Sánchez *et al.*, 2012).

Aunque se ha demostrado que este sistema es altamente productivo y rentable (Sánchez y Ponce, 1998; Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez y Santos, 2003; De Anda, 2018), el principal inconveniente es que se ocupa una alta cantidad de plántulas por hectárea, que implica alta cantidad de semilla y altos volúmenes de sustratos para la siembra; tanto la semilla como los sustratos que más se ocupa para la siembra (turba vegetal y perlita) son de alto costo. Se sigue realizando investigación con la finalidad de bajar los costos de este sistema de alta densidad de población, lo que involucra el uso de esquejes enraizados como alternativa al uso de semilla botánica, así como también la utilización de sustratos económicos u otro medio de enraizamiento como es la misma solución nutritiva, que sean fácil de adquirir y económicamente viable para el productor, como el uso de arena de tezontle fino, que de acuerdo con Moreno *et al.* (2016), puede ser una alternativa.

Con base en lo anterior, en esta investigación nos hemos planteado como objetivo evaluar la calidad de plántulas de jitomate provenientes de esquejes enraizados en solución nutritiva y en sustratos sólidos y su efecto sobre el crecimiento y rendimiento al final del ciclo del cultivo, considerando que los mismos tengan un costo accesible para los pequeños y medianos productores; esto, con la idea de contribuir en el desarrollo de un protocolo de producción de esquejes para el manejo de las plantas en altas densidades de población.

2.3. OBJETIVO

Evaluar la calidad de plántula proveniente de esquejes enraizados en sustrato o directamente en una solución nutritiva, y su efecto en el crecimiento y rendimiento posterior.

2.4. HIPÓTESIS

Las plántulas provenientes de esquejes enraizados directamente en solución nutritiva tendrán una calidad similar a las de esquejes enraizados en sustrato, y por lo tanto un comportamiento productivo similar en cosecha, ya que, en solución nutritiva las plantas tienen todos los nutrientes disponibles de forma inmediata y el costo de obtención de plántula respecto a cuando se obtiene en sustrato puede ser menor. También se plantea que arena de tezontle fino solo o en mezcla con turba vegetal podría funcionar adecuadamente como sustrato de enraizado de esquejes de jitomate, pues el tezontle tiene alta capacidad de retención de humedad y la turba suficiente oxigenación, bajando de esta manera el costo para la obtención de plántulas de jitomate.

2.5. MATERIALES Y MÉTODOS

2.5.1. Ubicación del experimento

La fase de semillero se llevó a cabo en condiciones de invernadero, mismo que se encuentra ubicado en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Es de tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico y de alta dispersión de luz y tiene una superficie de 300 m². Cuenta con cortinas de polietileno móviles de forma manual, mallas antiáfidos para evitar la entrada de insectos plaga, sistema de calefacción, y un sistema de pared húmeda con extractores que permiten controlar dentro de ciertos límites las altas temperaturas y bajas humedades relativas. El manejo después del trasplante se llevó a cabo en otro invernadero con características similares al del semillero.

2.5.2. Material biológico utilizado

Se cultivó el híbrido Pai Pai, que es de fruto tipo saladette y hábito de crecimiento indeterminado, de la empresa Enza Zaden. Las plantas de este cultivar tienen entrenudos cortos, presentan precocidad a cosecha y son muy productivas. Sus frutos son grandes (promedio de 170 g) y de color rojo intenso, sin hombros, y con larga vida de anaquel, características que lo hacen muy comercial y amplio uso por los productores.

2.5.3. Descripción de los tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de 10 plántulas tanto en la fase de semillero como en la fase productiva. Los tratamientos probados se describen a continuación:

Tratamiento 1: Enraizado de esquejes en solución nutritiva al 100 % de concentración. En una bandeja plástica de 25 cm de ancho, 50 cm de largo y 20 cm de profundidad, se depositó solución nutritiva con los siguientes elementos nutritivos y concentraciones (mg L⁻¹): N=200, P=50, K=250, Ca=300, S=150, Mg=50, Fe=2, Mn=1, Cu=1, Mn=0.5, B=0.5 y Zn=0.5. Sobre la bandeja rellena de solución nutritiva, se colocó una placa de unicel, a la cual se le hizo perforaciones de 2 cm de diámetro cada 10 cm a lo largo y a lo ancho de la placa, lugar en que se colocaron los brotes de jitomate para su enraizamiento.

Tratamiento 2: Enraizado de esquejes en charolas de 60 cavidades (200 cm³ de volumen por cavidad) rellenas con peat moss (turba vegetal) como sustrato.

Tratamiento 3: Enraizado en charolas de 60 cavidades (200 cm³ de volumen por cavidad) rellenas con arena de tezontle fino (partículas entre 1 a 3 mm de diámetro) como sustrato.

Tratamiento 4. Enraizado en charolas de 60 cavidades (200 cm³ de volumen por cavidad) rellenas con una mezcla de tezontle fino y turba vegetal como sustrato (en proporción en volumen 1:1).

2.5.4. Variables evaluadas en etapa de semillero

A los 20 días después del inicio del enraizamiento, se realizó el trasplante, momento en el cual se tomaron tres plántulas de cada unidad experimental y repetición, en las que se evaluaron las siguientes variables:

- a) Altura de plántula: Esta variable se midió con un flexómetro en cm, se consideró la longitud del tallo desde el cuello de la raíz hasta el brote apical.
- b) Diámetro de tallo: Se midió en mm con un vernier electrónico, tomando la lectura entre la segunda y tercera hoja de la plántula.
- c) Área foliar por planta: Se midió en cm² con un integrador de área foliar LI-3000A (LI-COR, Lincon, Nebraska); para tal caso, se realizó muestreo destructivo de las plántulas.
- d) Volumen de raíz. Se empleó el método de desplazamiento, el cual consistió en sumergir el total de raíces previamente lavadas y cortadas de la base del esqueje en un volumen conocido de agua contenida en una probeta. El volumen de raíz se expresó en cm³.
- e) Peso seco de plántula: Los tejidos de hoja, raíz y tallo se introdujeron en bolsa de papel Kraft y se sometieron al horno a 70°C durante tres días; posteriormente se determinó el peso (en gramos) con una balanza.

2.5.5. Variables evaluadas en etapa reproductiva

- a) Altura de planta: Se midió en cm con ayuda de un flexómetro desde el cuello de la raíz hasta donde se hizo el despunte de la yema terminal.
- b) Diámetro de tallo: Se midió en mm con un vernier electrónico después de la segunda hoja basal.

- c) Ancho de planta: Se midió en cm con un flexómetro el diámetro máximo que ocupa cada planta sin extender las hojas, tomado como referencia la parte más ancha de la planta, que generalmente, es la parte media de la misma.
- d) Índice de área foliar (m^2 de hoja/ m^2 de superficie de invernadero): Para poder estimar esta variable primero se determinó el área foliar midiendo el largo y ancho de todas las hojas de las plantas muestreadas sin destruirlas, posteriormente se realizó muestreo destructivo en cinco plantas provenientes de esquejes y cinco plantas de semilla, a las cuales se les midió largo y ancho y se determinó su área foliar mediante un integrador (LI 3000). Con esos datos se realizó una regresión lineal simple considerando el resultado del área foliar en el integrador y el producto de la multiplicación de largo por ancho de la hoja y se generaron los siguientes factores de corrección:

En plántulas provenientes de esqueje = $[(0.476) (x) - (435.76)]$

En plántulas provenientes de semilla = $[(0.5443) (x) - (561.34)]$

Donde x = al producto de la multiplicación de largo por ancho de la hoja, generando el área foliar estimada por hoja que, posteriormente se suman para dar como resultado el área foliar por planta; éste dato se multiplicó por el número de plantas establecidas en 1 m^2 de invernadero para obtener el índice de área foliar en cada tratamiento.

Estas primeras cuatro variables fueron medidas al momento en que se inició la cosecha. Posteriormente se determinó:

- e) Días a antesis de la primera flor: Se contabilizó el número de días transcurridos desde el trasplante hasta que al menos el 50 % de las plantas mostraran apertura floral (antesis) en cada repetición y tratamiento.

- f) Número de flores por planta: Se contabilizaron las flores bien formadas por cada racimo cuando estaban completamente abiertas y se sumaron para obtener el número de flores por planta.
- g) Número de frutos por planta (suma de todos los cortes): Se contabilizaron los frutos por cada racimo y se sumaron 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. Esta variable se estimó al finalizar la cosecha de los tres racimos.
- h) Peso medio de fruto: Se estimó con el dato de peso total de frutos por planta dividido entre el número de frutos cosechados por cada planta muestreada en cada repetición, y para cada uno de los tratamientos.
- i) Rendimiento por planta: Se cuantificó el peso total de los frutos cosechados en cada racimo de cada planta muestreada y la suma de los tres racimos representó el rendimiento por planta. Esta variable se estimó desde el inicio a fin de cosecha de los tres racimos y los valores se expresaron en gramos por planta (g/planta).
- j) Días de trasplante a fin de cosecha: Corresponde al número de días que transcurrieron a partir del trasplante hasta la realización del último corte, en el cual se cosechó el 100 % de los frutos.

2.5.6. Conducción del experimento

Establecimiento y manejo de plantas madre

Para la siembra de las plantas madre a partir de semilla (variedad Pai Pai), se utilizó como sustrato una mezcla de peat-moss y perlita en proporción 1:1 (v:v). El trasplante se realizó a los 30 dds en camas de tezontle rojo. Se implementó un sistema de riego por goteo mediante cintillas con gotero integrado a cada 20 cm, mediante el cual se suministró la solución nutritiva concentrada al 50 % durante los primeros 15 días y de ahí hasta el fin de la del ciclo de cultivo a la

concentración del 100 % (Sánchez y Escalante, 1989). La solución nutritiva al 100 % fue descrita en el tratamiento 1 de este experimento.

Fase de semillero

Construcción del microtúnel

Con el fin de garantizar condiciones favorables para el enraizamiento de los esquejes como una alta humedad relativa (80-90 %), baja intensidad lumínica (2500-3000 pie-bujía) y temperatura entre 15-25 °C dentro del invernadero, se construyó un microtúnel con malla agribón y alambre galvanizado liso de calibre 11, con dimensiones de 10 m de largo, 3 m de ancho y 2.5 m de altura. En el interior, se colocaron nebulizadores de baja presión cada 1.3 m. El agua se distribuyó mediante una bomba de 500 HP con retorno a un tinaco de 200 litros. Para mayor sanidad, se desinfectó la parte interna y externa del microtúnel con sales cuaternarias de amonio al 5 %. En la parte externa del microtúnel, tanto en la parte de arriba como en los laterales, se ubicó una malla sombra con una separación de 50 cm para permitir la ventilación, disminuir la radiación y en conjunto con la nebulización bajar la temperatura.

Establecimiento del ensayo

A los 75 días después del trasplante de las plantas madre, se procedió a colectar los brotes laterales de aproximadamente 15 cm de longitud con dos o tres hojas bien formadas (Figura 16). Inmediatamente después de la colecta, se realizó un corte en bisel con una navaja de Gillette en la parte basal del brote con la finalidad de promover mayor área para la formación de raíces. Esta navaja se desinfectó continuamente durante todo el proceso de corte y siembra del brote con sales cuaternarias de amonio al 5 %.



Figura 16. Características ideales para la colecta de un brote lateral.

La siembra se realizó en charolas de 60 cavidades, siguiendo las indicaciones de cada tratamiento en lo que respecta al sustrato, a excepción del tratamiento 1 en el que el enraizado se hizo en bandejas rellenas de solución nutritiva (Figura 17). En todos los tratamientos se colocó un brote por cavidad a una profundidad de 3 ó 4 cm. En el tratamiento 1 a cada brote se le puso algodón alrededor para que éste quedara fijo en el agujero de la placa de unicel.

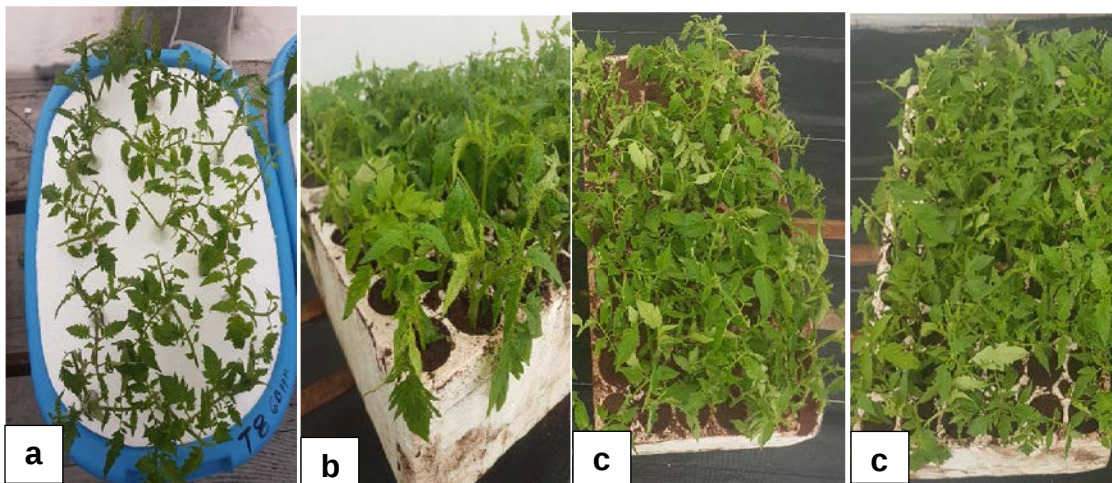


Figura 17. Establecimiento de los tratamientos, a: T1 (en solución nutritiva), b: T2 (peat moss), c: T3 (tezontle rojo) y d: T4 (mezcla peat moss + tezontle rojo).

El riego se aplicó mediante un sistema de nebulización automática cada hora durante 2 minutos, aplicando la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1989) a concentración del 50 % durante los primeros 15 días, continuando con la concentración al 100 % hasta fin de cosecha la cual tenía los siguientes nutrimentos y concentraciones N=200, P=40, K=250, Ca=250, S=150, Mg=50, Fe=2, Mn= 0.1, Cu=0.1, Mn=1, B=0.5 y Zn=0.1.

En el caso del tratamiento en solución nutritiva éste contaba con oxigenación permanente, facilitada mediante una bomba de pecera. Cada una inyectaba oxígeno a dos cajas con solución. La solución en que se encontraban suspendidos los esquejes se renovó cada ocho días.

Aclimatación de los esquejes

Con la finalidad de ir adaptando a las plántulas a las condiciones del lugar del trasplante, a los 12 días después de inicio del enraizado (ddie) los esquejes se trasladaron al área de aclimatación, la cual estaba ubicada dentro del mismo invernadero. Se colocó como techo una cubierta de agribón a 3.5 m de altura desde la base del suelo (Figura 18). En esta etapa, el riego se aplicó de forma manual dos veces al día.

En el caso del tratamiento 1, lo que se hizo fue sacar las cajas fuera del microtúnel para seguir aprovechando la fuente energética que alimentaba las bombas, de manera que no se interrumpiera el flujo de oxígeno, tal como se muestra en la Figura 18.

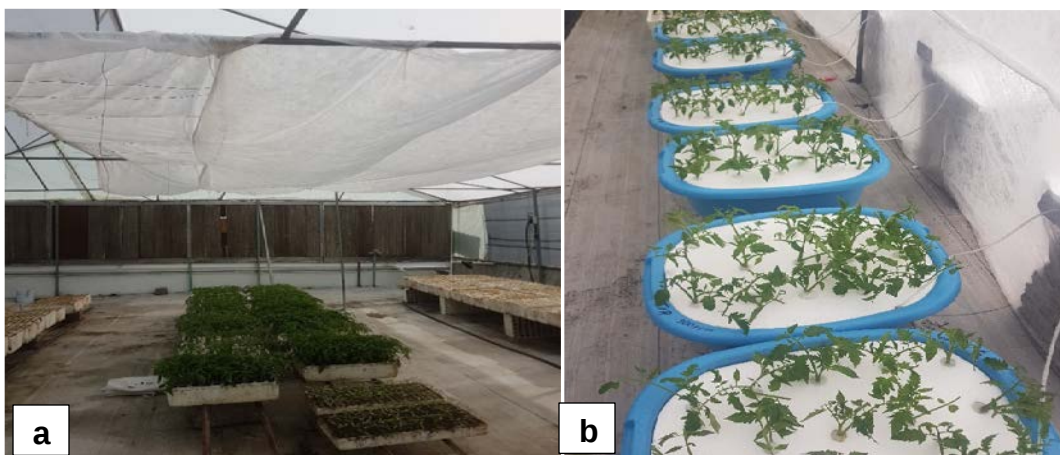


Figura 18. Aclimatación de esquejes enraizados en sustrato (A) y Aclimatación de esquejes enraizados en solución nutritiva (B).

Trasplante y manejo del cultivo

El trasplante se llevó a cabo en camas de cultivo de un metro de ancho rellenas con sustrato a base de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro a los 20 ddie como se muestra en la Figura 19. El cultivo se estableció a tres hileras a una distancia entre plantas de 30 x 30 cm (10 plantas·m⁻² útil de invernadero).



Figura 19. Trasplante en camas de tezontle rojo.

El mismo día del trasplante se colocó a cada planta un hilo de rafia con un anillo tutor para que las plantas se mantuvieran erectas. Las plantas fueron conducidas a un solo tallo, razón por la cual se eliminaron los brotes laterales dos veces por semana para evitar que dichos broten restaran nutrientes o azúcares que pueden ser destinados para el crecimiento y desarrollo del tallo principal.

El riego y la fertilización se efectuó con una solución nutritiva concentrada al 100 % y conducida a través de un sistema con cinta de goteo de polietileno flexible con goteros cada 20 cm, aplicando un riego cada hora durante 10 minutos desde las 9:00 am a las 4:00 pm los primeros ocho días después del trasplante. Posteriormente y hasta la cosecha, los riegos se hicieron de tres a cuatro aplicaciones al día, cada uno de 15 minutos. Los nutrimentos y las concentraciones son las mismas que se describieron en el manejo de los esquejes en semillero.

Cuando todas las plantas tenían dos hojas bien formadas por encima del tercer racimo, se procedió a realizar la eliminación de la yema terminal ya que como se mencionó anteriormente, este sistema se basa en la producción de altas densidades de plantas podadas al tercer racimo. Además, cuando estaban bien formados y desarrollados los frutos del primer racimo, se realizó poda de hojas basales con la finalidad de facilitar la aireación entre plantas, dejando solamente una hoja por debajo del primer racimo.

Cuando aparecieron las primeras flores e inició la antesis, diariamente entre las 9:00 am y 11:30 pm, se movían los alambres que sujetaban a los hilos tutores, con la finalidad de producir vibraciones en las plantas que favorecieran la polinización.

Para el control de plagas y enfermedades, el invernadero contaba con mallas antiáfidos en las ventanas laterales como modo preventivo. En etapa de semillero y después del trasplante hubo presencia de trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*). Para el controlar de trips se hicieron aplicaciones de Spinosad a dosis de 0.3 g/L de agua y se aplicó una sola vez en

la fase de semillero y a inicios de la fructificación que fue donde los umbrales de esta plaga estaban más altos. Para el control de mosca blanca, se aplicó Revus (i.a imidacloprid al 23.4 %) a razón de 1.5 ml/L. Al final del ciclo hubo incidencia de tizón temprano (*Alternaria solani*), para su control se aplicó Amistar (i.a. Azoxistrobina 50 %); también hubo incidencia de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) para el cual se aplicó Ridomil Gold (i.a Metalaxil-M 3.30 % + Clorotalonil 33%) con dosis de 12 ml/L y Phyton (i.a sulfato de cobre pentahidratado) 5ml/L.

En el mes de diciembre, cuando la temperatura del exterior del invernadero bajó a 5 °C, se programó el sistema de calefacción con un calefactor automático de gas a base de combustión directa con la finalidad de proveer calor para que la planta continuara con sus actividades fisiológicas normales. Se calibró con encendido automático a 5 °C y apagado a los 8 °C. Aunque no es lo deseable, el cultivo de tomate puede soportar temperaturas nocturnas de 5 °C por dos horas máximo, por lo que en tiempo de heladas se requiere mantener la temperatura interior del invernadero, al menos en 8 °C (Sánchez y Moreno, 2017).

2.5.7. Análisis de datos

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

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1. Variables evaluadas en el semillero

La plántula es la primera fase y la más sensible en el proceso de producción de especies hortícolas, por lo que la calidad de la misma está directamente relacionada con precocidad, rendimiento, tamaño y número de frutos en cosecha (Klapwijk, 1986; Basoccu y Nicola, 1995; Marković *et al.*, 1997). Portillo (2020) menciona que, en el sistema de producción basado en pocos racimos por planta, es imprescindible que esos racimos expresen su máximo potencial por lo que garantizar plantas que tengan tallo grueso, raíz bien desarrollada, entrenudos cortos y suficiente área foliar es primordial. Es por esta razón que se midieron diferentes variables morfológicas para conocer si las plántulas obtenidas en los diferentes tratamientos muestran la calidad óptima para el trasplante.

El análisis de varianza para variables morfológicas de plántulas provenientes de esquejes enraizados en etapa de semillero (Cuadro 27), indica que hubo diferencias significativas entre tratamientos para todas las variables en estudio a excepción del volumen de raíz. Los datos son confiables, pues el coeficiente de variación es bajo a excepción de la variable de volumen de raíz (36.2 %) y peso seco de plántula (26.7 %), esto se debe posiblemente a que la metodología utilizada para determinar la variable no es la más adecuada, pues al momento de extraer la raíz para su medición siempre hay pérdidas de las raíces secundarias que se quedan atrapadas en el sustrato o en el agua misma al momento de lavarlas, a excepción del tratamiento en solución nutritiva en la que el problema anterior no aplica, pues las raíces están libres y sobre todo limpias (Figura 20).



Figura 20. Esquejes enraizados en solución nutritiva, lista para medir el volumen de raíz.

Cuadro 27. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Bloque	3	0.7	0.197	796.1	0.08	0.04
Tratamiento	3	28.2**	2.6**	15249.7**	5.0 NS	1.3**
Error	9	5.8	0.6	3418.5	1.7	0.3
CV %		11.2	12.0	21.6	36.2	26.7
Media		21.4	6.2	270.6	3.6	2.3

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

En el Cuadro 28, se puede observar que la altura de la planta en peat- moss (24.5 cm) fue estadísticamente mayor del tratamiento en solución nutritiva (18.8 cm), aunque ambos dieron una altura similar al tratamiento establecido en tezontle rojo y en la mezcla de peat- moss + tezontle. En la Figura 21 se muestran las diferencias en altura de plántula por efecto de los diferentes tratamientos.



Figura 21. Diferencia de altura por efecto de los diferentes tratamientos: a) Solución nutritiva, b) Peat-moss, c) Tezontle rojo y c) Mezcla de tezontle+ peat-moss.

En el Cuadro 28 también se observa que, aunque no hubo diferencias entre tratamientos en cuanto a volumen de raíz, con el enraizamiento de los esquejes en solución nutritiva las plántulas tuvieron estadísticamente mayor diámetro de tallo (7.3 mm), área foliar (354.5 cm²) y peso seco (3.1 g) que las que crecieron en tezontle rojo, sin diferencias respecto resto de tratamientos. El mayor crecimiento de las plántulas enraizadas en solución nutritiva, posiblemente se debe a que los esquejes que crecieron en este ambiente tenían los nutrientes disponibles todo el tiempo para ser absorbidos inmediatamente. Quizá cuando se utiliza solamente tezontle como sustrato de enraizamiento, éste se compacta tanto que las raíces de las plántulas difícilmente penetran, lo que afecta la absorción de agua y nutrientes, y en consecuencia el crecimiento como lo señala Chen-López (2020). Además, es probable que en este último caso el oxígeno para la raíz sea limitado, lo que también afectaría el crecimiento (Urrestarazu, 2004 y Chen-López, 2020).

De cualquier forma los resultados indican que para obtener plántulas de jitomate a partir de esquejes, para el enraizado de éstos se pueden utilizar solución nutritiva o bien una mezcla de tezontle rojo + peat-moss en volumen 1:1, con lo

que se lograría obtener plántulas con calidad a un bajo costo, pues con el enraizado en solución nutritiva se evita el uso de sustratos y es de fácil implementación, y en el caso de la mezcla de tezontle con peat moss, la arena de tezontle que se ocupa es de fácil adquisición y de bajo costo (Aguilar, 2012). Con respecto a los anterior Abad *et al.* (2005) indican que la finalidad de un sustrato en cualquier cultivo es producir una planta de calidad, con bajos costos de producción y en un periodo corto de tiempo, ya que una planta de calidad garantiza un buen índice de cosecha como mencionan Donald y Hamblin (1983).

Aunque con peat moss se logró la misma calidad de plántula que con la mezcla de ésta con tezontle fino y que con solución nutritiva, Olympios (1993) menciona que la turba vegetal presenta las características ideales como un buen sustrato destacando la facilidad de esta para mantener un perfil de humedad constante a lo largo de la zona radicular, pero se tiene como principal inconveniente el alto precio en el mercado, por lo que su uso dependerá de la disponibilidad económica del productor.

Cuadro 28. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Solución nutritiva	18.8 b	7.3 a	354.5 a	5.1 a	3.1 a
Peat moss (Turba)	24.5 a	5.7 b	251.1 ab	3.1 a	2.0 ab
Tezontle rojo	19.6 ab	5.6 b	207.2 b	2.5 a	1.7 b
Tezontle + Turba	22.6 ab	6.1 ab	269.6 ab	3.9 a	2.3 ab
DMS	5.3	1.9	129.1	2.9	1.3

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= Diferencia mínima significativa.

2.6.2. Variables evaluadas en etapa reproductiva

Variables morfológicas y días a antesis

El análisis de varianza para variables morfológicas y días a antesis evaluadas a inicio de cosecha, muestra que no hay diferencias significativas para todas las

variables en estudio (Cuadro 29). El coeficiente de variación más alto es el correspondiente a la variable días a antesis (10.0 %), que indica confiabilidad en los datos.

Cuadro 29. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura de la planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de planta (cm)	Días a antesis
Bloque	3	8.1	0.8	0.1	7.2	2.1
Tratamiento	3	45.2 NS	0.3 NS	0.5 NS	10.2 NS	5.4 NS
Error	9	25.7	1.0	0.2	4.5	2.6
CV%		5.5	7.0	9.8	5.0	10.0
Media		92.3	14.2	4.1	42.3	16.1

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

Aunque en etapa de plántula se encontraron algunas diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 28) y al momento del trasplante las plántulas provenientes de esquejes enraizados en solución nutritiva y en tezontle mostraron mayor estrés, al hacer las comparaciones de medias ya en etapa reproductiva, se nota que las diferencias previas y el estrés de trasplante no tuvieron interferencias alguna sobre las variables morfológicas evaluadas en esta etapa, de manera que todos los tratamientos tuvieron el mismo comportamiento (Cuadro 30), por lo que con cualquiera de los métodos de enraizado evaluados se logra un buen crecimiento y desarrollo de las plantas. Cabe recordar que después de la etapa del semillero, todas las plántulas fueron trasplantadas en camas de cultivo con el mismo tipo de sustrato (Tezontle con diámetro entre 3 y 5 mm), que ha sido favorable para el crecimiento y desarrollo de las plantas de jitomate (Osuna *et al.*, 2016).

En el Cuadro 30 se observa que las variables en las plantas de todos los tratamientos se encuentran entre los rangos óptimos. La altura de planta osciló entre 88 y 96 cm; el diámetro de tallo entre 13.9 y 14.6 mm; el índice de área

foliar entre 3.6 y 4.4 y el ancho de planta entre 40.5 y 44.3 cm. El diámetro de tallo de 14 mm es favorable para un adecuado transporte de agua y nutrientes (Aloni, 1987; Chavarría *et al.*, 2016; Portillo, 2020), de igual manera el índice de área foliar entre 3 y 4 es adecuado para una buena fotosíntesis, pues como menciona Gardner *et al.* (1995) es importante tener un índice de área foliar que permita una distribución equitativa de la radiación solar entre las hojas del dosel ya que hay una relación directa de éste con la tasa neta de crecimiento del cultivo, siendo los índices de 3 a 4 lo que permiten una mayor tasa fotosintética como lo ilustran Sánchez y Moreno (2017).

El número de días a antesis osciló entre 15 y 16, sin que se presentaran diferencias estadísticas.

Cuadro 30. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas y días a antesis evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de foliar (m ²)	Ancho de planta (cm)	Días a antesis
Solución nutritiva	88.1 a	14.4 a	3.6 a	40.5 a	17.0 a
Peat moss (Turba)	92.7 a	14.6 a	4.1 a	41.8 a	15.3 a
Tezontle rojo	92.3 a	13.9 a	4.4 a	42.4 a	17.3 a
Tezontle + Turba	96.3 a	14.2 a	4.3 a	44.3 a	15.0 a
DMS	11.1	2.2	0.9	4.7	3.6

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

Variables del rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza para variables del rendimiento y sus componentes (Cuadro 31), muestra que no hay diferencias significativas entre tratamientos para todas las variables. Los coeficientes de variación son menores del 13 % que indica homogeneidad en los valores de cada variable.

Cuadro 31. Cuadrados medios de los análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes en plántulas de jitomate cultivar Pai Pai.

FV	GL	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Bloque	3	10.2	7.6	288.8	402344.4	12.0
Tratamiento	3	3.2 NS	6.3 NS	244.7 NS	220541.0 NS	12.0 NS
Error	9	1.8	2.0	156.3	79488.8	4.0
CV%		6.6	7.4	10.8	12.6	1.8
Media		20.4	19.1	116.1	2234.4	108.5

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

En las comparaciones de medias (Cuadro 32), también se puede observar que no hubo efecto de tratamiento sobre las variables de rendimiento y sus componentes, que indica que para la producción de plántulas podría utilizarse cualquiera de los cuatro tratamientos de enraizamiento de esquejes probados; sin embargo, hay que considerar que la turba vegetal es más cara que los otros materiales, sin dejar de mencionar el daño ambiental que genera su uso como mencionan Muro *et al.* (2005) y Fernández *et al.* (2006).

En rendimiento y sus componentes, solamente se aprecia una tendencia a formar un mayor número de frutos y más peso de éstos con el tratamiento donde se combinó peat moss con tezontle, aunque dichas diferencias no fueron lo suficientemente grandes para que el rendimiento por planta fuera estadísticamente diferente del resto de tratamientos. En dicho tratamiento, con casi 21 frutos por planta y un peso medio de fruto de 121.3 gramos, el rendimiento fue de 2.54 kilogramos por planta, equivale a $16.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, que, de lograrse tres ciclos al año, potencialmente se tendría un rendimiento por ciclo de $170 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, esto es $510 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. El número de frutos, peso medio de fruto y rendimiento por planta son similares a lo reportado por Portillo (2020) y Moreno *et al.* (2021) en plantas de jitomate manejado a tres racimos. En países europeos se han reportados rendimientos iguales o incluso mayores, pero con invernaderos de alta tecnologías y costos muy elevados de producción utilizando el sistema de manejo convencional de jitomate (Heuvelink y Okello, 2018; Cheiri *et al.*, 2018),

pero en México, la producción de jitomate bajo invernadero de mediana a alta tecnología, la media nacional oscila alrededor de las 300 t ha⁻¹ año⁻¹ (Catellanos y Borbón, 2009).

En cuanto a la variable días de trasplante a cosecha, que osciló entre 107 y 110 días, no hubo diferencias entre tratamientos, resultado que concuerda con el reportado por Nuez (2001) y Portillo (2020) quienes mencionan que el tiempo transcurrido para llegar desde el trasplante a hasta inicio de cosecha, bajo condiciones favorables, es de alrededor de 95 a 110 días, como ocurrió en el presente estudio.

Cuadro 32. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas para el rendimiento y sus componentes del cultivo de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Número de flores por planta	Número de frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Solución nutritiva	20.0 a	18.3 a	107.0 a	1978.1 a	110 a
Peat moss (Turba)	19.5 a	18.3 a	123.8 a	2254.9 a	107 a
Tezontle rojo	20.3 a	19.2 a	112.3 a	2163.1 a	110 a
Tezontle + Turba	21.6 a	20.9 a	121.4 a	2541.4 a	107 a
DMS	3.0	3.1	27.6	622.4	4.4

Valores con la misma letra dentro de cada factor en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

2.7. CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en el presente experimento permiten concluir que, para el enraizado de esquejes de jitomate es posible utilizar una mezcla de turba vegetal con tezontle fino en la misma proporción volumétrica, o bien el enraizado directamente en solución nutritiva, para obtener plántulas de alta calidad al trasplante.

El uso de tezontle fino como medio de enraizamiento de esquejes, afectó el crecimiento en etapa de plántula.

El enraizado de esquejes directamente en solución nutritiva o la mezcla de turba vegetal con tezontle, no afectan el rendimiento ni sus componentes número de frutos por planta y peso medio de fruto, por lo que se recomienda su uso por ser más económicos que el enraizado con turba vegetal.

2.8. LITERATURA CITADA

- Abad, M.; Noguera, P. 2000. Los sustratos en cultivos sin suelo, *In* Manual de Cultivos sin Suelo. Urrestarazu, M. (Ed). Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Almería, España. Pp: 137-182.
- Abad, M.; Noguera, P.; Camón, C. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In*: Fertirrigación, Cultivos Hortícolas y Ornamentales. (3ra. ed.) Mundi-Prensa. Madrid, España. 681 p.
- Aguilar, M. Efecto de la luz suplementaria en la producción de plántula en tomate (*Solanum lycopersicum*. L). 2012. Tesis de grado. Universidad autónoma Chapingo. Texcoco-Mexico.108 p.
- Alconada, M.; Cuellas, M.; Poncetta, P.; Barragán, S.; Inda, E. y Mitidieri, A. 2011. Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. *Horticultura Argentina*. 30(72): 5-13.
- Aloni, R. 1987. Differentiation of vascular tissues. *Rev. Plant Physiol* 38(1): 179-204.
- Arias, S. E. 1998. Sustratos para la producción de plántulas de lechuga "Great Lakes 407" bajo invernadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 60 p.
- Basoccu, L.; Nicola, S. 1995. Supplementary light and pre-transplant nitrogen effects on tomato seedling growth and yield. *Acta Horticulturae* 396(37): 313-319.
- Cabrera, R. I. 1995. Fundamentals of container media management, Part. 1. Physical prperties. Rutgers Cooperative Extension Fact sheet No. 950. 4 p.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 5(1): 5-11.
- Calderón, F.; Cevallos, F. 2011. Los sustratos. Bogota- Colombia. Disponible en: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Los_Sustratos.htm. (Consultado el 11 de julio 2020).
- Castellanos, J. Z.; Vargas, T. 2004. El uso de sustratos en la Horticultura bajo Invernadero. *In*: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. Castellanos J. Z. (ed.). Intagri. España. Pp: 130-156.

- Chavarría, E.; Ocampo, R.; Calderón, G. 2016. Evaluación de la densidad de siembra de plántulas *in vitro* en el establecimiento de semilleros básicos de caña de azúcar. *Revista Entre Cañeros* 4: 26–35.
- Cheiri, K.; De Gelder, A.; Peet, M. M. 2018. Greenhouse Tomato Production. In: Heuvelink E. (Ed.). *Tomatoes* 2da edición. Wallingford, UK: CABI. Pp: 276-313.
- Chen-López, J. 2020. Cómo evitar problemas con la compactación del sustrato de cultivo. Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-evitar-problemas-con-la-compactacion-del-sustrato-de-cultivo/>. (Consultado el 10 de octubre de 2020).
- Donald, C. M.; Hamblin, J. 1983. The convergent evolution of annual seed crops in agriculture. *Advances in Agronomy* 36: 97-143.
- Felipe, C. 2017. Efecto de la aplicación de citocininas en plántulas de jitomate para estimular la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 60 p.
- Hartmann H.; Kester, D. 2002. *Plant propagation. Principles and practices*. Prentice Hall. New Jersey. 880 p.
- Hernández, B. 2004. Efecto de luz suplementaria sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en altas densidades de población. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 96 p.
- Heuvelink, E.; Okello, R. 2018. Developmental processes In: Heuvelink, E. (Ed.), *Tomatoes* 2da edición. Wallingford, UK: CABI. Pp: 59-88.
- Klapwijk, D. 1986. Production of tomato transplants in the Netherlands. *Acta Hort.* 190: 505-510.
- Marković, V.; Djurovka, M.; Ilin, Z. 1997. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. *Acta Hort.* 462: 163-167.
- Martínez, A. M.; Torres, J.; Campos, A. 2005. Studying the humidity of three types of peat during the propagation stage of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agronomía Colombiana* 23(1): 154-164.
- Martínez, J.; Martínez, A. Navarro, C.; Rodríguez, G.; Fernández, M. 2000. Consumo de agua y producción en cultivo de tomate en dos sustratos diferentes en cultivo sin suelo. En: *Actas of VIII Simposio Nacional IV Ibérico sobre la nutrición Mineral de las Plantas*, eds. Alcaraz, C. F., Carvajal, M., Martínez, V. Murcia. Pp: 175-180.
- Morel, P.; Poncet, L.; Rivière, L. 2000. *Les Supports de Culture Horticoles. Les Matériaux Complémentaires et Alternatifs à la Tourbe*. INRA. Paris. 87 p.
- 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
- Moreno P., E. del C.; Ruíz D., M.; Contreras M., E.; Sánchez del C., F. 2021. Effect of population densities and paclobutrazol applications on seedling quality and yield in tomato. Revista Chapingo Serie Horticultura 27(1): 5-17.
- Muñoz, R. J. J. 2003. La producción bajo invernadero en México. *In*; Manual de producción hortícola en invernadero. Castellanos, J y Muñoz R. INTAGRI. México. Pp: 14-16.
- Muro, J.; Irigoyen I.; Samitier, P.; Mazuela, P.; Salas, M.; Soler, J.; Urrestarazu, M. 2005. Wood fiber as growing medium in hydroponic crops. Acta Horticulturae 697: 179-185.
- Nuez, F. 2001. El cultivo del tomate. Editorial. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Ojodeagua, J. L.; Castellanos, J. Z.; Muñoz, J. J.; Alcántar, G.; Tijerina, L.; Vargas, P.; Enríquez, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. Rev. Fitotec. Mex. 31(4): 367-374.
- Olympios, C. M. 1993. Soilles media under protected cultivation. Rockwool, peat, perlite and other substrates. Acta Horticulturae 323: 215-234.
- Osuna, H. R.; Osuna, A. M.; Fierro. A. 2016. Manual de propagación de plantas superiores. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma Metropolitana. México. 91 p.
- Ponce O., J. 1998. Efecto de modificaciones al ambiente y las relaciones fuente-demanda sobre la floración de jitomate. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. UACH, Chapingo, México. 70 p.
- Portillo, 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. Universidad Autónoma Chapingo. México. 185 p.
- Resh, H. M. 1992. Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 429 p.
- Sánchez del C., F. y Moreno P., E. del C. 2017. Diseño Agronómico y Manejo de Invernaderos. Serie Agricultura Protegida No. 1. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 405 p.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Contreras M., E. 2012. Development of alternative commercial soilless production systems I: Tomato. (Proceedings of the Second International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics) Acta Horticulturae 947: 179-187.

- Sánchez del C., F. y Escalante, R. E. 1988. Hidroponía. 3ra. Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez del C., F. y Ponce, O. J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia. Revista Chapingo, Serie Horticultura 4(2): 89-94.
- Sánchez del C., F. y Santos, M. J. 2003. Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. Fitotecnica Mexicana 26(4): 257-262.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Coatzín, R. R.; Colinas L., M. T. y 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.; Ortiz, J.; Mendoza, M.; González, V.; and Bustamante, J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. Rev. Fitotec. Mex. 21(1): 1-13.
- Statistical Analysis System (SAS, Institute). 2002. SAS/STAT 9.1 user's guide. Cary, NC, USA: <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugintroduction/61750/PDF/default/statugintroduction.pdf>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/518034/Bolet_n_avance_producci_n_tomate_rojo_noviembre_2019.pdf. (Consultado el 10 de agosto de 2020).
- Trejo-Téllez, L. I.; Ramírez, M.; Gómez, F. C.; García, J. C.; Baca-Castillo, G. A., Tejeda, O. (2013). Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4(5): 863-876.
- Ucan, C.; Sánchez del C., F.; Contreras M., E.; y Corona, S. T. 2005. Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. Revista Fitotecnica Mexicana 28(1): 33-38.
- Urrestarazu, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Edit Mundi-prensa. 3ra edición. Madrid, ES. 914 p.
- Velasco, E.; Miranda, I.; Nieto, R.; Villegas, H. 2004. Evaluación de sustratos y variedades en la producción protegida de jitomate. Rev. Chapingo Serie Horticultura 10: 239-246.

CAPÍTULO 3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE PLANTAS DE JITOMATE PROCEDENTES DE ESQUEJES ENRAIZADOS CON Y SIN ELIMINACIÓN DE INFLORESCENCIAS

3.1. RESUMEN

El manejo de las plantas de jitomate en altas densidades de población, requiere de una elevada cantidad de plántulas y por lo tanto de semillas por ciclo de cultivo; al utilizarse semilla híbrida, su costo normalmente resulta elevado. Por ello, se ha propuesto como opción tecnológica, el desarrollo de un protocolo de producción de esquejes de jitomate, por lo que en este trabajo en particular se planteó como objetivo evaluar el efecto de la eliminación o no de las primeras inflorescencias sobre variables morfológicas y de rendimiento en esquejes enraizados. Se evaluaron tres tratamientos: poda de la primera inflorescencia del esqueje, poda de las dos primeras inflorescencia y sin poda de inflorescencia. Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y 10 plántulas por unidad experimental. Se midieron variables morfológicas y del rendimiento y sus componentes. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). En etapa de plántula, no se encontró diferencias significativas para todas las variables morfológicas evaluadas, pero etapa reproductiva al eliminarse las dos primeras inflorescencias se tuvo mayor altura (119.25 cm), área foliar (10059.5 cm²) y días a antesis (20.3 días). En rendimiento se encontró que, en el primer racimo, el tratamiento con poda de la primera inflorescencia las plantas produjeron 6 frutos (657.9 g) y al eliminarse las dos inflorescencias 6.8 frutos (755.7 g). con diferencias significativas respecto al tratamiento sin poda con solamente 3.3 frutos (387.7 gramos); sin embargo, en el tercer racimo, fue este último tratamiento el que dio más peso (820.6 gramos). Al estudiar estas mismas variables por planta, no se encontró ninguna diferencia.

Palabras clave: Esqueje, inflorescencia, crecimiento, rendimiento.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Francisca de los Ángeles Mejía Betancourt
Director de tesis: Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez.

3.2. INTRODUCCIÓN

En México por la necesidad de incrementar la producción agrícola en un contexto de escasa superficie cultivable por productor, falta de agua, heladas, y de serias limitaciones por topografía accidentada, salinidad, erosión hídrica y eólica, se ha considerado como opción tecnológica el uso de sistemas de producción intensivos como la hidroponía y los invernaderos (Sánchez y Moreno, 2017).

En México, la producción bajo invernadero se ha incrementado de manera importante en los últimos años y para 2017 el SIAP (2018) reporta al menos una superficie de 15,000 hectáreas, de las cuales el 70 % es utilizada para jitomate (*Solanum lycopersicum* L.).

El jitomate es una de las hortalizas más importantes no sólo por el área cultivada, sino también por el número de empleos y de divisas que con este cultivo se genera, y en 2018, fue el segundo producto más importante en cuanto a las exportaciones agropecuarias mexicanas, con una participación de 12.8 % (FIRA, 2019).

El sistema de cultivo más utilizado a nivel comercial en México y el mundo, consiste el establecimiento de densidades de población de 2 a 3 plantas·m⁻², y uso de variedades de crecimiento indeterminado, que se dejan crecer 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año. El manejo de las plantas a muchos racimos obliga a que los invernaderos sean altos por lo que en su construcción ocupan mucho acero con el consecuente costo elevado y por lo tanto alto costo por kilogramo de fruto producido, por lo que para que este sistema sea redituable es necesario incursionar en mercados selectos de exportación. Además, al establecerse un ciclo de cultivo muy largo, es necesario contar con un buen plan fitosanitario para mantener el cultivo sano hasta cosecha, como resaltan Méndez *et al.*, (2005).

En la Universidad Autónoma Chapingo se está trabajando en un sistema alternativo de producción en el que las plantas son establecidas en altas densidades de población y se realiza despunte de la yema terminal para dejar de uno a tres racimos florales por planta, trasplantes tardíos y acortamiento del ciclo de cultivo a solamente cuatro meses de trasplante a fin de cosecha (Sánchez *et al.*, 1998; Ucan *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2010 y Sánchez *et al.*, 2012), con el que han logrado aumentos en cuanto a rendimiento anual y rentabilidad económica para el productor (Sánchez y Ponce, 1998; Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez y Santos, 2003; De Anda, 2018). Sin embargo, este sistema ocupa una alta cantidad de plántulas por hectárea, que implica alta cantidad de semilla y por lo tanto eleva los costos de producción como menciona Moreno *et al.* (2016).

Al respecto, investigadores del departamento de agricultura protegida de la UACH han conducido investigaciones dirigidas a reproducir vegetativamente las plantas de jitomate, utilizándose los brotes laterales o chupones que normalmente son desechados durante las prácticas culturales del cultivo, por lo que se han realizado experimentos encaminados a establecer un protocolo para la obtención de esquejes de alta calidad, contándose ya con resultados del manejo ambiental, uso de enraizadores, el efecto de la poda de hojas, tamaño ideal del esqueje a enraizar, volumen de sustrato y el efecto de la densidad de población sobre la calidad de esquejes y rendimiento posterior, entre otros aspectos (Juárez *et al.*, 2000; Moreno *et al.*, 2016; Gómez, 2018). Sin embargo, hay particularidades del manejo de los esquejes que aún es necesario estudiar a fin de optimizar dicho protocolo.

Al momento de coleccionar los brotes o esquejes de la planta madre, éstos ya traen diferenciado el primer racimo floral, pero se ha observado (Moreno *et al.*, 2016; Gómez, 2018) que este primer racimo normalmente es poco productivo y al dejar que éste desarrolle, compite por azúcares con las inflorescencias que se forman posteriormente afectando la floración, por lo que es importante estudiar la

conveniencia o no de eliminar dicha inflorescencia, incluso hasta la segunda, para lograr una mayor producción.

Por ello, en este capítulo se estudiará el efecto de la eliminación o no de las primeras inflorescencias sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas de jitomate procedentes de esquejes enraizados, ya que es un tema poco estudiado, por lo que las referencias bibliográficas al respecto son limitadas o casi nula.

3.3. OBJETIVO

Evaluar el efecto de la eliminación de las primeras inflorescencias que se forman en plántulas obtenidas a partir de esquejes enraizados, sobre el crecimiento y rendimiento de jitomate.

3.4. HIPÓTESIS

La eliminación de la primera y la segunda inflorescencia en plántulas de jitomate provenientes de esquejes previo al trasplante, permitirá un mejor crecimiento y rendimiento en comparación con las plántulas que no se les elimine, puesto que la plántula además de la energía que requiere para enraizar, parte de ésta la ocupan para evitar el aborto de flores.

3.5. MATERIALES Y MÉTODOS

3.5.1. Ubicación del experimento

La fase de semillero se llevó a cabo en condiciones de invernadero, ubicado en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Es de tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico y de alta dispersión de luz y tiene una superficie de 300 m². Cuenta con cortinas de polietileno móviles de forma manual, mallas antiáfidos para evitar la entrada de insectos plaga, sistema de calefacción, un sistema de muro húmedo y extractores que permiten controlar

dentro de ciertos límites las altas temperaturas y bajas humedades relativas. El manejo después del trasplante se llevó a cabo en otro invernadero con características similares al del semillero.

3.5.2. Material biológico utilizado

Se cultivó el híbrido Pai Pai, que es de fruto tipo saladette y plantas de hábito de crecimiento indeterminado, de la empresa Enza Zaden. Las plantas de este cultivar tienen entrenudos cortos, presentan precocidad a cosecha y son muy productivas. Sus frutos son grandes (promedio de 170 g) y de color rojo intenso, sin hombros, y con larga vida de anaquel, características que lo hacen muy comercial y amplio uso por los productores.

3.5.3. Descripción de tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de 10 plántulas tanto en la fase de semillero como en la fase productiva. Los tratamientos se describen a continuación y se ilustran en la Figura 22:

Tratamiento 1: Esquejes de jitomate sin eliminación de inflorescencias (testigo).

Tratamiento 2: Eliminación de la primera inflorescencia al momento de cortar el brote o en el momento de su detección a simple vista previo al trasplante.

Tratamiento 3: Eliminación de las dos primeras inflorescencias al momento de cortar el brote o en el momento de su detección a simple vista previo al trasplante.

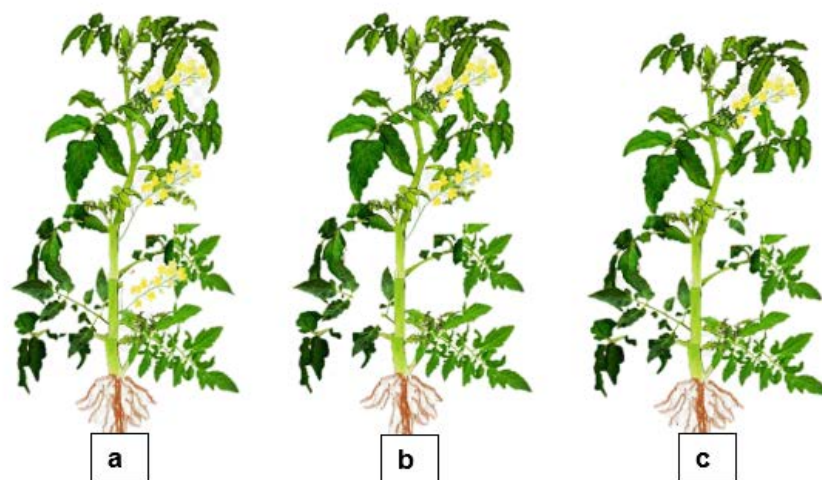


Figura 22. Representación esquemática de tratamientos donde a: Sin eliminación de inflorescencias, b: Eliminación de la primera inflorescencia y c: Eliminación de las dos primeras inflorescencias al momento del corte o antes del trasplante.

3.5.4. Variables evaluadas en etapa de semillero

- a) Altura de plántula: Esta variable se midió con un flexómetro en cm, se consideró la longitud del tallo desde el cuello de la raíz hasta el brote apical.
- b) Diámetro de tallo: Se midió en mm con un vernier electrónico, tomando la lectura la entre la segunda y tercera hoja de la plántula.
- c) Área foliar por planta: Se midió en cm^2 con un integrador de área foliar LI-3000A (LI-COR, Lincon, Nebraska); para tal caso, se realizó muestreo destructivo de las plántulas.
- d) Volumen de raíz. Se empleó el método de desplazamiento, el cual consistió en sumergir el total de raíces previamente lavadas y cortadas de la base del esqueje en un volumen conocido de agua contenida en una probeta. El volumen de raíz se expresó en cm^3 .
- e) Peso seco de plántula: Los tejidos de hoja, raíz y tallo se introdujeron en bolsa de papel Kraft y se sometieron al horno a 70°C durante 3 días; posteriormente se determinó el peso en gramos con una balanza.

3.5.5. Variables evaluadas en etapa reproductiva

- a) Altura de planta: Se midió en cm con ayuda de un flexómetro desde el cuello de la raíz hasta donde se hizo el despunte de la yema terminal.
- b) Diámetro de tallo: Se midió en mm con un vernier electrónico después de la segunda hoja basal.
- c) Ancho de planta: Se midió en cm con un flexómetro el diámetro máximo que ocupa cada planta sin extender las hojas, tomado como referencia la parte más ancha de la planta, que generalmente, es la parte media de la misma.
- d) Índice de área foliar (m^2 de hoja/ m^2 de superficie de invernadero): Para poder estimar esta variable primero se midió el largo y ancho de todas las hojas de las plantas muestreadas sin destruirlas, posteriormente se realizó muestreo destructivo en cinco plantas provenientes de esquejes y cinco de semilla, a las cuales se les midió largo y ancho y se determinó su área foliar mediante un integrador (LI 3000). Con esos datos se realizó una regresión lineal simple considerando el resultado del área foliar en el integrador y el producto de la multiplicación de largo por ancho de la hoja y se generaron los siguientes factores de corrección:

En plántulas provenientes de esqueje = $[(0.476) (x) - (435.76)]$

En plántulas provenientes de semilla = $[(0.5443) (x) - (561.34)]$

Donde x = al producto de la multiplicación de largo por ancho de la hoja, generando el área foliar estimada por hoja que, posteriormente se suman para dar como resultado el área foliar por planta; éste dato se multiplicó por el número de plantas establecidas en 1 m^2 de invernadero para obtener el índice de área foliar para cada tratamiento.

Estas primeras cuatro variables se determinaron al momento en que inició la cosecha. Posteriormente se determinó:

- e) Días a antesis de la primera flor: Se contabilizó el número de días transcurridos desde el trasplante hasta que al menos el 50 % de las plantas mostraran apertura floral (antesis) en cada repetición de cada tratamiento.
- f) Número de flores por racimo y por planta: Se contabilizaron las flores bien formadas por cada racimo cuando estaban completamente abiertas y se sumaron para obtener el número de flores por planta.
- g) Número de frutos por racimo y por planta (suma de todos los cortes): Se contabilizaron los frutos por cada racimo y se sumaron para obtener el número frutos por planta. Se consideraron como frutos cosechados aquéllos que tenían un tamaño aceptable en el mercado, excluyendo aquéllos que no se desarrollaron adecuadamente. Esta variable se estimó al finalizar la cosecha de los tres racimos.
- h) Peso medio de fruto por racimo y por planta: Se estimó con el dato de peso total de frutos por planta dividido entre el número de frutos cosechados por racimo y planta muestreada en cada repetición, y para cada uno de los tratamientos.
- i) Rendimiento por racimo y por planta: Se cuantificó el peso total de los frutos cosechados en cada racimo de cada planta muestreada y la suma de los tres racimos representó el rendimiento por planta. Esta variable se estimó desde el inicio a fin de cosecha de los tres racimos y los valores se expresaron en gramos por planta (g/planta).
- j) Días de trasplante a fin de cosecha: Corresponde al número de días que transcurrieron a partir del trasplante hasta la realización del último corte, en el cual se cosechó el 100 % de los frutos.

3.5.6. Conducción del experimento

Establecimiento de plantas madre

Para la siembra de las plantas madre a partir de semilla (variedad Pai Pai), se utilizó como sustrato una mezcla de peat-moss y perlita en proporción 1:1 (v:v).

El trasplante se realizó a los 30 días después de la siembra (dds) en camas de tezontle rojo (Figura 23). Se implementó un sistema de riego por goteo mediante cintillas con gotero integrado a cada 20 cm, en el cual se suministró la solución nutritiva concentrada al 50 % durante los primeros 15 días y de ahí hasta el fin de la del ciclo de cultivo a la concentración del 100 % (Sánchez y Escalante, 1989). La solución nutritiva con sus elementos y concentraciones al 100 % serán descritas más adelante en el manejo de los esquejes en semillero y en camas definitivas.



Figura 23. Trasplante de plantas madre en camas de tezontle rojo.

Fase de semillero

Construcción del microtúnel

Con el fin de garantizar condiciones favorables para el enraizamiento de los esquejes como una alta humedad relativa (80-90 %), baja intensidad lumínica (2500-3000 pie-bujía) y temperatura entre 15-25 °C dentro del invernadero, se construyó un microtúnel con malla agribón y alambre galvanizado liso de calibre 11, con dimensiones de 10 m de largo, 3 m de ancho y 2.5 m de altura. En el interior, se colocaron nebulizadores de baja presión cada 1.3 m. El agua se distribuyó mediante una bomba de 500 HP con retorno a un tinaco de 200 litros.

Para mayor sanidad, se desinfectó la parte interna y externa del microtúnel con sales cuaternarias de amonio al 5 %. En la parte superior externa del microtúnel, se colocó una malla sombra con una separación de 50 cm para permitir la ventilación, disminuir la radiación y en conjunto con la nebulización bajar la temperatura.

Establecimiento del ensayo

A los 80 días después del trasplante de las plantas madre, se procedió a colectar los brotes laterales de aproximadamente 15 cm de longitud con dos o tres hojas bien formadas. Inmediatamente después de la colecta, se realizó un corte en bisel con una navaja de Gillette en la parte basal del brote con la finalidad de promover mayor área para la formación de raíces. Esta navaja se desinfectó continuamente durante todo el proceso de corte y siembra del brote con sales cuaternarias de amonio al 5 %.

La siembra se realizó en charolas de 60 cavidades (200 cm³ de volumen por cavidad), rellenas de rellenas con peat moss como sustrato. En todos los tratamientos se ubicó un brote por cavidad a una profundidad de 3 a 4 cm. Inmediatamente después de la siembra se trasladaron todos los tratamientos al microtúnel antes descrito como se observa en la Figura 24.

Figura 24. Enraizamiento de esquejes de jitomate dentro del microtúnel.

Manejo de los esquejes en etapa de semillero

La eliminación de la primera y segunda inflorescencia en el tratamiento dos y tres respectivamente, se realizó de forma manual, una vez que se detectó en etapa de semillero (Figura 25). Sólo en unas pocas plantas del tratamiento con eliminación de las primeras inflorescencias, se realizó ya en las camas definitivas porque las flores aún no eran visibles.



Figura 25. Eliminación manual de las inflorescencias en esquejes de jitomate.

El riego se aplicó mediante un sistema de nebulización automática cada hora durante dos minutos, aplicando la solución nutritiva propuesta por Sánchez y Escalante (1989) a concentración del 50 % durante los primeros 15 días. Posteriormente con la concentración al 100 % hasta fin de cosecha la cual tenía los siguientes nutrimentos y concentraciones (mg L^{-1}): N=200, P=40, K=250, Ca=250, S=150, Mg=50, Fe=2, Mn= 0.1, Cu=0.1, Mn=1, B=0.5 y Zn=0.1.

Aclimatación de los esquejes

Con la finalidad de ir adaptando a las plántulas a las condiciones del lugar del trasplante, a los 12 días después de inicio del enraizado (ddie) los esquejes se trasladaron al área de aclimatación, la cual estaba ubicada dentro del mismo invernadero. Se ubicó como techo una cubierta de agribón a 3.5 m de altura

desde la base del suelo (Figura 26). En esta fase, el riego con solución nutritiva se realizó de forma manual dos veces al día.



Figura 26. Área de aclimatación de esquejes enraizados de jitomate.

Trasplante y manejo del cultivo

El trasplante se llevó a cabo en camas de cultivo de un metro de ancho rellenas con sustrato a base de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro a los 20 días después del inicio del enraizamiento (ddie). El cultivo se estableció a tres hileras a una distancia de 30 x 30 cm (10 plantas m⁻² útil de invernadero).

El mismo día del trasplante se colocó a cada planta un hilo de rafia con un anillo tutor para que éstas no se cayeran. Las plantas se condujeron a un solo tallo, eliminando los brotes laterales dos veces por semana cuando solamente tenían entre 3 y 5 cm de longitud.

El riego y la fertilización se efectuó con una solución nutritiva concentrada al 100 % y conducida a través de un sistema con cinta de goteo de polietileno flexible con goteros cada 20 cm, aplicando un riego cada hora durante 10 minutos desde

las 9:00 am a las 4:00 pm los primeros ocho días después del trasplante. Posteriormente y hasta la cosecha, los riegos se hicieron de tres a cuatro aplicaciones al día, cada uno de 15 minutos. Los nutrimentos y las concentraciones son las mismas que se describieron en el manejo de los esquejes en semillero.

Cuando todas las plantas tenían dos hojas bien formadas por encima del tercer racimo, se procedió a eliminar la yema apical para dejarlas a tres racimos. Además, cuando estaban bien formados y desarrollados los frutos del primer racimo se realizó poda de hojas con la finalidad de facilitar la aireación entre plantas, dejando una hoja por debajo del primer racimo.

A partir de la aparición de las primeras flores e inició la antesis, diariamente entre las 9:00 am y 11:30 pm, se movían los alambres que sujetaban a los tutores, con la finalidad de producir vibraciones en las plantas que favorecieran la polinización.

Para el control de plagas y enfermedades, el invernadero contaba con mallas antiáfidos en las ventanas laterales como modo preventivo. En etapa de semillero y después del trasplante hubo presencia de trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*). Para el controlar de trips se realizaron aplicaciones de Spinosad a dosis de 0.3 g/L de agua y se aplicó una sola vez en la fase de semillero y a inicios de la fructificación que fue donde los umbrales de esta plaga estaban más altos. Para el control de mosca blanca, se aplicó Revus (i.a imidacloprid al 23.4 %) a razón de 1.5 ml/L. Al final del ciclo hubo incidencia de tizón temprano (*Alternaria solani*), para su control se aplicó Amistar (i.a. Azoxistrobina 50%) y tizón tardío (*Phytophthora infestans*) para el cual se aplicó Ridomil Gold (i.a Metalaxil-M 3.30 % + Clorotalonil 33%) con dosis de 12 ml/L. También se aplicó Phytan (i.a sulfato de cobre pentahidratado) 5ml/L para el control de ambos tizones. Se realizaron aplicaciones cada ocho días desde la aparición de la enfermedad alternando los fungicidas antes descritos.

En el mes de diciembre cuando la temperatura del exterior del invernadero bajó a 5 °C, se programó el sistema de calefacción con un calefactor automático de gas a base de combustión directa. Se calibró con encendido automática a 5 °C y apagado a los 8 °C. Aunque no es lo deseable, el cultivo de tomate puede soportar temperaturas nocturnas de 5°C por dos horas máximo, por lo que en tiempo de heladas se requiere mantener la temperatura interior del invernadero, al menos en 8 °C (Sánchez y Moreno, 2017).

3.5.7. Análisis de datos

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

3.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.6.1. Variables evaluadas en etapa de semillero

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 33) muestran que, para las variables morfológicas evaluadas en semillero, no hay diferencia significativa para ninguna de las variables. Esto indica que la eliminación o no de la primera o segunda inflorescencia no ejerce ningún efecto sobre el crecimiento de las plántulas, razón por la cual todas se ubican dentro de la misma categoría estadística, como también se observa en el Cuadro 34 de comparaciones de medias.

Cuadro 33. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables evaluadas en etapa de semillero de plántulas de jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Bloque	3	1.1	0.02	937.3	1.2	0.2
Tratamiento	2	11.5 NS	0.2 NS	5671.2 NS	12.5 NS	0.5 NS
Error	6	8.2	0.3	4583.9	3.0	0.5
CV%		11.1	8.4	17.3	24.6	24.8
Media		25.9	6.0	391.7	7.1	2.8

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo

Cuadro 34. Comparación de medias entre tratamientos de variables evaluadas en etapa de semillero en plántulas de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Volumen de raíz (cm ³)	Peso seco de plántula (g)
Sin eliminación de inflorescencias	27.8 a	5.9 a	370.4 a	6.8 a	2.7 a
Eliminación de la 1ra. inflorescencia	24.5 a	6.3 a	369.4 a	5.5 a	2.5 a
Eliminación 1ra y 2da inflorescencia	25.3 a	5.9 a	435.1 a	9.0 a	3.2 a
DMS	6.2	1.1	146.9	3.8	1.5

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa.

Los valores de las variables evaluadas se encuentran dentro de los rangos óptimos para ser considerada una plántula de calidad, ya que Villega *et al.* (2000) menciona que una plántula con altura entre los 20-30 cm, con 4 ó 5 mm de diámetro de tallo y con 6 a 7 hojas, se considera que tiene los parámetros óptimos para el trasplante. Monge-Cerda (2007) reportaron un volumen de raíz que oscila entre 2.67 y 2.33 cm³ y un peso seco muy inferior a nuestros resultados con 0.44 g por planta con el mejor de sus tratamientos. Es importante considerar que todas estas variables morfológicas deben estar dentro del rango adecuado, ya que aseguran el éxito del cultivo después del trasplante en campo o camas de cultivo como mencionan Marković *et al.* (1997).

3.6.2. Variables evaluadas en etapa reproductiva

Variables morfológicas y días a antesis

En el análisis de varianza (Cuadro 35), se puede observar que hay diferencias altamente significativas en las variables altura de la planta, diámetro de tallo, área foliar y días a antesis, pero no en ancho de la planta.

Cuadro 35. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables morfológicas evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	Altura de la planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Bloque	3	72.4	0.3	0.2	4.5	1.0
Tratamiento	2	1215.1**	10.0**	9.5**	2.6 NS	138.3**
Error	6	20.5	1.0	0.09	1.1	0.6
CV%		4.3	6.9	6.0	2.6	5.3
Media		104.3	14.7	5.1	39.2	14.5

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

En plantas donde se eliminó las dos primeras inflorescencias, se encontró mayor altura (119.3 cm), mayor índice área foliar (6.6 m²) y más días a antesis (Cuadro 36); sin embargo, éstas tuvieron similar comportamiento al tratamiento donde

sólo se eliminó la primera inflorescencia para la variable diámetro de tallo. En ancho de la planta no se encontró efectos de tratamientos.

En cuanto al índice de área foliar, se muestra una clara tendencia de un incremento a medida que se eliminan más racimos. Esto se debe a que son plantas con mayor número de hojas, ya que se eliminaron los primeros racimos, pero no las hojas que antecedian a cada uno de ellos y que normalmente son de dos a tres para la variedad Pai Pai. Es importante mencionar que, para el manejo del cultivo de jitomate en altas densidades de población, no es muy conveniente tener plantas de mucha altura y demasiada área foliar, más bien se requieren plantas eficientes fotosintéticamente, pero con poca área foliar como mencionan Sánchez y Ponce (1998) y Sánchez *et al.* (2012).

El atraso en cuanto a la apertura floral (días a antesis), se debe a que, al eliminar los primeros racimos, las plantas necesitan tiempo para el crecimiento y desarrollo de uno nuevo.

Cuadro 36. Comparación de medias entre tratamientos de variables morfológicas evaluadas en la etapa reproductiva de plantas de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Altura de la planta (cm)	Diámetro (mm)	Índice de área foliar (m ²)	Ancho de la planta (cm)	Días a antesis
Sin eliminación de inflorescencias	85.2 c	12.9 b	3.6 c	39.4 a	8.5 c
Eliminación de la 1ra. inflorescencia	108.6 b	15.1 a	5.2 b	39.9 a	14.8 b
Eliminación 1ra. y 2da. inflorescencia	119.3 a	16.0 a	6.6 a	38.4 a	20.3 a
DMS	9.83	2.2	0.7	2.2	1.7

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

Variables del rendimiento y sus componentes

Al evaluar las variables de rendimiento y sus componentes por racimos, el análisis de varianza (Cuadro 37) indica que en número de flores hubo diferencias

significativas entre tratamientos solamente en el racimo 3, y en el número de frutos se encontraron diferencias solamente en el racimo 1. El peso medio de frutos fue igual para todos los racimos y el rendimiento fue diferente tanto en el racimo 1 como en el racimo 3.

Cuadro 37. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de rendimiento y sus componentes por racimo en plantas de jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	NFLR1	NFLR2	NFLR3	NFRR1	NFRR2	NFRR3
Bloque	3	0.5	1.9	0.4	0.6	0.1	0.95
Tratamiento	2	1.5 NS	1.0 NS	3.0**	13.0**	0.08 NS	1.5 NS
Error	6	0.5	3.4	0.3	0.6	1.1	0.4
CV%		10.8	26.5	8.3	14.6	16.6	11.0
Media		6.6	6.9	6.7	5.4	6.3	6.1

FV	GL	PMFR1	PMFRR2	PMFRR3	RER1	RER2	RER3
Bloque	3	10.3	55.7	162.4	4372.9	6810.9	25869.5
Tratamiento	2	15 NS	49.9 NS	78.3 NS	145314 **	3216 NS	30301.8**
Error	6	19.7	46.2	52.2	8463.9	16758.5	3059.6
CV%		4.0	6.1	5.9	15.3	18.5	7.6
Media		112.2	111.2	122.7	600.4	699.2	727.4

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **=Altamente significativo a una $P \leq 0.01$, NS= No significativo, NFLR1= Número de flores en el racimo uno, NFLR2= Número de flores en el racimo dos, NFLR3= Número de flores en el racimo tres, NFRR1= Numero de frutos en el racimo uno, NFRR2= Número de frutos en el racimo dos, NFRR3= Número de frutos en el racimo tres, PMFRR1= Peso medio de fruto en el racimo uno, PMFRR2= Peso medio de fruto en el racimo dos, PMFRR3= Peso medio de fruto en el racimo tres, RER1= Rendimiento del racimo uno, RER2= Rendimiento del racimo dos y RER3= Rendimiento del racimo tres.

En el Cuadro 38 se presentan las comparaciones de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) del número de flores y frutos por racimo; se puede observar que el número de flores en los racimos 1 y 2 (entre seis y siete por racimo) fue estadísticamente igual entre tratamientos, pero en el racimo 3, el tratamiento sin eliminación de inflorescencia formó al menos una flor más que los tratamientos con poda de una o dos inflorescencias (7.5 contra 5.8 y 6.7 flores, respectivamente). Sin embargo, al no eliminarse ninguna inflorescencia, el primer racimo fue fuertemente afectado en número de frutos, pues alrededor del 50 % de los frutos abortaron (Cuadro 38 y Figura 23). En los racimos 2 y 3, no se encontró tal efecto, observándose incluso la tendencia a formar un fruto más en el racimo 3. En peso medio de fruto no hubo ninguna diferencia entre eliminar o no la primera o

segunda inflorescencia en ninguno de los tres racimos, pero el rendimiento del primer racimo con el tratamiento sin eliminación de flores, disminuyó de manera significativa, seguramente como consecuencia de la alta aborción de frutos observada. En el racimo 2, no hubo diferencias entre tratamientos, pero en el racimo 3, el mismo tratamiento sin eliminación de flores con 820.6 g, rindió más que cuando se eliminó la primera inflorescencia, que tuvo en promedio 648.2 g. Esto debido posiblemente a la diferencia en el número de flores y fruto por inflorescencia entre tratamientos (Cuadro 38, Figura 28).

Cuadro 38. Comparación de medias entre tratamientos de variables del rendimiento y sus componentes por racimo en plantas de jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	NFLR1	NFLR2	NFLR3	NFRR1	NFRR2	NFRR3
Sin eliminación de inflorescencias	6.2 a	6.98 a	7.5 a	3.3 b	6.3 a	6.8 a
Eliminación de la 1ra. inflorescencia	6.3 a	7.4 a	5.8 b	6.0 a	6.5 a	5.6 a
Eliminación 1ra. y 2da. inflorescencia	7.3 a	6.4 a	6.7 ab	6.8 a	6.3 a	5.9 a
DMS	1.54	4.0	1.19	1.697	2.28	1.4
Tratamiento	PMFRR1	PMFRR2	PMFRR3	RER1	RER2	RER3
Sin eliminación de inflorescencias	114.0 a	107.4 a	122.2 a	387.7 b	668.8 a	820.6 a
Eliminación de la 1ra. inflorescencia	110.2 a	111.8 a	118.6 a	657.9 a	724.9 a	648.2 b
Eliminación 1ra. y 2da. inflorescencia	112.3 a	114.4 a	127.4 a	755.7 a	703.9 a	713.4ab
DMS	9.6	14.7	15.7	199.6	280.9	120

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$. DMS= diferencia mínima significativa, NFLR1= Número de flores en el racimo uno, NFLR2= Número de flores en el racimo dos, NFLR3= Número de flores en el racimo tres, NFRR1= Numero de frutos en el racimo uno, NFRR2= Número de frutos en el racimo dos, NFRR3= Número de frutos en el racimo tres, PMFRR1= Peso medio de fruto en el racimo uno, PMFRR2= Peso medio de fruto en el racimo dos, PMFRR3= Peso medio de fruto en el racimo tres, RER1= Rendimiento del racimo uno, RER2= Rendimiento del racimo dos y RER3= Rendimiento del racimo tres.

En las primeras etapas del crecimiento, la planta destina la mayor parte de los fotoasimilados en el desarrollo de las raíces (Wien, 1999), por lo que el primer racimo del tratamiento sin poda no cuenta con suficientes nutrientes para resistir

el estrés y como mecanismo de defensa, la planta aborta sus flores, aspecto que también se puede observar en la Figura 27. Según Howelett (1936) la baja fecundación de flores se asocia además de otros factores de tipo ambiental a un bajo suministro de asimilados. Es por esto que Chamorro-Castro (2002) y Harman y Kester (2014) consideran que las primeras flores que traen los esquejes al momento de colectarlos son indeseables, por lo que recomiendan eliminarlas para que las plantas destinen todos los carbohidratos disponibles al enraizamiento y desarrollo del esqueje, para formar un aparato fotosintético suficientemente fuerte para aportar posteriormente azúcares a las flores y frutos en desarrollo.



Figura 27. Tratamiento sin eliminación de inflorescencias con alta aborción de flores.

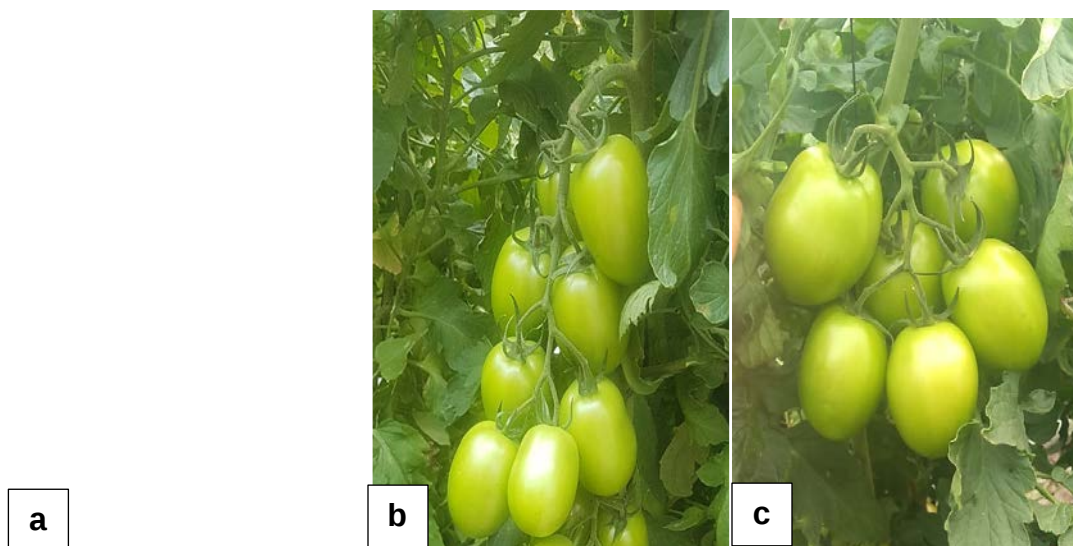


Figura 28. Rendimiento del racimo tres, a: Tratamiento sin eliminación de inflorescencias, b: Tratamiento con eliminación de la primera inflorescencia y c: Tratamiento con eliminación de las dos primeras inflorescencias.

El análisis de varianza (Cuadro 39) y comparaciones de medias (Cuadro 40) para las variables de rendimiento por planta y sus componentes número de flores por planta, número de frutos por planta y peso medio de fruto, muestran que no existen diferencias significativas para ninguna de las variables. En lo que sí hubo diferencias significativas entre tratamientos fue en días de trasplante a fin de cosecha, encontrándose que el tratamiento con eliminación de las dos primeras inflorescencias es donde este periodo se prolonga por más tiempo (120 días), seguido del tratamiento con eliminación de la primera inflorescencia (111 días); el tratamiento sin eliminación de inflorescencia fue el que tardó menor tiempo (103 días). Los resultados indican que existe una relación directa entre las variables días a antesis y días a trasplante, pues como lo destacan Atherton y Harris (1986), un retraso en la floración generalmente resulta en una cosecha atrasada, lo cual coincide con los resultados encontrados en este trabajo.

Cuadro 39. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables del rendimiento y sus componentes por planta en jitomate variedad Pai Pai.

FV	GL	Número de flores	Número de frutos	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Bloque	3	0.5	0.5	17.0	31773.8	0.8
Tratamiento	2	2.1 NS	5.3 NS	33.6 NS	99881.6 NS	297.8**
Error	6	4.2	2.0	24.1	27788.0	0.8
CV%		10.2	8.0	4.3	8.3	0.8
Media		20.1	17.8	114.9	2020.3	111.3

FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, CV= Coeficiente de variación, **= Altamente significativo a una $P \leq 0.01$. NS= No significativo.

Los valores en número de flores y frutos por planta encontrado, son similares a los reportados por Gómez (2018) quien al evaluar el volumen de sustrato para el enraizamiento de esquejes de la variedad Pai Pai, reportó 19.1 flores y 16.2 frutos promedios por planta y un tiempo transcurrido de trasplante a cosecha de 117 días, aun realizando el trasplante a los 17 ddie.

El rendimiento sin poda de inflorescencias fue de 1857 g/planta, equivalente a 12.3 kg/m² en un periodo de 103 días de trasplante a fin de cosecha, mientras que con la poda de dos inflorescencias el rendimiento por planta fue de 2172 g (14 kg/m²), pero en 120 días de trasplante a fin de cosecha.

Cuadro 40. Comparación de medias entre tratamientos de variables del rendimiento y sus componentes por planta en jitomate variedad Pai Pai.

Tratamiento	Número de flores	Número de frutos	Peso medio de fruto (g)	Rendimiento por planta (g)	Días de trasplante a fin de cosecha
Sin eliminación de inflorescencias	20.5 a	16.5 a	113.0 a	1857.0 a	102.8 c
Eliminación de la 1ra. inflorescencia	19.3 a	18.0 a	113.5 a	2031.0 a	111.0 b
Eliminación 1ra. y 2da. inflorescencia	20.5 a	18.8 a	118.3 a	2172.8 a	120.0 a
DMS	4.4	3.1	10.7	361.7	1.9

Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

3.8. CONCLUSIONES

La eliminación de una o dos inflorescencias de esquejes enraizados de jitomate, no tuvo ningún efecto en las variables morfológicas evaluadas en etapa de semillero, pero en etapa reproductiva, la eliminación de las dos primeras inflorescencias dio lugar a plantas con mayor altura, diámetro y área foliar y ocasionó un retraso en días a antesis.

Cuando a los esquejes de jitomate no se les eliminó inflorescencia alguna, el primer racimo se afectó, por lo que produjo menos flores y menos fruto que con poda de una o dos inflorescencias. Sin embargo, el tercer racimo produjo una flor y un fruto más.

La poda de una o dos inflorescencias en esquejes enraizados de jitomate, no afecta el rendimiento por planta, pero ocasiona un retraso en días a antesis y a fin de cosecha.

3.7. LITERATURA CITADA

- Aguilar, M. 2012. Efecto de la luz suplementaria en la producción de plántula en tomate (*Solanum lycopersicum*. L). Tesis de grado. Universidad autónoma Chapingo. Texcoco-México. 108 p.
- Atherton, J. G.; Harris, G. P. 1986. Flowering. *In*: The Tomato crop. A scientific basis for improvement. Atherton, J. G.; Rudich, J. (eds.) Chapman and Hall, Londres, England. Pp: 166-200.
- Bastida T., A. 2011. Los Invernaderos y la Agricultura Protegida en México. Serie de Publicaciones Agribot. Departamento de Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. 415 p.
- Chamorro-Castro, J. F. 2002. Evaluación de nueve variedades de Crisantemo (*Dendrathera x grandiflorum kitamura*) en Zamorano. Tesis de licenciatura, zamorano-Honduras. 40 p.
- De Anda M., L. E. 2018. Despuntes tempranos en tres cultivares de jitomate a diferentes densidades de población, en condiciones de hidroponía e invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 65 p.

- Felipe, C. 2017. Efecto de la aplicación de citocininas en plántulas de jitomate para estimular la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 60 p.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2019. Panorama agroalimentario Tomate rojo. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310> (consultado en agosto de 2020).
- Hartmann & Kester's. 2014. Plant Propagation. Principles and Practices. (7th ed) Pearson Education Limited. 927 p.
- Hernández, B. 2004. Efecto de luz suplementaria sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en altas densidades de población. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 96 p.
- Juárez, L. G.; Sánchez del C., F. y Contreras, M., E. 2000. Efectos del manejo de esquejes sobre el rendimiento de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en hidroponía. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 19-23.
- Markovié, V., M. Djurovka y Z. Ellin. 1997. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. Acta Hort. 162: 163-169.
- Méndez, G. T.; Sánchez, del C., F.; Sahagún C., J.; Contreras M., E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. Revista Chapingo, Serie horticultura 11(1): 185-192.
- Monge -Cerdas, A.S. 2007. Evaluación del crecimiento y desarrollo de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* mil) y chile dulce (*Capsicum annuum* linn) mediante la utilización de seis sustratos y tres métodos de fertilización en el cantón de San Carlos, Costa Rica. Tesis de grado. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 109 p.
- Moreno P., E. del C.; Sánchez del C., F., González, M. L., Contreras M., E.; y Messina, F. R. 2016. Métodos de enraizamiento de esquejes para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico. Revista Agroproductividad 9(10): 50-55.
- Moreno P., E. del C.; Sánchez del C., F.; González, M. L., Contreras M., E.; y Messina, F. R. 2016. Métodos de enraizamiento de esquejes para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico. Revista Agroproductividad 9(10): 50-55.

- Ponce O., J. 1998. Efecto de modificaciones al ambiente y las relaciones fuente-demanda sobre la floración de jitomate. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. UACH, Chapingo. México. 70 p.
- Portillo, 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. Universidad Autónoma Chapingo. México. 185 p.
- Sánchez del C. F. y Moreno P. E del C. 2017. Diseño Agronómico y Manejo de Invernaderos. Serie Agricultura Protegida No. 1. Universidad Autónoma Chapingo. México. 405 p.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Contreras M., E. 2012. Development of alternative commercial soilless production systems I: Tomato. (Proceedings of the Second International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics) Acta Horticulturae 947: 179-187.
- Sánchez del C. F.; Escalante R. 1988. Hidroponía: un sistema de producción. UACH. Chapingo, México (3ra ed.). México.
- Sánchez del C., F. y Ponce, O. J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia. Revista Chapingo, Serie Horticultura 4(2): 89-94.
- Sánchez del C., F. y Santos, M. J. 2003. Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. Fitotecnia Mexicana 26(4): 257-262.
- Sánchez del C., F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V.; and Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. Rev. Fitotec. Mex. 21: 1-13.
- Sánchez del C., F., Moreno P., E. del C., Contreras M., E. 2012. Development of alternative comercial soilless production systems I. Tomato. Acta Horticulturae 947: 179-187.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Coatzín, R. R. Colinas L., M. T. Peña, L. M. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. Revista Chapingo Serie Horticultura 16: 207-214.
- Statistical Analysis System (SAS, Institute). 2002. SAS/STAT 9.1 user's guide. Cary, NC, USA:

<https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugintroduction/61750/PDF/default/statugintroduction.pdf>.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2018). Atlas Agroalimentario. Ciudad de México, México: SAGARPA. 222 p.

Ucan, I.; Chan, F.; Sánchez del C., F; Contreras M., E. y Corona S. T. 2005. Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en jitomate. *Fitotecnia Mexicana* 28(1): 33-38.

Villegas, O.; Rodríguez, N.; Trejo, L.; Alcantar G. 2000. Potencial de la miel de abeja en la nutrición de plántulas de tomate. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados UACH. *Terra Latinoamericana*. 19(1): 97-102.

VI. CONCLUSIÓN GENERAL

Los resultados obtenidos muestran que, para un sistema de producción de jitomate en alta densidad de población, es posible utilizar esquejes enraizados en vez de semilla híbrida, lo que se convierte en una alternativa económicamente viable, ya que se logra bajar de manera importante los costos de producción que se elevan con la compra de semillas híbridas de alto precio en el mercado.

Con base en los resultados obtenidos se pueden hacer las siguientes recomendaciones técnicas generales:

VII. RECOMENDACIONES GENERALES

Es recomendable realizar el trasplante temprano de esquejes (20 días después del enraizado), ya que a medida que se retrasa el trasplante hay una tendencia a reducirse el rendimiento.

Para el enraizamiento de esquejes, se puede utilizar peat-moss, tezontle rojo, la mezcla de éstos o bien directamente en solución nutritiva; sin embargo, hay que considerar la disposición económica del productor para elegir los sustratos que sean de menor costo.

La eliminación de inflorescencias de los esquejes tuvo algunos efectos en cada racimo formado; sin embargo, el rendimiento final por planta fue el mismo, por lo que no se recomienda hacer poda de inflorescencias, ya que ocupa mano de obra y por lo tanto un costo de producción adicional.