



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA
COORDINACIÓN GENERAL DE POSGRADO**

**EFFECTOS DE DENSIDAD DE POBLACIÓN, VOLUMEN DE CONTENEDOR,
PACLOBUTRAZOL Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE
PLÁNTULA Y FLORACIÓN DE JITOMATE**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA**



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

PRESENTA:

MARIO RUIZ DÍAZ

Bajo la dirección de: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

Chapingo, México, Junio de 2019.



**EFFECTOS DE DENSIDAD DE POBLACIÓN, VOLUMEN DE CONTENEDOR,
PACLOBUTRAZOL Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE
PLÁNTULA Y FLORACIÓN DE JITOMATE**

Tesis realizada por **MARIO RUIZ DÍAZ**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR 
Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR 
MC. Esaú del Carmen Moreno Pérez

ASESOR 
Dr. Efraín Contreras Magaña

Chapingo, México, Junio de 2019

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE CUADRO	VI
LISTA DE FIGURAS	XIV
AGRADECIMIENTO	XV
DEDICATORIA	XVI
DATOS BIOGRÁFICOS	XVII
RESUMEN GENERAL	XVIII
GENERAL ABSTRACT	XIX
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	20
1.1. OBJETIVOS GENERALES	25
1.2. HIPÓTESIS GENERAL	25
1.3. HIPÓTESIS PARTICULARES	26
2. REVISIÓN DE LITERATURA	28
2.1. IMPORTANCIA MUNDIAL DEL JITOMATE	28
2.2. IMPORTANCIA NACIONAL DEL JITOMATE	28
2.3. PRODUCCIÓN DE JITOMATE BAJO INVERNADERO E HIDROPONÍA	29
2.4. SISTEMA CONVENCIONAL DE PRODUCCIÓN DE JITOMATE BAJO INVERNADERO ..	30
2.5. SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN ALTAS DENSIDADES DE POBLACIÓN	31
2.6. MORFOLOGÍA Y DIFERENCIACIÓN FLORAL EN JITOMATE	34
2.7. DURACIÓN DE LA FASE VEGETATIVA	36
2.8. CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA FLOR	37
2.9. RETARDANTE DE CRECIMIENTO EN EL DESARROLLO DE LA INFLORESCENCIA	38
2.10. PACLOBUTRAZOL	40

2.11. LUZ SUPLEMENTARIA	42
2.12. TAMAÑO DE CONTENEDORES	46
2.13. LITERATURA CITADA.....	48
3. DENSIDAD DE POBLACIÓN, VOLUMEN DE CONTENEDOR Y PACLOBUTRAZOL SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULA Y NÚMERO DE FLORES EN JITOMATE¹	57
3.1. RESUMEN.....	57
3.2. ABSTRACT	58
3.3. INTRODUCCIÓN	59
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	63
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
3.5.1. Variables morfológicas	68
3.5.1.1. Densidad de población baja (150 plántulas/m ²) con charolas de 60 cavidades.....	68
3.5.1.2. Densidad de población media (300 plántulas/m ²) con charolas de 60 cavidades.....	71
3.5.1.3. Densidad de población alta (900 plántulas/m ²) con charolas de 200 cavidades.....	74
3.5.1.4. Densidades de población en los testigos	76
3.5.1.5. Discusión sobre variables morfológicas en plántulas.....	78
3.5.2. Número de flores por inflorescencia y total por planta.....	82
3.5.2.1. Densidad de población baja (150 plántulas/m ²) con charolas de 60 cavidades.....	82
3.5.2.2. Densidad de población media (300 plántulas/m ²) con charolas de 60 cavidades.....	83
3.5.2.3. Densidad de población alta (900 plántulas/m ²) con charolas de 200 cavidades.....	84

3.5.2.4. Comparación entre testigos para las tres densidades	86
3.5.2.5. Comparación del número de flores entre inflorescencias	87
3.5.2.6. Discusión sobre el número de flores por inflorescencia	87
3.5.3. Rendimiento y sus componentes	89
3.5.3.1. Densidad de población baja (150 plántulas/m ²) con charolas de 60 cavidades	89
3.5.3.2. Densidad de población media (300 plántulas/m ²) con charolas de 60 cavidades	92
3.5.3.3. Densidad de población alta (900 plántulas/m ²) con charolas de 200 cavidades	95
3.5.3.4. Comparación entre testigos para las tres densidades	97
3.5.3.5. Comparación del número de frutos y rendimiento entre racimos	99
3.6. CONCLUSIONES	100
3.7. LITERATURA CITADA	103
4. PACLOBUTRAZOL Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULA Y NÚMERO DE FLORES EN JITOMATE¹	107
4.1. RESUMEN	107
4.2. ABSTRACT	108
4.3. INTRODUCCIÓN	109
4.4. MATERIALES Y MÉTODOS	113
4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	116
4.5.1. Variables morfológicas	116
4.5.2. Número de flores por inflorescencia y total por planta	124
4.5.3. Rendimiento y sus componentes	128
4.6. CONCLUSIONES	135
4.7. LITERATURA CITADA	136
5. CONCLUSIONES GENERALES	140

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	68
Cuadro 2. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	68
Cuadro 3. Comparaciones de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	70
Cuadro 4. Comparaciones de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	71
Cuadro 5. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	72

Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	72
Cuadro 7. Comparaciones de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	73
Cuadro 8. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	74
Cuadro 9. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ² en charolas de 200 cavidades..	75
Cuadro 10. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ² en charolas de 200 cavidades.	76
Cuadro 11. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en plántulas establecidas a tres densidades de población.....	77

Cuadro 12. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en plántulas establecidas a dos densidades de población.	77
Cuadro 13. Cuadrados medios y niveles de significancia en número de flores de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	82
Cuadro 14. Comparación de medias en el número de flores en los primeros tres racimos y por planta de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	83
Cuadro 15. Cuadrados medios y niveles de significancia en número de flores de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	84
Cuadro 16. Comparación de medias en el número de flores en los primeros tres racimos y por planta del jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	84
Cuadro 17. Cuadrados medios y niveles de significancia en número de flores de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ²	85

Cuadro 18. Comparación de medias en el número de flores en los primeros tres racimos y por planta del jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ²	85
Cuadro 19. Cuadrados medios y niveles de significancia para número de flores por inflorescencia y por planta de jitomate (variedad Cid) provenientes de plántulas establecidas en semillero a tres densidades de población.	86
Cuadro 20. Comparación de medias en el número de flores en las tres primeras inflorescencias y por planta de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas en semillero a tres densidades de población.	86
Cuadro 21. Cuadrados medios y niveles de significancia en el número de flores de jitomate (variedad Cid) comparando las tres inflorescencias en tres densidades de población de plántulas.	87
Cuadro 22. Comparación de medias en el número de flores de jitomate (variedad Cid) en cada una de las inflorescencias de plantas de jitomate en tres densidades de población de plántulas.	87
Cuadro 23. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	89
Cuadro 24. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	90

Cuadro 25. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	90
Cuadro 26. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	92
Cuadro 27. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	93
Cuadro 28. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	93
Cuadro 29. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	94
Cuadro 30. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	94

Cuadro 31. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ²	95
Cuadro 32. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ²	96
Cuadro 33. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ²	96
Cuadro 34. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m ²	97
Cuadro 35. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.	98
Cuadro 36. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.	98
Cuadro 37. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.	98

Cuadro 38. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.....	98
Cuadro 39. Cuadrados medios y niveles de significancia en productividad de jitomate (variedad Cid) promedio de tratamientos, comparando en los tres racimos y tres densidades de población de plántulas.	99
Cuadro 40. Comparación de medias en la productividad de jitomate (variedad Cid) promedio de tratamientos, comparando racimos y densidades de población de plántulas.....	100
Cuadro 41. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	117
Cuadro 42. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	118
Cuadro 43. Comparación de medias para indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en relación a dos condiciones de luz suplementaria.....	118
Cuadro 44. Cuadrados medios y niveles de significancia en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	119
Cuadro 45. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	120

Cuadro 46. Comparación de medias para indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en relación a dos condiciones de luz suplementaria.....	120
Cuadro 47. Cuadrados medios y niveles de significancia en la floración de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria en la etapa de semillero establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	125
Cuadro 48. Comparación de medias en la floración de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	125
Cuadro 49. Comparación de medias en la floración de jitomate (variedad Cid), en respuesta a dos condiciones de luz suplementaria en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m ²	126
Cuadro 50. Cuadrados medios y niveles de significancia en fructificación de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria en la etapa de semillero establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	128
Cuadro 51. Cuadrados medios y niveles de significancia en productividad de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria en la etapa de semillero establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ²	129
Cuadro 52. Comparación de medias en fructificación de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ² hasta los 60 días después de la siembra.	129

Cuadro 53. Comparación de medias en productividad de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ² hasta los 60 días después de la siembra.	130
Cuadro 54. Comparación de medias en fructificación de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes condiciones de luz suplementaria en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ² hasta los 60 días después de la siembra.	131
Cuadro 55. Comparación de medias en productividad de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes condiciones de luz suplementaria en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m ² hasta los 60 días después de la siembra.	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en altura de planta a los 60 dds.	121
Figura 2. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en grosor del tallo a los 60 dds.	121
Figura 3. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en el rendimiento del primer racimo.	132
Figura 4. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en el rendimiento por planta.	132
Figura 5. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en peso medio del fruto.	133

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a **DIOS** por haberme levantado las fuerzas y por otorgarme la sabiduría necesaria para poder culminar mi etapa de profesión en grado de maestría.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por apoyarme en el financiamiento de la beca, y poder culminar mis estudios de posgrado de manera satisfactoria.

A la **Universidad Autónoma Chapingo (UACH)**, por otorgarme todos los servicios necesarios para poder culminar este posgrado.

Al **Dr. Felipe Sánchez Del Castillo**, por su calidad profesional, experiencia y conocimiento experto en el tema, así como la comprensión y tiempo invertido en la revisión de la investigación.

Al **Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez**. Por su participación para poder llevar a cabo esta investigación.

Al **Dr. Efraín Contreras Magaña**. Por su calidad profesional, y la solidez comprensión del tema de investigación y sobre todo por la calidad humana.

DEDICATORIA

**A mis padres: Marcos y Juana.
A mi esposa: Angélica Concepción.
A mis hijos: Cristian Emmanuel y Mario David.**

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre :	Mario Ruiz Díaz
Fecha de nacimiento:	19 de enero de 1989
Lugar de nacimiento:	Paraje Tzutzben, Larraínzar, Chiapas
CURP:	RUDM890119HCSZZR08
Profesión:	Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia
Cédula Profesional:	10264378

FORMACIÓN ACADÉMICA

Preparatoria: 2006-2009:	COBACH PLANTEL 60, Larraínzar, Chiapas
Licenciatura 2010-2015:	Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.
Maestría: 2017-2019:	Maestro en Ciencias en Horticultura. Instituto en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.

EFFECTOS DE DENSIDAD DE POBLACIÓN, VOLUMEN DE CONTENEDOR, PACLOBUTRAZOL Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULA Y FLORACIÓN DE JITOMATE¹

RESUMEN GENERAL

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de densidad de población de plántulas, volumen de contenedor, aplicaciones de paclobutrazol y luz suplementaria, sobre vigor y calidad de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) para lograr trasplantes de 60 días después de siembra (dds), y promover más flores por inflorescencia y con ello mayor rendimiento. Se establecieron dos experimentos bajo hidroponía e invernadero. En el primero se evaluó tres dosis de paclobutrazol (0, 25, 50 mg L⁻¹) a los 20, 30 y 40 dds, en tres densidades de población (900, 300 y 150 plántulas/m²) en charolas con volúmenes de sustrato de 30, 250, 250 mL; se usó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En el segundo se evaluó una dosis de paclobutrazol (50 mg L⁻¹), con una aplicación a los 20 ó 30 dds o dos aplicaciones (20 y 30 dds), sin y con luz suplementaria nocturna. Aquí el diseño fue bloques al azar en parcelas divididas con ocho repeticiones. Se evaluaron variables morfológicas y del rendimiento, y se hizo análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey (P= 0.05). Con la densidad de 150 y 300 plántulas/m² combinado con el volumen de sustrato de 150 ml, se aumentó la altura, el grosor del tallo y área foliar, y se redujo el área foliar específica. Con la aplicación de paclobutrazol y luz suplementaria se obtuvieron más flores en la segunda y tercera inflorescencia, y se incrementó el rendimiento por planta. En general con las densidades de 150 y 300 plántulas/m², con mayor volumen de sustrato y aplicaciones de paclobutrazol, se disminuye la altura de planta, lo que favorece el trasplante con plántulas de 60 días de edad y lograr un ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha en menos de 90 días.

Palabras claves: Vigor, manejo del semillero, suplemento de radiación, retraso de crecimiento.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Mario Ruiz Díaz

Director de Tesis: Dr. Felipe Sánchez del Castillo

EFFECTS OF POPULATION DENSITY, CONTAINER VOLUME, PACLOBUTRAZOL AND SUPPLEMENTARY LIGHT ON SEEDLING QUALITY AND TOMATO FLOWERING²

GENERAL ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of seedling population density, container volume, paclobutrazol and supplemental light applications on the vigor and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings to achieve 60 days after sowing (das) transplants, and to promote more flowers per inflorescence and thus higher yields. Two experiments were established under hydroponics and greenhouse. In the first, three doses of paclobutrazol (0, 25, 50 mg L⁻¹) were evaluated at 20, 30 and 40 das, in three population densities (900, 300 and 150 seedlings m⁻²) in trays with substrate volumes of 30, 250, 250 ml; a complete random block design was used with four repetitions. In the second, a dose of paclobutrazol (50 mg L⁻¹) was evaluated, with one application at 20 or 30 das or two applications (20 and 30 das), without and with supplementary night light. Here the design was random blocks in divided plots with eight replicates. Morphological and yield variables were evaluated, and variance analysis and comparisons of Tukey means (P=0.05) were made. With the density of 150 and 300 seedlings m⁻² combined with the volume of 150 ml substrate, the height, stem thickness and leaf area were increased, and the specific leaf area was reduced. The yield per plant increased and more flowers were obtained with the application of paclobutrazol and supplementary light in the second and third inflorescence. In general, with densities of 150 and 300 seedlings m⁻², with a greater volume of substrate and applications of paclobutrazol, the plant height is decreased, which favors transplanting seedlings with 60-days-old and achieve a transplant crop cycle at the end of harvest in less than 90 days.

Key words: vigor, seedling management, radiation supplement growth retardation.

²Thesis of Horticultural Sciences MSc program, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Mario Ruiz Díaz

Director de Tesis: Dr. Felipe Sánchez del Castillo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El sector de las hortalizas tiene singular importancia en la agricultura, tanto nacional como internacional. A escala mundial las hortalizas ocupan el segundo lugar de importancia entre los productos agropecuarios, siendo apenas superados por los cereales (Muñoz *et al.*, 1995)

En particular el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) Es un cultivo con gran influencia y derrama económica sobre otros sectores que subsisten de su producción y comercialización. En México se producen 3,467,707.28 toneladas de jitomate, de los cuales el 50 % se exporta en varios países, principalmente a Estados Unidos, generando un valor de 1,345.1 millones de dólares. Los principales estados productores son Sinaloa con 17.1 %, seguido de Baja California con 15 % y Jalisco con 8.6 % del total de las toneladas producidas; en todos los meses de año se producen jitomates, la mayor cantidad se obtiene en febrero, marzo, y noviembre, los porcentajes de cada mes son 11.5 %, 10.6 % y 11.6 % del total de la producción (SIAP, 2016).

El sistema de cultivo de jitomate en invernadero que más se ha impuesto a nivel comercial en México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, en densidades de población de 2 a 3 plantas m⁻², donde los tallos de las plantas se dejan crecer hasta más de 7 m de longitud, para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año. En condiciones hidropónicas bajo este sistema de manejo, en Holanda se han reportado rendimientos de más de 500 t/ha/año con invernaderos de alta tecnología que permiten un excelente control de las condiciones ambientales (Peet y Welles, 2005; Resh, 2004). Aunque el rendimiento es alto, es importante resaltar que el ciclo de cultivo es muy largo (10 a 11 meses), con un periodo de inicio a fin de cosecha de seis a siete meses; además, es de difícil manejo técnico en cuanto a las prácticas culturales a realizar y a la prevención y control de plagas y enfermedades; todo ello deriva en un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005).

Para productores que cuentan con menos de una hectárea de invernaderos y que suman el 98 % del total de las empresas con esta tecnología en México (Sánchez *et al.*, 2009), un problema adicional es que el periodo de cosecha es muy largo (cinco a siete meses) y el precio de venta en los mercados a los que se puede acceder es muy fluctuante, por lo que su beneficio económico es muy limitado.

Varios trabajos de investigación realizados en la Universidad Autónoma Chapingo (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez *et al.*, 1991; Sánchez y Corona, 1994; Ponce, 1995) y experiencias a escala comercial con productores, han validado un sistema alternativo para conducir las plantas a un solo tallo y realizar despuntes temprano (eliminar la yema terminal de las plantas) para dejar uno, dos o tres racimos. Así, el ciclo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta de 10 o más meses a un periodo de 3 a 4 meses (según la edad de la planta al trasplante), y en un esquema de producción continua se han podido obtener tres ciclos por año y, por lo tanto, mayor productividad anual que en los sistemas convencionales (Sánchez *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2007); además, por lo concentrado del periodo de cosecha, ésta se puede programar para obtenerla en las ventanas de mercado donde los precios del producto son mayores, con lo que se obtiene mayor beneficio económico para el productor (Sánchez *et al.*, 2012).

Debido a la poca altura de las plantas lograda con este manejo, el menor rendimiento por planta en un ciclo de cultivo se compensa parcialmente por el establecimiento de altas densidades de población (9 plantas m⁻² de invernadero), lo cual es posible porque, con el despunte temprano, cada planta forma menos área foliar (Sánchez y Ponce, 1998).

En este sistema generalmente se manejan camas de cultivo de 1 a 1.2 m de ancho, en distribución de cuatro hileras de plantas separadas por pasillos de 0.5 a 0.6 m de ancho. Al respecto, Sánchez *et al.* (2012) mencionan que los rendimientos logrados han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencialmente 500 a 600 t/ha/año) y esto sin la necesidad de invernaderos de alta tecnología.

Aunque este paquete tecnológico de producción ya se ha estado validando con éxito a escala comercial con productores, se piensa que es posible incrementar aún más el rendimiento y el beneficio económico anual por unidad de superficie mediante dos estrategias: 1) Acortando el ciclo de cultivo a menos de 3 meses para obtener cuatro ciclos por año en vez de tres. 2) Promoviendo la formación de más flores y frutos en cada una de las tres inflorescencias dejadas por planta.

Para el primer caso, se debe encontrar un manejo adecuado del semillero para lograr plántulas que se puedan trasplantar hasta una edad más avanzada (55 a 60 días después de la siembra) sin efectos adversos posteriores que se pudieran traducir en menos rendimiento, en vez de los 30 días al trasplante que se usan para los semilleros en los sistemas convencionales, o los 40 a 45 días que se han empleado en el sistema de producción a tres racimos por planta.

Resh (2004) menciona que la producción potencial de una planta aparece pronto en su ciclo de vida. Una plántula delgada y débil limitará el flujo del agua y los nutrientes a la planta cuando crezca, debido a su escaso diámetro de tallo. La producción será menor que lo que genéticamente es capaz de producir en óptimas condiciones ambientales. Las plántulas débiles serán fácilmente infectadas por enfermedades y plagas y estarán expuestas al encamado.

Por eso es importante estudiar algunos factores como la densidad de las plántulas por unidad de superficie, volúmenes de sustrato por plántula, factores ambientales controlados como luz suplementaria, detención temporal del crecimiento con retardadores químicos, etc.

Con respecto a la estrategia de formar más flores y frutos por inflorescencia, se tienen los siguientes antecedentes:

Adams (1982) muestra con ejemplos en varias especies de plantas cultivadas, que el tamaño que alcanza el meristemo apical antes de la iniciación de la inflorescencia, está altamente correlacionado con la productividad de la planta y determina en gran medida el número de flores. Subraya que el tamaño del

meristemo, es resultado de la frecuencia de la división y de la expansión celular que tiene lugar en la interface de vegetativo a reproductivo y que esto, a su vez, depende de la tasa de fotosíntesis y de la distribución de asimilados.

Hurd y Cooper (1970), Calvert (1973), Aung (1978) y Picken *et al.* (1986), mencionan que el carácter inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más flores por racimo que los racimos simples), o simplemente la formación de más flores por racimo, si bien tienen un componente genético, se pueden promover más flores mediante modificaciones temporales del ambiente (luz, temperatura, CO₂, nutrición) o del manejo de las relaciones fuente-demanda (poda de hojas que están iniciando su crecimiento), uso de hormonas o reguladores de crecimiento, etc.

La fase en que el número de flores puede ser afectado por el ambiente (periodo sensitivo) empieza unos ocho días después de la expansión de los cotiledones y continúa por una o dos semanas más, coincidiendo con el momento en que la tercera hoja formada sobrepasa los 10 mm de longitud (Calvert, 1964; Hurd y Cooper, 1970; Ho, 1984).

Dinar y Rudich (1985) y Charles-Edwards *et al.* (1986), plantean que el número de primordios (entre ellos de flores) que puede ser sostenido por un cultivo declina de manera casi lineal con el aumento de la temperatura media del aire. Durante el periodo inmediatamente anterior y posterior al inicio de la floración, el aumento de temperatura acelera la respiración de toda la planta y, por lo tanto, aumenta la demanda de asimilados para sostener en crecimiento de cada primordio; si el suministro de asimilados por día no se mantiene constante, habrá mayor aborción de primordios y por lo tanto menos de ellos podrán mantener su crecimiento para formar flores.

Abdul *et al.* (1978), Picken *et al.* (1986) y Atherton y Harris (1986), entre otros autores, coinciden en señalar que retardadores del crecimiento como Cicocel (CCC), aplicados foliarmente al principio de la iniciación floral, frecuentemente

ocasionan aumentos en el número de flores y en el porcentaje de frutos amarrados.

Los mismos factores que se estudian para lograr plántulas de más edad, densidad de las plántulas por unidad de superficie, volúmenes de sustrato por plántula, luz suplementaria y retardadores del crecimiento, merecen ser estudiados también en cuanto a su posible efecto en la formación de un mayor número de flores por inflorescencia.

Uchigasaki *et al.* (2003) mencionan que los establecimientos de los semilleros y velocidad del crecimiento depende de la velocidad con que el sistema de raíces se desarrolla, pero las condiciones en que crece la raíz tienen grandes repercusiones físicas y fisiológicas en las etapas tempranas de crecimiento de las plántulas en semillero, observándose que cuando las plántulas crecen en contenedores muy pequeños las raíces sufren una poda natural y cuando exploran todo el sustrato salen por los orificios de los contenedores y se presenta una exposición al aire, que le causa deshidratación y muerte de los ápices radicales (Lescovar y Stofella, 1995; Uchigasaki *et al.*, 2003). El tamaño del contenedor afecta el crecimiento de las raíces, brotes apicales, distribución y acumulación de biomasa (Pereira y Martínez, 1999), fotosíntesis, contenido de clorofila en las hojas, relación de agua en la planta, absorción de nutrientes, respiración, floración y rendimientos de las plantas (Cantliffe, 1993; Nesmith y Duval, 1998). Un mayor volumen de sustrato por plántula en el semillero acelera el desarrollo y puede mejorar el rendimiento final del cultivo (Walters *et al.*, 2005).

En etapa de plántula, con la aplicación de un retardador del crecimiento como el paclobutrazol, se pueden formar plantas con entrenudos más cortos y hojas con menor área foliar, lo que posibilita mantener a las plántulas más tiempo en el semillero sin efectos adversos posteriores al trasplante (Berova y Zlatev, 2000). Además, la detención temporal del ritmo de crecimiento de tallos y hojas, favorece una mayor disponibilidad de fotoasimilados para el desarrollo de las inflorescencias, dado que se reduce su consumo por efectos de una menor respiración de crecimiento (Morales, 2008).

Mayor espaciamiento entre plántulas aunado a mayor volumen del sustrato en cada plántula, permite mantener más tiempo las plántulas en el semillero y prolongar el trasplante sin ningún efecto de competencia por luz o restricciones en el crecimiento de la raíz que afecten negativamente el crecimiento y desarrollo después del trasplante (Nesmith y Duval, 1998; Sakurai *et al.*, 2007).

Con el manejo de luz suplementaria nocturna durante la iniciación floral se promueve más fotosíntesis de las plántulas por día y por lo tanto se espera más disponibilidad de asimilados para cada primordio de flor, lo que eventualmente puede ocasionar una disminución en el porcentaje de aborto promoviendo la formación de más flores por inflorescencia (Contreras, 2007).

1.1. OBJETIVOS GENERALES

1. Evaluar los efectos de densidad de población de plántulas, volumen de contenedor, aplicaciones de Paclobutrazol, luz suplementaria nocturna y algunas interacciones entre estos factores, sobre aspectos morfológicos relacionados con vigor y calidad de plántulas de jitomate a fin de lograr su trasplante hasta los 55 a 60 días de edad sin efectos adversos posteriores.
2. Evaluar los efectos de densidad de población de plántulas, volumen de contenedor, aplicaciones de Paclobutrazol, luz suplementaria nocturna y algunas interacciones entre estos factores, sobre la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias.

1.2. HIPÓTESIS GENERAL

Es posible inducir mayor vigor y calidad en plántulas de jitomate e incrementar mayor número de flores en las tres primeras inflorescencias, aumentando el volumen de sustrato para el crecimiento de la raíz, menor densidad de población, aplicaciones de paclobutrazol y luz suplementaria nocturna y reduciendo la competencia de fotoasimilados a las inflorescencias que están iniciando.

1.3. HIPÓTESIS PARTICULARES

1. Con una menor densidad de población de plántulas en el semillero, se disminuye y retrasa el efecto de competencia por luz, favoreciendo un mayor crecimiento sin que ocurra elongación, lo que permitiría realizar el trasplante con plántulas de mayor edad sin efectos adversos posteriores.
2. Con una menor densidad de población de plántulas en el semillero, se disminuye la competencia por luz, lo que puede permitir incrementos en la tasa de fotosíntesis por planta, de tal forma que al haber mayor disponibilidad de fotoasimilados, se favorece el desarrollo de más flores en las tres primeras inflorescencias, ya que éstas son iniciadas en la etapa de plántula.
3. Usando un mayor volumen de sustrato por plántula se permite un crecimiento más rápido y un funcionamiento más adecuado de la raíz en cuanto a la translocación de agua y nutrientes, dando por resultado un tallo más grueso, mayor peso seco y área foliar con mejor calidad de plántula al trasplante, sobre todo cuando se combina con una menor densidad de población de plántulas.
4. Con un mayor volumen de sustrato por plántula, la raíz crece con menos restricciones y aparte de una translocación de agua y nutrientes más eficiente, lo que puede influir en la formación de más flores en las inflorescencias que se están iniciando.
5. La aplicación de Paclobutrazol forma plántulas con entrenudos más cortos y hojas con menos área foliar, con mayor espacio entre plántulas y más sustrato para la raíz; propiciado por el uso de charolas de 60 cavidades, se podrán mantener más tiempo en el semillero sin efectos adversos posteriores al trasplante.
6. Al disminuir temporalmente las tasas de crecimiento de tallos y hojas por efecto de la aplicación de retardadores de crecimiento como el Paclobutrazol, quedan disponibles más fotoasimilados para la iniciación y formación de las nacientes

inflorescencias, lo que puede favorecer la formación de más flores por inflorescencia.

7. La aplicación de luz suplementaria nocturna aumenta la fotosíntesis del día, dejando más fotoasimilados que pueden quedar disponibles para la iniciación y formación de más flores en las tres primeras inflorescencias.

8. La combinación de algunos de los tratamientos señalados puede tener efectos aditivos en relación a la calidad de plántula al trasplante o respecto a la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias.

Para el logro de los objetivos planteados y para probar las hipótesis indicadas, se diseñaron y ejecutaron dos experimentos independientes.

En el primero se evalúan los efectos de la densidad de población, el volumen de contenedor, las aplicaciones de Paclobutrazol y las interacciones entre estos factores sobre la calidad de plántula para el trasplante a los 60 días de edad y el número de flores que llegan a antesis en las tres primeras inflorescencias de plantas de jitomate.

En el segundo experimento se estudian los efectos de Paclobutrazol y la aplicación de luz suplementaria nocturna y su interacción sobre la calidad de plántula para el trasplante a los 60 días de edad y el número de flores que llegan a antesis en las tres primeras inflorescencias de jitomate.

Después de un apartado general de revisión de literatura, cada experimento se aborda independientemente con estructura de artículo científico que incluye su propia introducción, objetivos, resultados, discusión, conclusiones y literatura citada. Por último, se realiza las conclusiones globales de este trabajo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia mundial del jitomate

A escala mundial las hortalizas ocupan el segundo lugar de importancia entre los productos agropecuarios, siendo apenas superados por los cereales (Muñoz *et al.*, 1995).

La producción mundial de jitomate en 2016, fue de 233,446,175 toneladas. Entre los principales países productores destacan: China con una participación del 24.17 %, India con 7.8 %, Estados Unidos con 5.54 %, Turquía 5.39 % y Egipto 3.4 % (FAOSTAT, 2016); mientras que México ocupó el décimo lugar, con participación del 1.73 %, con una producción de 3,467,707.28 toneladas (FAOSTAT, 2016).

En el 2017 en el mundo se exportó una cantidad de 7,367,236 toneladas. Los principales países exportadores en volumen de producción del cultivo de jitomate son: México con el primer lugar con una participación de 1,742,619 toneladas (23 %), Países Bajos en segundo lugar con 1,102,436 toneladas (14.9 %), seguido de España con 809,527 toneladas (10.9 %), Marruecos 527,714 toneladas (7.16 %) y Turquía con 525,941 toneladas (7.13 %) (Trade Map, 2017).

2.2. Importancia nacional del jitomate

En México el jitomate es un cultivo con gran influencia y derrame económico sobre otros sectores que subsisten de su producción y comercialización, a través de la generación de empleos. Se producen 3,467,707.28 toneladas, con una superficie de 50,373.33 ha, y un valor de 25,483,434.72 millones de pesos. Los principales estados productores son Sinaloa con 27.02 %, seguido de San Luis Potosí con 9.82 % y Michoacán con 7.3 % del total producido; la mayor cantidad se obtiene en los meses de febrero, marzo, y noviembre (SIAP, 2017). La producción total que se obtiene satisface la demanda nacional, y parte del mercado internacional, en particular el de Estados Unidos de Norteamérica en diversas temporadas; esto hace que el jitomate se considere la segunda hortaliza

más importante después de la papa y el principal producto hortícola de exportación, que representa el 24 % del valor total de las exportaciones agropecuarias (SIAP, 2016).

2.3. Producción de jitomate bajo invernadero e hidroponía

El jitomate es un cultivo muy frecuente dentro de la agricultura protegida, en la que destacan los invernaderos, cuya función principal es proporcionar las condiciones de radiación, temperatura, humedad y dióxido de carbono óptimas y apropiadas para generar la reproducción, desarrollo y crecimiento de plantas (León, 2009). Los invernaderos permiten modificar y controlar de forma más eficiente los principales factores ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales (Juárez *et al.*, 2011; Sánchez *et al.*, 2017). Es un sistema para proteger a los cultivos al minimizar las restricciones y efectos que imponen los efectos climáticos tales como las bajas temperaturas en el invierno (FAO, 2013).

La agricultura protegida en México ha crecido enormemente de los últimos años. De los productores en invernadero que son alrededor de 40,000, sólo 2.5 % tiene más de una ha de superficie, pero aglutinan más de 50 % de las superficies con esta tecnología, y su producción se orientan a mercados de exportación. Pero la gran mayoría de las empresas de invernadero en México es de pequeños y medianos productores (menos de una hectárea por productor) (Ponce *et al.*, 2014). Alrededor de 70 % de la superficie con agricultura protegida se cultiva con jitomate y 25 % más con pepino y chile pimiento (Sánchez *et al.*, 2017).

León (2009) menciona que las principales ventajas que existen en los invernaderos son: mejor control de plagas y enfermedades, programación de fecha de cosecha, protección de lluvia, mejores rendimientos y calidad del producto, protección de rayos U.V., mejor control de la humedad y manejo de costo de producción y de manejo del cultivo, mejores precio y mayor precocidad de las cosechas.

En los invernaderos de hoy en día es importante contar con hidroponía, en la que en forma artificial se regula la nutrición de las plantas (Sánchez y Escalante, 1989). Además, con estas técnicas, es posible obtener cultivos fuera de temporada sobre todo en ventanas con mejores precios para el productor (Velasco y Nieto, 2006).

La hidroponía se puede definir como un sistema de producción, donde las plantas se riegan con una mezcla de nutrimentos esenciales disueltos en el agua, utilizando como sustrato un material inerte o la misma solución (Sánchez y Escalante, 1998).

2.4. Sistema convencional de producción de jitomate bajo invernadero

El sistema de cultivo de tomate en invernadero que más se ha impuesto a nivel comercial en México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, en densidades de población de 2 a 3 plantas/ m², donde los tallos de las plantas se dejan crecer hasta más de 7 m de longitud, para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año. En condiciones hidropónicas bajo este sistema de manejo, en Holanda se han reportado rendimientos de más de 500 t/ha/año con invernaderos de alta tecnología que permiten un excelente control de las condiciones ambientales (Peet y Welles, 2005; Resh, 2004). Aunque el rendimiento es alto, es importante resaltar que el ciclo de cultivo es muy largo, con un periodo de inicio a fin de cosecha de seis a siete meses; además, es de difícil manejo técnico en cuanto a las prácticas culturales a realizar y a la prevención y control de plagas y enfermedades; todo ello deriva en un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005). Este es el sistema de producción que se practica en Europa y Estados Unidos (Resh, 2004).

Con este sistema la siembra de la semilla se hace en charolas de poliestireno de 200 cavidades en semillero en donde la plántula estará los primeros 30 días con óptimas condiciones ambientales, posteriormente se trasplanta en invernaderos que por lo regular tienen más de 5 m de altura. Aproximadamente a los 20 días después del trasplante (ddt) comienzan a aparecer las flores, las cuales a los 60

días se cosechan los primeros frutos de la planta (Jaramillo, 2006). El ciclo total del cultivo como normalmente se maneja tiene una duración aproximada de 11 meses.

La poda de hojas y de brotes axilares es una de las actividades que se realiza ya que normalmente se dejan crecer las plantas a un solo tallo.

Manejados este sistema de producción se tiene las siguientes ventajas: a) con una producción normal en invernadero de 2 a 3 plantas/m² se puede mantener una producción constante para el mercado a lo largo de todo el año (Nuño, 2007). b) producción de 15 o más racimos por planta (Sánchez y Ponce, 1988). c) rendimiento de 300 a 500 t ha⁻¹ anuales (Resh, 2004; Jean-Marie, 2007).

Las desventajas de este sistema de producción son: a) se establece muy lentamente el índice de área foliar óptimo por lo que en las primeras semanas después del trasplante la energía solar es subutilizada (Sánchez *et al.*, 2009). b) costos de producción muy elevados llegando eventualmente a 500, 000 dólares por ha por año (Méndez *et al.*, 2005; FIRA, 2007). c) al ser un ciclo muy largo se incrementa el costo para controlar las plagas y enfermedades, además de que este sistema de producción los invernaderos son altamente tecnificados y costosos y normalmente muy altos (Vázquez *et al.*, 2007). d) es inconveniente para un mercado donde el precio del producto está fluctuando a lo largo del año, en el sistema no hay oportunidad para concentrar la producción en un periodo de tiempo determinado (Vázquez *et al.*, 2007). e) más problemas de plagas y enfermedades, sobre todo en las etapas más tardías del ciclo del cultivo.

2.5. Sistema de producción en altas densidades de población

Se ha propuesto un sistema alternativo para conducir las plantas a un solo tallo y realizar despuntes temprano para dejar sólo tres racimos en cada una. Así, el ciclo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta de 10 o más meses a un periodo de 3 a 4 meses (según la edad de la planta al trasplante), y en un esquema de producción continua se han podido obtener tres ciclos por año y, por

lo tanto, mayor productividad anual que en los sistemas convencionales (Sánchez *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2007); además, por lo concentrado del periodo de cosecha, ésta se puede programar para obtenerla en las ventanas de mercado donde los precios del producto son mayores, lo que otorga mayor beneficio económico para el productor (Sánchez *et al.*, 2012).

Debido a la poca altura de las plantas, lograda con este manejo, el menor rendimiento por planta en un ciclo de cultivo se compensa parcialmente al establecerse un mayor número de plantas por unidad de superficie (9 plantas/m de invernadero), lo cual es posible porque, con el despunte temprano, cada planta forma menos área foliar (Sánchez y Ponce, 1998).

En este sistema generalmente se manejan camas de cultivo de 1 a 1.2 m de ancho, en distribución de cuatro hileras de plantas separadas por pasillos de 0.5 a 0.6 m de ancho. Al respecto, Sánchez *et al.* (2012) mencionan que los rendimientos logrados han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencialmente 500 a 600 t/ha/año) y esto sin la necesidad de invernaderos de alta tecnología.

Cancino *et al.* (1990) al evaluar los efectos de tres niveles de despunte para dejar uno, dos o tres racimos por planta y dos densidades de población (9 y 16 plantas/m) en dos variedades de jitomate (Tropic y Ace 55 vf), sobre el rendimiento y la duración del intervalo de trasplante a cosecha, encontraron que la variedad Tropic a una densidad de 16 plantas/m y el despunte a dos racimos por planta que la que presentó el más alto rendimiento por unidad de superficie y la mayor productividad potencial por año (17.14 kg m⁻² por cosecha en 114 días después del trasplante, contra solo 7.81 kg m⁻² en el testigo sin despuntar a una densidad de 3 plantas/m) y que la práctica de despunte influyó significativamente sobre el intervalo de trasplante a fin de cosecha, las plantas despuntadas a un racimo terminaron de cosecharse en 11 días antes que las dejadas a dos racimos y 20 días antes que las manejadas a tres racimos. La importancia práctica de dicho trabajo fue demostrar la posibilidad de obtener varias cosechas al año con altos

rendimientos, así como reducir o evitar los daños causados por enfermedades y minimizar los costos de producción.

Sánchez y Ponce (1998) en un experimento manejaron cuatro densidades de población (6, 12, 16 y 24 plantas/m) y tres niveles de despunte (1, 2 o 3 inflorescencias) en plantas de jitomate; encontraron que para todos los tratamientos, los primeros racimos presentaron el mayor número de frutos y mayor rendimiento respecto a los que se cosecharon posteriormente; también concluyeron que debido a lo corto del periodo de inicio a fin de cosecha con este tipo de sistema de despuntes tempranos aunado a trasplantes tardíos, se puede programar la salida al mercado toda la producción del ciclo, en la ventana de mercado cuando el precio es más alto y favorable al productor.

Ucan *et al.* (2005) evaluaron cuatro densidades de población (6, 8, 9 y 12 plantas/m) con despuntes a tres racimos a dos niveles de poda de frutos (dejando 3 ó 4 frutos por racimo) y testigo (sin poda), encontraron que el rendimiento por m² fue significativamente mayor para la densidad de 12 plantas por m² con un rendimiento de 19.9 kg m⁻², en cambio el peso medio de fruto fue a la inversa, el mayor peso medio correspondió a la densidad 6 plantas por m⁻². Además, las plantas de las dos hileras centrales rindieron un promedio de 25 % menos que las plantas que colindaban con los pasillos, esto debido a la menor intercepción de radiación fotosintéticamente activa por estas últimas.

Veliath y Ferguson (1972); McAvoy *et al.* (1989); Cancino *et al.* (1990) y Sánchez y Corona (1994) mencionan las ventajas de este sistema de producción: a) concentrar las producciones en fechas de mayor demanda y mejores precios para el productor. b) disminuir el ciclo del cultivo (70 a 90 días de trasplante a cosecha) comparado con los sistemas convencionales (150 a 210 días), lo que da la posibilidad de escapar a enfermedades virosas, fungosas o bacterianas disminuyendo los daños económicos producidos por ellas. c) eliminar el tutoreo, lo que disminuye considerablemente los costos de instalación y operación. d) escapar a heladas, bajas temperaturas u otros fenómenos meteorológicos cuando se cultiva bajo invernaderos sin calefacción o a campo abierto.

2.6. Morfología y diferenciación floral en jitomate

La transición de una condición vegetativa a reproductiva en las plantas de jitomate está marcada por un incremento en la frecuencia de divisiones en las células del domo del meristemo; cuando inicia el desarrollo hacia la condición reproductiva, se presenta un incremento de tamaño, esto como resultado de la división celular activa (Taiz y Zeiger, 2002).

El ápice vegetativo es de aproximadamente 120 μm de diámetro y 60 μm de altura. Después de producir de 6 a 8 hojas, el meristemo vegetativo se alarga y a la vez se queda en forma achatada y pasa a ser un meristemo reproductivo (Sekhar y Sawhney, 1984; Fleming, 2007; Hussey, 1963; Greyson y Sawhney, 1972). Contreras *et al.* (2013) mencionan que el cambio del meristemo apical en estado vegetativo a reproductivo ocurre cuando el vástago se diferencia alrededor de siete fitómeros. La primera manifestación del cambio es el alargamiento del meristemo apical y luego el achatamiento del mismo, este achatamiento dará origen a la primera flor de la inflorescencia; posteriormente, en la base de la estructura, aparecen más aglomeraciones celulares con forma redondeada que constituirán cada una de las flores que se presentarán en la inflorescencia. Con la división celular y crecimiento puede llegar a los 460 μm , esta fase corresponde aproximadamente a los 20 a 25 días después de la siembra.

La primera flor formada de la inflorescencia se origina en el ápice y un punto de crecimiento lateral, debajo de la primera flor se desarrolla la segunda flor. De este modo, se desarrolla una sucesión de flores desde los puntos de crecimientos laterales hasta que se completa la inflorescencia (Sekhar y Sawhney, 1984). Durante el desarrollo de flores, sus regiones basales se alinean para formar el eje principal de la inflorescencia de la cual divergen los pedicelos de las flores individuales. La forma de la inflorescencia es similar a un racimo con las flores más jóvenes en el extremo distal, y por esta razón se ha clasificado como un racimo (Hayward, 1938; Lewis, 1953).

En el ápice floral se producen diferentes clases de primordios de órganos en la siguiente secuencia: sépalos, pétalos, estambres y carpelos. El primer primordio de sépalo, se forma como una pequeña protuberancia justo al lado en el meristemo. El segundo sépalo se forma en la circunferencia del ápice con un ángulo de aproximadamente de 135° respecto al primero. Y los primordios restantes se forman en un patrón helicoidal en el sentido de las manecillas de reloj (Sekhar y Sawhney, 1984). También es importante destacar en los primordios de sépalo se forman pelos glandulares y no glandulares en la punta del primordio. Además, cuando se forman todos los sépalos que lleva la flor el ápice incrementa del tamaño (Sekhar y Sawhney, 1984). Esta fase del proceso se da aproximadamente de los 22 a 24 días después de la siembra (Contreras *et al.*, 2013).

Los primordios de pétalos se forman en sentido centrípeto y alternando con los primordios de sépalos, y son visibles hasta que los sépalos alcanzan un tamaño de 1 a 2 mm de longitud. La iniciación de los primordios de pétalos es simultánea y el patrón helicoidal es distinto respecto para los sépalos (Sekhar y Sawhney, 1984). Esta fase del proceso se da aproximadamente de los 23 a 25 días después de la siembra. A medida que se desarrollan incrementan de tamaño, adquieren una coloración amarillenta y permanecen en una estructura gamopétala que caracteriza a la flor. Al estar completamente desarrollados y en periodo de antesis su color es amarillo intenso, estos se abren totalmente (Contreras *et al.*, 2013).

Los primordios de estambres se forman en sentido centrípetos a los pétalos, alternando con ellos, y se colocan frente a los sépalos. La formación es simultánea, algunos muestran signos de lobulado al momento o después (Sekhar y Sawhney, 1984). A esta fase del proceso se forma aproximadamente de los 24 a 26 días después de la siembra (Contreras *et al.*, 2013).

Los primordios de carpelos se forman a partir de la circunferencia lo que queda del meristemo, en posiciones alternas con los estambres. El resto del meristemo se ocupará de la formación del ovario. Este patrón de iniciación de órgano floral del jitomate también se ha estudiado en otras especies (Hicks y Sussex, 1970).

Este proceso de formación del primordio se da a los 25 y 27 días después de la siembra. Finaliza cuando la flor llega en el estado de antesis, que posteriormente se fertilizará y de allí en adelante su condición cambia a fruto (Contreras *et al.*, 2013).

Después de la diferenciación de cada una de las flores que conforman la inflorescencia, comienza el desarrollo de formación del racimo que puede observarse a simple vista. Primero aparecen los botones de flores y a medida que pasa el tiempo toma forma el racimo floral, al formarse completamente los pedúnculos florales y el raquis, una vez transcurridos alrededor de 50 a 55 días después de la siembra, las primeras flores entran en antesis (Contreras *et al.*, 2013).

2.7. Duración de la fase vegetativa

En las plántulas de jitomate una reducción en la fase vegetativa puede contribuir a la precocidad en la producción del fruto. Por otro lado, una mayor duración del periodo vegetativo puede permitir la formación de un mayor número y área de hojas para abastecerse de mayor asimilados para el crecimiento de las inflorescencias (Atherton and Harris, 1986).

Hurd y Cooper (1970) encontraron que la iniciación en la formación de los primordios de flores comenzó en muchos cultivares de jitomate dentro de las tres semanas posteriores a la expansión del cotiledón, coincidiendo con la tercera hoja más desarrollada que alcanza una longitud de más de 10 mm. Klapwijk y Lint (1975) encontraron una correlación entre la tasa de desarrollo reproductivo y el incremento del peso fresco de todo el ápice en condiciones del invernadero.

La emergencia de las plántulas es afectada por las condiciones ambientales y coincide el momento del inicio de la formación de la primera inflorescencia, la planta entra en una fase sensible que normalmente dura alrededor de ocho días desde la expansión del cotiledón (Lewis, 1953; Calvert, 1957). Durante esta fase hay una interacción entre la temperatura y la radiación solar de manera que un régimen de baja temperatura (10 °C en la noche; 16 °C de día) favorece la

formación de flores cultivado en niveles de luz baja. Calvert (1959) demostró que las plantas sembradas en 15 °C en cámara de crecimiento iniciaron las flores hasta 13 días antes que sembradas a 25 °C. El número de hojas que se desarrolla antes de la primera inflorescencia también se reduce a temperaturas bajas con un número mínimo de aproximadamente de seis a siete hojas formadas a 10 °C (Calvert, 1957; Hurd y Cooper, 1967). Las plantas de jitomate sembradas a una temperatura de 15 °C fueron encontradas con Calvert (1957) para producir ocho hojas antes de la primera inflorescencia mientras que las sembradas a 27 °C produjeron 14 hojas. Phatak *et al.* (1966) también demostraron que con el aumento de la temperatura también hay un incremento en el número de hojas antes de la floración.

Durante las últimas etapas de la iniciación de la primera inflorescencia, comienza la iniciación de la segunda inflorescencia. Calvert (1964) observó en un cultivar, Ailsa Craig, que cuando el inicio de la primera inflorescencia fue acelerado por una baja temperatura (15 °C comparado con 20 °C) hubo un retraso correspondiente en el inicio del segundo. Por otro lado, el número de hojas entre la primera y la segunda inflorescencia también se incrementó. Al parecer, cuando hubo una reducción en el número de hojas producidas por debajo de la primera inflorescencia, se produjo un aumento compensatorio en el número de hojas hasta la segunda inflorescencia.

Por otro lado, la radiación solar puede influir en la floración a través de los efectos en el momento del inicio de la inflorescencia y sobre la velocidad del desarrollo de las flores. Los efectos en las tasas de fotosíntesis y en la temperatura de los tejidos vegetales podrían ser importantes y parece que en el verano los niveles de radiación se saturan (Calvert, 1964).

2.8. Crecimiento y desarrollo de la flor

Cuando las flores de una inflorescencia han sido iniciadas, su tasa de crecimiento y desarrollo y la incidencia del aborto de los botones florales son influenciados por el ambiente (Atherton and Harris, 1986).

La temperatura es de gran importancia en determinar la tasa de desarrollo después de la iniciación de la formación de las flores. Calvert (1964), trabajó bajo condiciones de luz natural en invernaderos, muestra que las flores se forman más rápido a temperaturas de 20 °C que a 16 °C; por otro lado, Hurd y Cooper (1967, 1970) encontraron que con temperatura baja (10 °C) aplicada durante 14 días después del inicio del desarrollo de la primera flor, la apertura floral se atrasó hasta 18 días que cuando las plantas fueron cultivadas a 15 °C. Los aumentos en la temperatura diurna son más efectivos para promover el desarrollo de las flores en comparación con aumentos en la temperatura nocturna (Lake, 1967).

Las temperaturas altas generalmente aceleran el desarrollo floral, aunque también aumentan la posibilidad de aborción de los botones florales (Atherthon and Harris, 1986).

Calvert (1959) experimentó con plantas de jitomate en cámara de crecimiento que proporcionaba luz diaria, y observó una alta incidencia de aborto de flores a 21 °C. La incidencia del aborto fue mayor cuando se aplicó régimen de alta temperatura y baja intensidad de luz desde el momento de la visibilidad macroscópica de las yemas (Calvert, 1959; Kinet, 1977a). Por su parte Rylsky (1979) encontró que la incidencia del aborto con flores en la segunda a quinta inflorescencia aumentó a medida que las temperaturas diurnas aumentaron de 17 °C a 27 °C.

2.9. Retardante de crecimiento en el desarrollo de la inflorescencia

El aborto de flores en jitomate ha llamado la atención como un problema que surge en los cultivos bajo invernaderos con calefacción en el Noroeste de Europa durante el invierno (Verkerk, 1995; Cooper, 1964; Kinet, 1977a). Algunos estudios han señalado la posibilidad del control químico del aborto en flores en el jitomate ya sea mediante el uso de retardadores del crecimiento (Abdul *et al.*, 1978) o por tratamientos diseñados para aumentar los niveles de reguladores de crecimiento en la inflorescencia en desarrollo (Kinet, 1977b; Russel y Morris, 1982).

Nourai (1983) realizó una investigación en plantas de jitomate Var. 'Eurocross BB' en el que evaluó el efecto del Clormequat en un invernadero con sombra y sin sombra. Los resultados mostraron un aumento de la incidencia de aborto de yemas florales en la primera inflorescencia donde no se aplicó Clormequat (19 % sin sombra y 70 % con sombra), pero con la aplicación de cloruro de Clormequat se redujo la incidencia del aborto (13 % sin sombra y 28 % con sombra). El efecto de la aplicación de Clormequat fue aumentar el peso seco de la inflorescencia mientras se redujo el peso seco del resto del ápice vegetativo tanto en plantas con sombra y sin sombra. Por otro lado, el crecimiento de planta en su conjunto se redujo.

La interpretación de estos efectos es que el Cloruro de Clormequat, al retardar el crecimiento de las partes vegetativas, actúa para desviar los metabolitos o reguladores de crecimiento endógenos hacia la inflorescencia. La remoción de partes del crecimiento del sistema de brotes, en competencia con los primordios florales como en los experimentos de Kinet (1977b) y Russell y Morris (1982) muestran que se promovió el desarrollo de flores dentro de la inflorescencia. Esto apoya la idea de que la inflorescencia en desarrollo estaba sujeta a algún tipo de competencia de otras partes del primordio en formación.

Wittwer y Tolbert (1960) mencionan que la aplicación del CCC (Cycocel) en drench de las plántulas de jitomate aceleró la floración y redujo el número de flores formado de la primera inflorescencia. Al promover la floración fue acompañada por una reducción en el crecimiento de altura y de peso en los órganos vegetativos.

Abdul *et al.* (1978) mencionan que los niveles altos de giberelinas endógenos en los ápices de las plántulas, disminuyen el número de flores en la primera inflorescencia, y la eliminación de hojas y las bajas temperaturas influyen en el número de flores al reducir los niveles de giberelinas en las plantas. Este efecto generalmente se ha explicado en términos de competencia entre las hojas y la inflorescencia en desarrollo (Hussey, 1963; Kinet, 1977a).

2.10. Paclobutrazol

Se han reportados muchas investigaciones sobre los efectos fisiológicos de nuevos bioreguladores sintéticos de tipo retardante del crecimiento durante los últimos años, uno de estos reguladores es el paclobutrazol (PBZ) (Berova y Zlatev, 2000).

El Paclobutrazol pertenece al grupo de los triazoles, con estructura química: [(2RS, 3RS)-1clorofenil)-4,4-dimetil-2-(1h-1, 2,4.triazol-1-il) pentan-3-ol], puede reducir la altura, incrementar el grosor del tallo, dando origen a plantas compactas, e incrementar el número de flores (Hamid y Williams 1997; Parletta y Sedgley, 1998).

El paclobutrazol al ser absorbido por la parte aérea cuando se realiza aplicación foliar, se trasloca por vía xilema hasta los puntos de crecimiento, el ingrediente activo inhibe la producción de giberelinas en los meristemos subapicales, impidiendo la oxidación del kaureno a ácido kareurenoico; lo que reduce la tasa de división y expansión celular limitando con ello el crecimiento (Coolbaugh y Hamilton, 1976; Davis, 1989). Ello se debe a que el PBZ interactúa con monooxigenasas del citocromo P450, al bloquear las oxidaciones sucesivas de ent-kaureno a ent-kaurenol, ent-kaurenal y ácido ent-kaurenico, dentro del ciclo del mevalonato, y de esta forma inhibe la síntesis de giberelinas (Azcón, 1993) y la elongación celular (Rademacher, 2000).

Barret y Nell (1986) señalaron que los triazoles son activos en concentraciones pequeñas y que, por lo regular, sólo se requiere de una a tres aplicaciones del inhibidor, pero su efecto dependerá de la especie y las condiciones ambientales en que se encuentra la planta. Por su parte Adriansen y Odgaard (1997) confirmaron lo anterior e indican que la magnitud del efecto del paclobutrazol está relacionado directamente con la cantidad aplicada.

Hadlow *et al.* (1989) menciona que el paclobutrazol no bloquea la actividad de la giberelina endógena existente, si no que actúa bioquímicamente mediante la

supresión de giberelina (Curry y Williams, 1983). Es decir, inhibiendo la oxidación de Kaureno a ácido kaurenoico en la ruta biosintética (Dalziel y Lawrence, 1984).

En un estudio realizado en jitomate cv 'precador', con dosis de 1.0 mg L⁻¹ aplicado al suelo y 25 mg L⁻¹ en aplicación foliar, el PBZ ha provocado que se reduzca la altura de plántulas, se aumente el grosor del tallo y el desarrollo de raíces, se mejore la actividad fotosintética y el balance hídrico y con ello la calidad de plántulas para trasplante, y se acelera la formación y cosecha de frutos, las concentraciones del retardante utilizado y el modo de aplicación garantizan la producción de frutos sin dejar residuos e inofensivo para la salud humano desde el punto de vista fitosanitario. A base de estos resultados, el paclobutrazol se puede utilizar para controlar el crecimiento vegetativo de las plantas de jitomates, la aceleración del desarrollo reproductivo y la precocidad de la producción (Berova and Zlatev, 2000).

En plántulas de jitomate de los cvs. 'Francysset', 'Pavia' y 'Montego', en comparación con los tratamientos control, el PBZ redujo el tamaño de plántulas hasta 43 %. Se incrementó el diámetro del tallo un 9 % y el rendimiento de frutos en un 13 %, y además una acumulación del 6 % de materia seca, y lo más importante hubo una madurez de cosecha más temprana con 6 % (Giovinazzo y Souza 2001).

En plántulas en jitomate cv. 'Viradoro', el PBZ ocasionó disminución en altura y peso seco de la parte aérea y raíces, cuando fue aplicado en dosis de 200 mg L⁻¹; aunque tal efecto en altura fue similar al causado por Etefón y Uniconazole, PBZ fue el que más disminuyó el peso seco de la parte aérea y de raíces, en relación con los tratamientos testigos y etefón (Nascimento *et al.*, 2003).

En el trasplante de jitomate cv. "Floradade" tratados con aspersiones foliares de PBZ a 14, 30, 60 y 90 mg L⁻¹, se redujeron la longitud del tallo, área foliar y peso seco de la planta (Latimer, 1992).

En el cultivo de jitomate el tratamiento con paclobutrazol induce cambios en el contenido del pigmento fotosintético, pues se han detectado incrementos estadísticamente significativos del 21 a 23 % en el contenido de la clorofila en la tercera hoja de la planta. El contenido de clorofila total aumentó en un 15 y 16 % (Berova y Zlatev, 2000). Estos últimos autores también mencionan que aplicaciones de retardantes retrasa la destrucción de la clorofila o acelera su síntesis. En la tercera y quinta hoja, la tasa de fotosíntesis neta aumentó entre 10-14 % y 17-31 % respectivamente. La razón de este aumento posiblemente se debe al incremento de la actividad de Rubisco y una mayor capacidad para el transporte de electrones.

Como sustancia el paclobutrazol tiene alta residualidad en el suelo, puede provocar contaminación de mantos freáticos y riesgo potencial de traslocación a los frutos; no obstante, dicha residualidad ocurre cuando se hacen aplicaciones consecutivas (Osuna *et al.*, 2001). En un estudio realizado con paclobutrazol no se detectó residuos en frutos de pepinos y de jitomate cosechados en plantas donde las semillas fueron remojadas a una dosis de 1000 mg L⁻¹ de paclobutrazol durante 180 minutos (Magnitskiy *et al.* 2006).

2.11. Luz suplementaria

En los últimos años ha cobrado importancia la luz como un factor de crecimiento principal y se ha contado con un equipo satisfactorio para permitir el uso de la luz artificial con fines agronómicos.

Las fuentes de luz más comunes utilizadas para el cultivo de plantas en invernaderos son las lámparas HPS (Alta presión de Sodio) y las LED (Diodo emisor de luz) (Pinho *et al.*, 2007).

Las plántulas de jitomate, pepino y pimiento, muestran un aumento en el crecimiento y la calidad cuando la radiación fotosintéticamente activa se complementa con la iluminación suplementaria. Las lámparas LED de alta intensidad son una alternativa potencial a la tecnología actual debido a su larga duración, baja temperatura de operación, y bajo consumo de energía. Debe

evaluarse adecuadamente la colocación de las lámparas dentro del invernadero, intensidad de irradiancia y calidad espectral para el crecimiento de las plantas (Hernández, 2012).

Dos rangos de longitudes de onda que han sido ampliamente aceptados son el rojo (600 a 700 nm) y el azul (400 a 500 nm). Se recomienda generalmente la adición de azul para mantener la morfología de la planta y maximizar su crecimiento (Massa *et al.*, 2008).

El crecimiento y el rendimiento de las plantas dependen de los carbohidratos fijados durante la fotosíntesis y posterior la traslocación del asimilados disponibles hacia los órganos de demanda (Geiger and Giaquinta, 1982; Charles-Edwards, 1979). El flujo de fotones fotosintéticos total es afectado por el ambiente tanto en el desarrollo vegetativo (Klapwijk and de Lint, 1975) como el reproductivo (Hussey, 1963) de las plantas de jitomate, e influye en la cantidad de fotosintatos disponible para el crecimiento (Gent, 1984; Ho, 1976). La alta intensidad de luz conduce a un desarrollo temprano y se produce un rápido crecimiento de las plántulas (Klapwijk, 1981).

El alto flujo de fotones fotosintéticos total sobre un dosel de hojas también favorece aumento en el rendimiento de los cultivos (Fisher, 1977). Los efectos del aumento el flujo de fotones fotosintéticos representa un incremento del desarrollo del dosel, y el flujo constante de carbohidratos de las hojas. Por otra parte, la eliminación del meristemo apical de la planta antes de la antesis reduce la competencia entre órganos de demanda, durante el desarrollo del fruto, favoreciendo la formación y el desarrollo del fruto (McAvoy *et al.*, 1989).

La intensidad lumínica que se use, debe ser eficientemente fotosintética y superior a la del punto de compensación por luz, con la finalidad de un mejor balance de carbohidratos y distribución de los mismos a los órganos que permiten expresar mejor la calidad de la planta (Aguilar, 2012).

Hay una gran cantidad de investigaciones sobre el efecto de la luz LED en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Wojciechowska *et al.* 2015).

Boivin *et al.* (1978) evaluaron el efecto de la luz suplementaria sobre plantas de jitomate cultivar Carmello a una intensidad de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de flujo fotónico fotosintético (FFF) durante 17 horas en condiciones de luz natural muy limitante. La cual se manejó tres fechas de siembra, donde la luz artificial contribuía con 58, 31 y 19 % FFF. En los tres casos los tratamientos se prolongaron hasta los 50 días después de la siembra que fue cuando se realizó el trasplante. Encontraron que el peso seco en las plantas tratadas con luz suplementaria fue 6.6, 3.5 y 2.5 veces mayor que los testigos en las tres fechas de siembra; para ese mismo periodo el área foliar fue 3, 2.5 y 1.5 veces mayor en las plantas con luz suplementaria en las tres siembras consideradas.

Fierro *et al.* (1994) trabajaron en jitomate con el cultivar Sprinset para evaluar el efecto de luz suplementaria ($100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 16 horas diarias) durante tres semanas antes del trasplante. El tratamiento de luz inicio cuando los cotiledones estaban completamente extendidos y el trasplante se realizó a los 40 días después de la siembra. Encontraron que el peso seco fue 544 mg/planta en el tratamiento con luz artificial contra 444 mg en el testigo sin luz y el rendimiento total fue de 74.7 t ha^{-1} en el tratamiento de luz suplementaria contra 68.4 en el testigo.

Ponce (1998) evaluó en un experimento bajo invernadero, el efecto de bajas temperaturas nocturnas (10°C) durante 10 días y luz suplementaria ($75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con luz fluorescente y 90 con luz fluorescente más luz incandescente) cinco horas por noche durante 10 días y poda de la quinta hoja, aplicados a plántulas de jitomate cv. Solarset. Los tratamientos se realizaron en semilleros durante el periodo de iniciación de la primera inflorescencia. No encontró diferencias estadísticamente entre los tratamientos evaluados.

McCall (1992) realizó una investigación en plántulas de jitomate cultivares “Matador y Blizzard”, fueron establecidas en condiciones de luz suplementaria a

densidades de flujo de fotones fotosintéticos de 30, 60 y 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, con temperaturas constantes de 17, 19 y 21 °C para determinar el efecto de luz suplementaria sobre el crecimiento y los efectos posteriores sobre el rendimiento. Con el uso de 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se encontró mayor precocidad del fruto, se inició una semana antes la cosecha, respecto al 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La altura de la planta, el número de hojas, el área de la hoja y el peso seco de las partes aéreas de la planta aumentaron significativamente con el aumento de los niveles de luz suplementaria.

Grimstad (1987) realizó un estudio en dos cultivares de jitomate “Abunda y Virosa”. Desde la siembra fueron sometidos a luz suplementaria (44 W m^{-2}) en un invernadero de vidrio. Se manejaron 4 tratamientos, 1: testigo sin luz suplementaria; 2: luz suplementaria colocadas a 1.3 m por encima de la base de las plantas; 3: lámparas inicialmente a una altura de 1.3 m y posterior ajustado a 0.4 m por encima de la planta; 4: lámparas colocadas de manera permanente a 2.7 m de la base de la planta. Observó que en el tratamiento dos se obtuvieron incremento en el número de frutos, rendimiento y tamaño en 21, 26 y 15 %, respectivamente; en el tratamiento tres incrementó en número de frutos y rendimiento en un 11 %; y en el tratamiento cuatro mejoró el número de frutos y contribuyó a un mayor rendimiento total en un 7 y 14 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento sin luz suplementaria, en el que incluso el tamaño del fruto disminuyó.

Gajc *et al.* (2013) estudió el efecto de la iluminación complementaria de las plantas de jitomate con HPS y lámparas LED en los parámetros fisiológicos y la producción de cultivos de otoño-invierno. En este experimento se utilizaron dos cultivares de jitomate (“Komeett” F1 y “Starbuck” F1). Después de trasplante, se instalaron lámparas LED y HPS de 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad de luz. Los resultados muestran que la introducción de una fuente de luz complementaria al cultivo de jitomate provocó un aumento en la intensidad de la fotosíntesis, la transpiración, la conductancia estomática y la clorofila en 57.7 %, 17.1 %, 39.3 % y 24.4 % en promedio, respectivamente. El número de frutos y el peso medio de

los frutos fueron mayores en ambas combinaciones en las que se aplicó iluminación suplementaria.

2.12. Tamaño de contenedores

El tamaño del contenedor es importante tanto para plántulas y producción definitiva. Es común el uso de celdas pequeñas por bandeja, lo que aumenta la cantidad de plantas producidas, y, por lo tanto, se reduce la necesidad de más espacio de producción de plántulas y el costo de producción (Vavrina, 1995), ya que los costos de producción están directamente relacionados con el tamaño y el tipo del contenedor (Dufault y Waters, 1985). Un efecto negativo con el uso de contenedores con celdas pequeñas es que aumenta las condiciones de restricción de la raíz para el crecimiento de las plántulas, pues en los semilleros, el tamaño del contenedor, afecta la germinación, emergencia, crecimiento y desarrollo de la plántula (Lescovar y Stoffella, 1995).

Las plantas experimentan muchos cambios fisiológicos y morfológicos en respuesta la reducción del volumen de enraizamiento, el tamaño del contenedor en interacción con las características del sustrato, la cual genera un ambiente que afecta el crecimiento de raíz , brotes apicales y acumulación de biomasa (Pereira y Martínez, 1999); así mismo, influye en la fotosíntesis, contenido de clorofila en hojas, relación de agua en la planta, absorción de nutrientes, floración, precocidad de la cosecha y rendimiento de las plantas (Cantliffe, 1993; Nesmith y Duval, 1998; Walters *et al.*, 2005).

En general, a medida que aumenta el tamaño del contenedor aumenta el área foliar de la planta y aumenta la biomasa de raíces (Cantliffe, 1993). Las raíces dependen de las proporciones aéreas de la planta para los fotosintatos y varias hormonas, mientras que las proporciones aéreas de la planta dependen de las raíces para obtener agua, nutrientes, soporte y hormonas. El delicado equilibrio entre raíces y la biomasa aérea, puede alterarse cuando el sistema de raíces está restringido en un pequeño volumen de enraizamiento. El desequilibrio

resultante puede tener efectos a corto y a largo plazo en el crecimiento de la planta (Tonutti *et al.*, 1990).

Cuando las raíces están confinadas en un contenedor que restringe su crecimiento, las raíces compiten por los recursos esenciales. El aumento de la biomasa de la raíz y la disminución del espacio del enraizamiento conduce a la competencia por oxígeno disponible; en general, a medida que la altura y el ancho del contenedor disminuyen, la cantidad de espacio poroso también se reduce, lo que afecta la capacidad de retención de agua y la aireación (Peterson *et al.*, 1991).

En plántulas de pepino cultivado en tres tipos de charolas: 200 cavidades de 16 cm³, 128 cavidades de 36 cm³ y 128 cavidades de 72 cm³, Tavares *et al.* (1997) observaron un incremento en el peso seco de raíz, el peso seco total y el área foliar al aumentar el volumen de la cavidad de la charola donde se desarrollaron las plántulas. Asimismo, plántulas de jitomate cultivadas en contenedores con celdas de 4.4 cm de diámetro tuvieron una mayor acumulación de materia seca 30 días después de la siembra, en comparación con las cultivadas en celdas de 2.5 cm de diámetro (Vavrina y Arenas, 1997). Estos mismos autores observaron que las plántulas cultivadas en celdas de 4.4 cm incrementó la precocidad del fruto y con mayor rendimiento, en comparación con las cultivadas en celdas de 2.5 cm.

Ganea *et al.* (2002) al evaluar el efecto del volumen del sustrato (6, 8 y 12 L/planta) formado por una mezcla de peatmoss y vermiculita 50:50, encontraron un incremento del rendimiento del fruto del jitomate bajo invernadero al aumentar el volumen del sustrato, de 6 a 8 L/planta. Mientras que, Urrestarazu *et al.* (2005) encontraron diferencias significativas en el rendimiento de fruto de jitomate y melón al aumentar el volumen del sustrato de 19 a 25 L.

Kemble *et al.* (1994), al evaluar el efecto el tamaño del contenedor (3.3, 27, 37.1 y 80 cm³), durante las primeras 5 semanas después de la siembra sobre el crecimiento, desarrollo y producción de dos cultivares de jitomate NC13G-1 y

NC8288, observaron, para los dos cultivares, que el número de días entre la siembra y la antesis decreció con el aumento en el tamaño del contenedor; no así, para el rendimiento de fruto comercial donde al final del ciclo no se observaron diferencias.

Bouzo y Favarro (2015) compararon el crecimiento y el rendimiento del cultivo de jitomate en diferentes etapas de desarrollo y tamaños de contenedores. Utilizaron semillas de tomate híbridas comerciales cv. 'Tauro', y se sembraron en diferentes volúmenes del contenedor (20, 40, 70, 350 mL) y con tiempos variables de trasplante (14, 21, 28 y 35 días). Como resultado encontraron que, en los contenedores de mayor tamaño, mayor altura de plantas, precocidad y mayor rendimiento. La restricción física de la raíz mediante uso de contenedores con volúmenes bajos (20 mL) limitó severamente el crecimiento de la planta de los 14 primeros días después de la siembra, afectándose aún más con el aumento de la edad de la planta. A partir de los 28 dds, todos los tratamientos, excepto el de 350 mL, el rendimiento del fruto disminuyó con respecto a los valores encontrados sin restricciones del tamaño del contenedor.

2.13. Literatura citada

- Abdul, K. S.; Canham, A. E. and Harris, G. P. 1978. Effects of CCC on the formation and abortion of flower in the first inflorescence of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Ann. Bot.* 42: 617-625.
- Adriansen, E. and Odgaard, P. 1997. Residues of Paclobutrazol and uniconazole in nutrient solutions from ebb flood irrigation of pot plants. *Scientia Horticulturae* 69: 73-83.
- Aguilar R., M. 2012. Efecto de luz suplementaria en la producción de plántula de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp: 96.
- Atherton, J. G. and Harris, G. P. 1986. Flowering. *In*: The Tomato Crop. Atherton, J. G. and J. Rudich (eds.). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp: 167-200.
- Azcón, B. J. y Talón, M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana Mc-Graw. Madrid, España. pp: 301-316.

- Barrett, J. E. and Nell, T. A. 1986. Evaluation of XE- 1019 and Paclobutrazol for height control of flowering annuals. *Proc. Plant Growth Regulator Soc. Amer.* 13: 63-64.
- Berova, M. and Zlatev, Z. 2000. Physiological response and yield of Paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Plant Growth Regulation* 30: 117-123.
- Boivin, C.; Gosselin, A. and Trudel, M. J. 1987. Effect of supplementary lighting on transplant growth and yield of greenhouse tomato. *HortScience* 22: 1266-1268.
- Bouzo, C. A. and Favarro, J. C. 2015. Container size effect on the plant production and precocity in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 21: 325-332.
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperatura on growth off young tomato plants in natural light conditions. *Journal of Horticultural Science* 39:194-211.
- Calvert, A. 1957. Effect of the Early Environment en the Development of Flowering in Tomato: I. Temperature. *Journal of Horticultural Science* 32: 9-17.
- Calvert, A. 1959. Effect of the Early Environment en the Development of Flowering in Tomato II. Ligth and Temperature Interaccions, *Journal of Horticultural Sciencie* 34: 154-162.
- Cancino B., J.; Sánchez Del C., F. y Espinosa R., P. 1990. Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. *Revista Chapingo* 73-74: 26-30.
- Cantliffle, D. J. 1993. Pre-and postharvest practices for improved vegetable transplant quality. *HortTechnology* 3: 415-417.
- Charles-Edwards, D. A. D. 1979. Photosynthesis and crop growth. *In: Proceedings of conference on photosynthesis and plant development, Belgium, July 1978. (Marcelle, R., Clijsters. H. and Pouke, M. van, Eds). Published by the Hague. pp: 111-124.*
- Contreras M., E.; Arroyo P., H.; Ayala A., J.; Sánchez Del C., F. y Moreno P., E. del C. 2013. Caracterización morfológica de la diferenciacion floral en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 59-70.
- Coolbaugh, R. C. and Hamilton, R. 1976. Inhibition of *ent*-Kaurene Oxidation and Growth by α -Cyclopropyl- α -(p-methoxypenyl)-5-pyrimidine Methyl Alcohol. *Plant Physiol.* 57: 245-248.
- Cooper, A. J. 1964. A study of the development of the first inflorescence of Glasshouse tomatoes. *Journal Horticultural Science* 39:92-97.

- Curry, E. A. and Williams, M. W. 1983. Promalin or GA₃ increase pedicel, fruit length and leaf size of 'Delicious' apples treated with paclobutrazol. *HortScience* 18: 214-215.
- Dalziel, J. and Lawrence, D. K. 1984. Biochemical and biological effects of kaurene oxidase inhibitors such as paclobutrazol. *British plant growth regulator group* 11: 43-57.
- Davis, T. D. 1989. Triazole plant growth regulators. *Horticultural Reviews* 10: 63-105.
- Dufault, R. J. and Waters, L. 1985. Container size influences broccoli and cauliflower transplant growth but not yield. *HortScience* 20: 682-682.
- FAO, 2013. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. pp:250.
- FAOSTAT, 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/?#data/QC>. Consultada 21 de marzo, 2019.
- Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura (FIRA). 2007. Agricultura Protegida: Cultivo de Tomate en Invernadero, Costos de cultivo y análisis de rentabilidad. Dirección de Consultoría en Agronegocios. Dirección Regional del Norte. Agencias Montemorelos. Saltillo, Parral, Cuauhtémoc, Casas Grandes y Cd. Juárez.
- Fierro, A.; Tremblay, N. and Gosselin, A. 1994. Supplemental carbon dioxide and light improved tomato and pepper seedling growth and yield. *Horticultural Science*, 29: 152-154.
- Fisher, K. J. 1977. Competition effects between fruit trusses of the tomato plant. *Scientia Horticulturae* 7: 37-42.
- Fleming, J. A. 2007. Tomato: Flower development, tomato: Truss development and tomato: transition to flowering. In: <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/whri/about/staff/jhorridge/tomflower/> Consultada 21 de marzo, 2019.
- Gajc, W. J.; Kowalczyk, K.; Metera, A.; Mazur, K.; Bujalski, D. and Hemka, L. 2013. Effect of supplementary lighting on selected physiological parameters and yielding of tomato plants. *Folia Horticulturae* 25: 153-159.
- Ganea, R.; Indrea, D. A. S.; Apahidean, M.; Maniutiu, D. and Paven, I. 2002. Effect of composition and volumen of substrate on yield and fruit quality of under glass grown tomatoes. *Boletínul Universitatii de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara Cluj- Napoca. Seria Horticultura* 57: 150-153.
- Geiger, D. R. and Gianquinta, R. T. 1982. Translocation of photosynthate. In. *Photosynthesis vol. II development, carbon metabolism and plant productivity*. (Govindjee, Ed.), Academic Press, N. Y. 345-386.

- Gent, M. P. 1984. Carbohydrate level and growth of tomato plants I. the effect of carbón dioxide enrichment and diurnally fluctuating temperatures. *Plant Physiology* 76: 694-699.
- Giovinazzo, R. and Souza, M. V. 2001. Paclobutrazol responses with processing tomato in France. *Acta Horticulturae* 542: 355-358.
- Greyson, R. I. and Sawhney, V. K. 1972. Initiation and early growth of flower organs of *Nigella* and *Lycopersicon*: Insights from allometry. *Bot. Gaz.* 133: 184-190.
- Grimstad, S. O. 1987. Supplementary lighting of early tomatoes after planting out in glass and acrylic greenhouses. *Scientia Horticulturae* 33: 189-196.
- Hadlow, A. P. and Allan, P. 1989. Effect of paclobutrazol on vegetative growth in citrus nursery trees. *South African Journal of Plant and Soil* 6: 50-52.
- Hamid, M. M. and Williams, R. R. 1997. Effect of different types and concentrations of plant growth retardants on Surt's desert pea (*Swainsona formosa*). *Scientia Horticulturae* 71: 79-85.
- Hayward, H. E. 1938. The Structure of Economic Plants, Macmillan, Publishing Co. New York.
- Hernández, R. and Kubota, C. 2012. Tomato Seedling Growth and Morphological Responses to Supplemental LED Lighting Red: Blue Ratios under Variedad Daily Solar Light Integrals. *Acta Horticulturae* 956: 187-194.
- Hicks, G. S. and Sussex, I. M. 1970. Development in vitro of excised flower primordia of *Nicotiana Tabacum*. *Can. J. Bot.* 48: 133-139.
- Ho, L. C. 1976. The relationship between the rates of carbon transport and of photosynthesis in tomato leaves. *Journal of Experimental Botany* 27: 87-97.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1967. Increasing flower number in single-truss tomatoes. *J. Hort. Sci.* 42: 181-188.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperatura treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *J. Hort. Sci.* 45: 19-27.
- Hussey, G. 1963. Growth and Development in the Young Tomato. I. The effect of temperature and light intensity on growth of the shoot ápex and leaf primordia. *Journal of Experimental Botany* 14: 316-325.
- Jaramillo N., J.; Rodríguez V., P.; Guzmán A., M. y Zapata M., A. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. Boletín Técnico No. 21. CORPOICA. Centro de Investigación Selva Rionegro. Antioquía. Colombia. pp: 48.
- Jean-Marie, P. 2007. Cultivo de tomates. Traducido por Frederic Valero. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. pp: 95.

- Juárez L., P.; Bugarín M., R.; Castro B., R.; Sánchez M., L.; Cruz C., E.; Juárez R., C.; Alejo S., G. y Balois M., R. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente* 8: 21-27.
- Kemble, J. M.; Davis, J. M.; Gardner, R. G. and Sanders, D. C. 1994. Root cell volumen affects growth of compact-growth-habit tomato transplants. *HortScience* 29: 261-262.
- Kinet, J. M. 1977a. Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae* 6: 15-26.
- Kinet, J. M. 1977b. Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato, *Scientia Horticulturae* 6: 27-35.
- Klapwijk, D. 1981. Effects of season and artificial light on the growth and development of young tomato plants. *Acta Horticulturae* 128: 61-67.
- Klapwijk, D. and Lint, P. J. A. L. 1975. Growth and development of Young tomato plants. *Acta Horticulturae* 51: 147-161.
- Lake, J. V. 1967. The temperature response of single truss tomatoes. I. *Hort. Sci.* 42: 1-12.
- Latimer, J. G. 1992. Drought, Paclobutrazol, Absciscic Acid, and Gibberellic Acid as Alternatives to Daminozide in tomato Trasplant Production. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117: 243-247.
- León R., E. 2009. Buena práctica Agricultura Protegida. Proyecto Centro de Desarrollo Rural FSG 963. Universidad del Valle de Guatemala y Fundación Soros Guatemala.
- Lescovar, D. I. and Stofella, P. J. 1995. Vegetable seedling root system: morphology, development, and importance. *HortScience* 30: 1153-1159.
- Lewis, D. 1953. Some factors affecting flower produccion in the tomato. *J. Hort. Sci.* 28: 207-220.
- Magnitskiy, S. V.; Pasian, C. C.; Bennett, M. A. and Metzger, J. D. 2006. Effects of Soaking Cucumber and Tomato Seeds in Paclobutrazol Solutions on Fruit Weight, Fruit Size, and Paclobutrazol Level in Fruits. *HortScience* 41: 1446-1448.
- Massa, G. D.; Kim, H. H.; Wheeler, R. M. and Mitchell, C. A. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience* 43: 1951-1956.
- McAvoy, R. J.; Janes, H. W.; Godfriaux, B. L.; Secks, M.; Duchai, D. and Wittman, W. K. 1989. The effect of total available photosynthetic photon flux on single truss tomato growth and production. *J. Hort. Sci.* 64: 331-338.
- McCall, D. 1992. Effect of supplementary lighth on tomato transplant growth and the after-effects on yield. *Scientia Horticulturae* 51: 65-70.

- Méndez G., T.; Sánchez Del C., F.; Sahagún C., J. y Contreras M., E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección de Este a Oeste. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 185-192.
- Muñoz R., M.; Altamira C., R.; Carmona M., J.; Trujillo F., J.; López C., G. y Cruz A., A. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura: El caso del tomate rojo. SAGDER. CUESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo, México. pp: 120.
- Nascimento, M. W.; Salvagio, R.; Silva, C. J. B. 2003. Condicionamiento químico de crescimento de muda de tomate, *Hort. Brasileira* 21: 1-3.
- Nesmith, D. S. and 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.
- Nourai, A. H. A. and Harris, G. P. 1983. Effects of growth retardants on inflorescence development in tomato. *Scientia Horticulturae* 20: 341-348.
- Nuño, M. R. 2007. Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California. Fundación Produce, Modulo No. 21. Baja California, México. pp: 41.
- Osuna G., J. A.; Baez S., R.; Medina U., V. M.; Chávez C., X. 2001. Residualidad de paclobutrazol en frutos de mango (*Mangifera indica* L.) "Tommy Atkins". *Revista Chapingo Serie Horticultura* 7: 275-282.
- Parletta, M. A. and Sedgley, M. 1998. Acacias as potted plants. *Acta Hort.* 454: 183-190.
- Peet, M. M.; and Welles, G. 2005. Greenhouse tomato production. In: Tomatoes. E. Heuvelink (ed) CABI Publishing. Oxfordshire, UK. pp: 257-304.
- Pereira P., R. G. y Martínez E., P. 1999. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. Informe Agropecuario, Belo Horizonte 20: 24-31.
- Peterson, T. A.; Reinsel, M. D. and Krizek, D. T. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv Better Bush). Plant response to root restriction. I. Alteration of plant morphology. *Journal of Experimental Botany* 42: 1223-1240.
- Phatak, S. C.; Wittwer, S. H. and Teubner, F. G. 1966. Top and root temperature effects on tomato flowering. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 88: 527-531.
- Pinho, P.; Lukalla, R.; Sarkka, L.; Tetri, E.; Tahvonen, R. and Haionen, L. 2007. Evaluation of lettuce growth under multi-spectral-component supplemental solid state lighting in greenhouse environment. *Int. Rev. Electric. Eng.* 2: 854-860.

- Ponce O., J. 1998. Efecto de modificaciones al ambiente y a las relaciones fuente-demanda sobre la floración de jitomate. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Instituto de Horticultura, Chapingo, México. pp:70.
- Ponce, P.; Molina, A.; Cepeda, P.; Lugo, E. and MacCleery, B. 2014. Greenhouse Desing and Control. CRC Press, Taylor and Francis Group Boca Raton London UK. ISBN: 9781138026292. pp: 354.
- Rademacher, W. 2000. Growth Retardants: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 501-531.
- Resh, H. M. 2004. Cultivos Hidropónicos. Tercera Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 269.
- Russel, C. R. and Morris, D. A. 1982. Invertase activity, soluble carbohydrates and inflorescence development in the tomato. *Ann. Bot.* 49: 89-98.
- Rylski, I. 1979. Fruit set and development of seeded and seedless tomato fruits under diverse regimes of temperature and pollination. *I. Am. Soc. Hart. Sci.* 36: 195-205.
- Sánchez, Del C. F.; Durán, P. M. G.; Moreno, P. E. C. y Magdaleno, V. J. J. 2017. Variedades y densidades de población de frijol ejotero cultivado bajo invernadero e hidroponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 1187-1193.
- Sánchez Del C., F. y Escalante R., E. R. 1989. Hidroponía: Principios y Métodos de cultivo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Edo. De México.
- Sánchez Del C., F.; Moreno P., E del C. and 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. y Peña, L. A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnia de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 2007-2014.
- Sánchez Del C., F.; Moreno P., E. Del C. y Cruz A., E. L. 2009. Producción de jitomate hidropónica bajo invernadero en un sistema de dosel de forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 67-73.
- Sánchez Del C., F. y Ponce O., J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum escaletum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Revista Chapingo Seria Horticultura* 4: 89-93.
- Sánchez Del C., F. y Corona S., T. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base despunte y altas densidades. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 1: 109-114.

- Sekhar, K. N. C. and Sawhney, V. K. 1984. A scanning electron microscope study of the development and Surface features of floral organs of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Can J. Bot.* 62: 2403-2413.
- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. 2017. Producción Agropecuaria y Pesquera.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Third edition. Sinahuer associates, Inc. Publisher. Suderland, Massachusetts. pp: 193-221.
- Tavares, M.; Tessariori, N. J. and Barros, S. B. M. 1997. Evaluation of plug trays in cucumber (*Cucumis sativus* L.) trasplant production. *Ecossistema* 22: 33-37.
- Tonutti, P. and Giulivo, C. 1990. Effect of available soil volume on growth of young kiwi plants. *Acta Horticulturae* 282: 283-290.
- Trade map, 2017. Disponible en: https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=3||||0702|||4|1|1|2|2|1|2|1|. Consultada 21 de marzo, 2019.
- Ucan Ch., I.; Sánchez Del C., F.; Corona S., T. y Contreras M., E. 2005. Efecto del manejo de relaciones fuente-demanda sobre el tamaño del fruto. *Fitotecnia Mexicana* 28: 33-38.
- Urrestarazu G., M.; Martínez, G. A. and Salas, M. del C. 2005. Almond Shell waste: possible local rockwool substitute in soilless crop culture. *Scientia Horticulturae* 103: 453-460.
- Vavrina, C. S. 1995. An introduction to the production of containerized vegetable transplants. Univ. of Florida, Gainesville, Coop. Ext. Serv., Bul. 302.
- Vavrina, C. S. and Arenas, M. 1997. Growth and yield of tomato as affected by transplant container cell size. *Proc. Fla. Hort. Soc.* 110: 264-265.
- Vázquez R., J. C.; Sánchez Del C., F. y Moreno P., E. Del C. 2007. Producción de jitomate en doseles Escaleriformes Bajo Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13: 55-62.
- Velasco H., E. y Nieto A., R. 2006. Cultivo de Jitomate en Hidroponía e Invernadero. Segunda Edición. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp: 100.
- Veliath, J. A. and Ferguson, A. C. 1972. The effect of deblossoming on fruit size, yield and earliness in tomato. *Hortscience* 7: 278-279.
- Verkerk, K. 1955. Temperature, lighth and the tomato. Mededelingen. Landbouwhoges. Wageningen 55: 175-224.
- Walters, S. A.; Riddle, H. A. and Schmidt, M. E. 2005. Container cell volume and transplant age influence muskmelon development and yield. *Journal of Vegetable Science* 11: 47-55.

- Wittwer, S. H. and Tolbert, N. E. 1960. (2-hloroethyl) trimethylammonium chloride and related compounds as plant growth substances. III. Effect on growth and flowering of the tomato. *Am. J. Bot.* 47: 560-565.
- Wojciechowska, R.; Dlugosz, G. O.; Kolton, A. and Zupnik, M. 2015. Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's letucce grown in two winter cycles. *Scentia Horticulturae* 187: 80-86.

3. DENSIDAD DE POBLACIÓN, VOLUMEN DE CONTENEDOR Y PACLOBUTRAZOL SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULA Y NÚMERO DE FLORES EN JITOMATE¹

3.1. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos de densidad de población, volumen de contenedor y aplicaciones de distintas dosis de Paclobutrazol, sobre aspectos morfológicos relacionados con vigor y calidad de plántulas de jitomate a fin de lograr su trasplante hasta los 60 días de edad y sobre la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias. El experimento se realizó bajo invernadero utilizando la variedad Cid. Las plántulas fueron irrigadas con una solución nutritiva balanceada. Se usó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y 15 plantas por unidad experimental en la etapa del semillero y nueve plantas después del trasplante. Se establecieron 21 tratamientos que resultaron de la combinación de tres dosis de Paclobutrazol (0, 25 y 50 mg L⁻¹ de i.a); tres etapas de aplicaciones (a los 20, 30 y 40 días después de la siembra) y tres densidades de población (900, 300 y 150 plántulas/m², consideradas como densidad alta, media y baja, respectivamente). Para establecer las tres densidades de población indicadas, se utilizaron para la siembra de la semilla charolas con cavidades de 30, 250 y 250 ml, respectivamente. Los resultados mostraron que el uso de charolas de mayor volumen por cavidad combinado con la menor densidad mejoraron las características de vigor y calidad de plántula, incrementando su altura, grosor de tallo, área foliar, peso seco y área foliar específica. El número de flores por racimo no se afectó significativamente con ninguna de las densidades estudiadas, en ninguno de los volúmenes de contenedor ni con las diferentes aplicaciones de paclobutrazol. En las tres densidades hubo mayor rendimiento en el tercer racimo, seguido del segundo y finalmente del primero, y el peso medio del fruto fue similar entre tratamientos. En general se observó que con las densidades más bajas de población de plántulas en el semillero, con un volumen de sustrato de 250 ml para el crecimiento de la raíz y con la aplicación de paclobutrazol, se disminuye la altura de planta, con ello se retrasa el efecto de competencia por luz, favoreciendo la realización del trasplante con plántulas de mayor edad y permitiendo acortar el ciclo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, lo que potencialmente permite, en condiciones de invernadero, cuatro ciclos de cultivo al año con un potencial de rendimiento anual de en ese periodo de hasta 500 t/ha/año.

Palabras clave: Manejo de plántula, retardadores de crecimiento, desarrollo de plántula, floración.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Mario Ruiz Díaz

EFFECTS OF POPULATION DENSITY, CONTAINER VOLUME AND PACLOBUTRAZOL ON SEEDLING QUALITY AND NUMBER OF FLOWERS IN TOMATO²

3.2. ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the effects of population density, container volume and applications of different doses of Paclobutrazol, on morphological aspects related to vigour and quality of tomato seedlings in order to achieve transplantation until 60 days of age and on the formation of more flowers in the first three inflorescences. The experiment was carried out under greenhouse using the Cid variety. The seedlings were irrigated with a balanced nutritive solution. A random whole block design was used with four replicates and 15 plants per experimental unit in the seedbed stage and nine plants after transplant. Twenty-one treatments were established that resulted from the combination of three doses of Paclobutrazol (0, 25 and 50 mg L⁻¹ of i.a); three stages of applications (20, 30 and 40 days after sowing) and three population densities (900, 300 and 150 seedlings m⁻², considered as high, medium and low density, respectively). To establish the three population densities indicated, trays with cavities of 30, 250 and 250 ml, respectively, were used to sow the seed. The results showed that the use of trays with higher volume per cavity combined with lower density improved the vigor and quality characteristics of the seedling, increasing its height, stem thickness, leaf area, dry weight and specific leaf area. The number of flowers per bunch was not significantly affected by any of the densities studied, by any of the container volumes or by the different applications of Paclobutrazol. In all three densities there was higher yield in the third bunch, followed by the second and finally the first, and the average weight of the fruit was similar between treatments. In general it was observed that with the lowest densities of seedling population in the seedbed, with a substrate volume of 250 ml for root growth and with the application of paclobutrazol, plant height is decreased, thereby delaying the effect of competition for light, favouring transplanting with older seedlings and allowing the transplant cycle to be shortened at the end of the harvest to less than 90 days, which potentially allows, under greenhouse conditions, four crop cycles per year with an annual yield potential in that period of up to 500 t ha⁻¹ year⁻¹.

Key words: Seedling management, growth retarders, seedling development, flowering.

²Thesis of Horticultural Sciences MSc program, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Mario Ruiz Díaz
Advisor: Dr. Felipe Sánchez del Castillo

3.3. INTRODUCCIÓN

El sector de las hortalizas tiene singular importancia en la agricultura, tanto nacional como internacional. A escala mundial las hortalizas ocupan el segundo lugar de importancia entre los productos agropecuarios, siendo apenas superados por los cereales (Muñoz *et al.*, 1995).

En particular el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un cultivo con gran influencia y derrame económico sobre otros sectores que subsisten de su producción y comercialización. En México se producen 3,467,707.28 toneladas de jitomate, de los cuales el 50 % se exporta en varios países, principalmente a Estados Unidos, generando un valor de 1,345.1 millones de dólares. Los principales estados productores son Sinaloa con 17.1 %, seguido de Baja California con 15 % y Jalisco con 8.6 % del total de las toneladas producidas, y aunque se produce todos los meses de año, la mayor cantidad se obtiene en los meses de febrero, marzo, y noviembre (SIAP, 2016).

El sistema de cultivo de jitomate en invernadero que más se ha impuesto a nivel comercial en México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, en densidades de población de 2 a 3 plantas/m², donde los tallos de las plantas se dejan crecer hasta más de 7 m de longitud, para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año. En condiciones hidropónicas bajo este sistema de manejo, en Holanda se han reportado rendimientos de más de 500 t/ha/año con invernaderos de alta tecnología que permiten un excelente control de las condiciones ambientales (Peet y Welles, 2005; Resh, 2004). Aunque el rendimiento es alto, es importante resaltar que el ciclo de cultivo es muy largo (10 a 11 meses), con un periodo de inicio a fin de cosecha de seis a siete meses; además, es de difícil manejo técnico en cuanto a las prácticas culturales a realizar y a la prevención y control de plagas y enfermedades; todo ello deriva en un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005).

Varios trabajos de investigación realizados en la Universidad Autónoma Chapingo (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez *et al.*, 1991; Sánchez, 1994; Ponce,

1995) y experiencias a escala comercial con productores, han permitido validar un sistema de producción alternativo que consiste en conducir las plantas a un solo tallo y realizar despuntes temprano (eliminar la yema terminal de las plantas) para dejar uno, dos o tres racimos. Así, el ciclo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta de 10 o más meses a un periodo de 3 a 4 meses (según la edad de la planta al trasplante), y en un esquema de producción continua se han podido obtener tres ciclos por año y, por lo tanto, mayor productividad anual que en los sistemas convencionales (Sánchez *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2007); además, por lo concentrado del periodo de cosecha, ésta se puede programar para obtenerla en las ventanas de mercado donde los precios del producto son mayores, con lo que se logra mayor beneficio económico para el productor (Sánchez *et al.*, 2012).

Debido a la poca altura de las plantas, lograda con este manejo, el menor rendimiento por planta en un ciclo de cultivo se compensa parcialmente por el establecimiento de altas densidades de población (9 plantas/m² de invernadero), lo cual es posible porque, con el despunte temprano, cada planta forma menos área foliar (Sánchez y Ponce, 1998).

En este sistema generalmente se manejan camas de cultivo de 1 a 1.2 m de ancho, en distribución de cuatro hileras de plantas separadas por pasillos de 0.5 a 0.6 m de ancho. Al respecto, Sánchez *et al.* (2012) mencionan que los rendimientos logrados han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencialmente 500 a 600 t/ha/año) y esto sin la necesidad de invernaderos de alta tecnología.

Aunque este paquete tecnológico de producción ya se ha estado validando con éxito a escala comercial con productores, se piensa que es posible incrementar aún más el rendimiento y el beneficio económico anual por unidad de superficie mediante dos estrategias: 1) Acortando el ciclo de cultivo a menos de 3 meses para obtener cuatro ciclos por año en vez de tres. 2) Promoviendo la formación de más flores y frutos en cada una de las tres inflorescencias dejadas por planta.

Para el primer caso, se debe encontrar un manejo adecuado del semillero para lograr obtener plántulas que se puedan trasplantar hasta una edad más avanzada (55 a 60 días después de la siembra) sin efectos adversos posteriores que se pudieran traducir en menos rendimiento, en vez de los 30 días al trasplante que se usan para los semilleros en los sistemas convencionales, o los 40 a 45 días que se han empleado en el sistema de producción a tres racimos por planta.

Uchigasaki *et al.* (2003) mencionan que los establecimientos de los semilleros y velocidad del crecimiento depende de la velocidad con que el sistema de raíces se desarrolla, pero las condiciones en que crece la raíz tienen grandes repercusiones físicas y fisiológicas en las etapas tempranas de crecimiento de las plántulas en semillero, observándose que cuando las plántulas crecen en contenedores muy pequeños las raíces sufren una poda natural y cuando exploran todo el sustrato salen por los orificios de los contenedores y se presenta una exposición al aire, que le causa deshidratación y muerte de los ápices radicales (Lescovar y Stofella, 1995; Uchigasaki *et al.*, 2003). El tamaño del contenedor afecta el crecimiento de las raíces, brotes apicales, distribución y acumulación de biomasa (Pereira y Martínez, 1999), fotosíntesis, contenido de clorofila en las hojas, relación de agua en la planta, absorción de nutrientes, respiración, floración y rendimientos de las plantas (Cantliffe, 1993; Nesmith y Duval, 1998), por lo que un mayor volumen de sustrato por plántula en el semillero acelera el desarrollo y puede mejorar el rendimiento final del cultivo (Walters *et al.*, 2005).

En etapa de plántula, con la aplicación de un retardador del crecimiento como el Paclobutrazol, se pueden formar plantas con entrenudos más cortos y hojas con menor área foliar, lo que posibilita mantener a las plántulas más tiempo en el semillero sin efectos adversos posteriores al trasplante (Berova y Zlatev, 2000). Además, la detención temporal del ritmo de crecimiento de tallos y hojas, favorece una mayor disponibilidad de fotoasimilados para el desarrollo de las inflorescencias, dado que se reduce su consumo por efectos de una menor respiración de crecimiento (Morales, 2008).

Un mayor espaciamiento entre plántulas aunado a un mayor volumen del sustrato en cada plántula, permitiría mantener más tiempo las plántulas en el semillero y prolongar el trasplante sin ningún efecto de competencia por luz o restricciones en el crecimiento de la raíz que afecten negativamente el crecimiento y desarrollo después del trasplante (Nesmith y Duval, 1998; Sakurai *et al.*, 2007).

Al respecto Hurd y Cooper (1970), Calvert (1973), Aung (1978) y Picken *et al.* (1986), mencionan que el carácter inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más de flores por racimo que los racimos simples), o simplemente la formación de más flores por racimo, si bien tienen un componente genético, se pueden promover mediante modificaciones temporales del ambiente (luz, temperatura, CO₂, nutrición) o del manejo de las relaciones fuente-demanda (poda de hojas que están iniciando su crecimiento, uso de hormonas o reguladores de crecimiento, etc.).

Al haber mayor espaciamiento entre plántulas (menor densidad de población), se espera que cada plántula reciba más luz y por lo tanto incremente su tasa de producción de fotoasimilados, dejando más azúcar disponible para los primordios de flor, lo que puede llegar a producir más flores por inflorescencia (Contreras, 2007).

Con mayor volumen de sustrato la raíz de las plántulas puede crecer con menos restricciones, incrementando su síntesis de citocininas y su tasa de translocación de la raíz al meristemo apical lo que promueve los procesos de división celular, incluyendo los primordios de flor ayudando a la formación de inflorescencias con más flores (Atherton y Harris, 1986).

El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de densidad de población de plántulas, volumen de contenedor, aplicaciones de Paclobutrazol e interacciones entre estos factores, sobre aspectos morfológicos relacionados con vigor y calidad de plántulas de jitomate a fin de lograr su trasplante hasta los 55 a 60 días de edad sin efectos adversos posteriores y sobre la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tanto en fase de semillero como en la de producción se llevó a cabo en los invernaderos del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en el municipio de Texcoco, Estado de México, con latitud Norte de 19° 20' 35", y longitud Oeste de 98° 53' 7" y una altura sobre el nivel medio del mar de 2240 m.

El invernadero utilizado para el semillero fue de tipo capilla (dos aguas) con cubierta de polietileno térmico y de alta dispersión de luz y con una superficie de 300 m². El control de las condiciones ambientales se lograba mediante: 1) la apertura y cierre de ventanas con cortinas de polietileno y protección con mallas antiáfido para evitar la entrada de insectos plaga; 2) Un sistema de muro húmedo y extractores que permitía mantener dentro de límites favorables la alta temperatura y baja humedad relativa que ocurrieron durante la evaluación.

El manejo después del trasplante se llevó a cabo en un invernadero con características similares, pero que no contaba con el sistema de pared húmeda.

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.

Se utilizó la variedad de jitomate de tipo saladette indeterminado "El Cid" perteneciente a la casa comercial Enza Zaden. El fruto es de forma aplanada y semi redonda, con un peso promedio de 160 g; tienen muy buen cierre apical y sin hombros verdes, y conservan su color rojo intenso para una excelente vida de anaquel.

Las plántulas según el tratamiento que les correspondía fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades con un volumen de 30 ml por cavidad y 2.5 cm de distancia de centro a centro de cada cavidad, o en charolas de 60 cavidades con un volumen de 250 ml por cavidad y una separación de 5 cm entre centro y centro de cada cavidad. Como sustrato de siembra se utilizó una mezcla de peat-moss y perlita (50-50).

Las plántulas fueron irrigadas desde la siembra con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de nutrimentos en mg L^{-1} : Nitrógeno, 200; Fósforo, 50; Potasio, 200; Calcio, 250; Magnesio, 50; Azufre, 150; Hierro, 2; Manganeseo 1; Boro, 0.5; cobre, 0.1 y Zinc, 0.1. Durante los primeros 15 días después de la siembra (dds) la solución se aplicó a la mitad de su concentración; de ahí en adelante, hasta el fin de la cosecha se utilizó la concentración completa.

Se establecieron 21 tratamientos que resultan de la combinación de tres dosis de paclobutrazol (PB): 0, 25 y 50 mg L^{-1} de ingrediente activo; diferente número de aplicaciones: 1, 2 ó 3; y tres densidades de población: Alta densidad ($900/\text{plántulas}/\text{m}^2$) en charolas con cavidades de 30 mL; Densidad media ($300/\text{plántulas}/\text{m}^2$) en charolas con cavidades de 250 mL; y Densidad baja ($150/\text{plántulas}/\text{m}^2$) en charolas con cavidades de 250 mL.

Los tratamientos (T) en particular se describen a continuación:

T1. Testigo en charolas de 60 cavidades sin aplicación de PB (T60C).

T2. Testigo en charolas de 30 cavidades sin aplicación de PB (T30C).

T3. Testigo en charolas de 200 cavidades sin aplicación de PB (T200C).

T4. Una aplicación de 50 mg L^{-1} de PB 20 dds en charolas de 60 cavidades (PB50-20dds-60C).

T5. Una aplicación de 50 mg L^{-1} de PB 20 dds en charolas de 30 cavidades (PB50-20dds-30C).

T6. Una aplicación de 50 mg L^{-1} de PB 20 dds en charolas de 200 cavidades (PB50-20dds 200C).

T7. Una aplicación de 50 mg L^{-1} de PB 30 dds en charolas de 60 cavidades (PB50-30dds-60C).

T8. Una aplicación de 50 mg L⁻¹ de PB 30 dds en charolas de 30 cavidades (PB50-30 dds-30C).

T9. Una aplicación de 50 mg L⁻¹ de PB 30 dds en charolas de 200 cavidades (PB50-30 dds-200C).

T10. Una aplicación de 50 mg L⁻¹ de PB 40 dds en charolas de 60 cavidades (PB50-40dds-60C).

T11. Una aplicación de 50 mg L⁻¹ de PB 40 dds en charolas de 30 cavidades (PB50-40dds-30C).

T12. Dos aplicaciones de 25 mg L⁻¹ de PB 20 y 30 dds en charolas de 200 cavidades (PB25-20 y 30dds-200C).

T13. Dos aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de PB 20 y 30 dds en charolas de 200 cavidades (PB50-20 y 30dds-200C).

T14. Dos aplicaciones de 25 mg L⁻¹ de PB 20 y 40 dds en charolas de 60 cavidades (PB25-20 y 30dds-60C).

T15. Dos aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de PB 20 y 40 dds en charolas de 60 cavidades (PB50-20 y 30dds-60C).

T16. Dos aplicaciones de 25 mg L⁻¹ de PB 20 y 40 dds en charolas de 30 cavidades (PB25-20 y 30dds-30C).

T17. Dos aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de PB 20 y 40 dds en charolas de 30 cavidades (PB50-20 y 30dds-30C).

T18. Tres aplicaciones de 25 mg L⁻¹ de PB 20, 30 y 40 dds en charolas de 60 cavidades (PB25- 20, 30 y 40 dds-60C).

T19. Tres aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de PB 20, 30 y 40 dds en charolas de 60 cavidades (PB50- 20, 30 y 40 dds-60C).

T20. Tres aplicaciones de 25 mg L⁻¹ de PB 20, 30 y 40 dds en charolas de 30 cavidades (PB25- 20, 30 y 40 dds-30C).

T21. Tres aplicaciones de 50 mg L⁻¹ de PB 20, 30 y 40 dds en charolas de 30 cavidades (PB50- 20, 30 y 40 dds-30C).

En la fase de semillero se trabajó con un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y 15 plántulas por unidad experimental.

Las variables que se midieron en esta fase fueron:

1. Altura de plántula a los 40 y 60 dds.
2. Grosor del tallo a los 40 y 60 dds en el entrenudo entre la cuarta y quinta hoja, medida con un vernier electrónico “Digimatic Caliper” (Mitutoyo, Modelo No. CD-6 CS).
3. Área foliar por planta a los 40 y 60 dds. Para medirla se hizo un muestreo de dos plantas representativas de cada tratamiento en cada repetición y se midió directamente en un integrador de área foliar (LI- 3000A, Lincoln, Nebraska).
4. Peso seco total a los 40 y 60 dds mediante secado en estufa de las mismas dos plantas por tratamiento en cada repetición que se muestrearon para obtener área foliar.
5. Área foliar específica (g de materia seca/m² de hoja) a los 40 y 60 dds de las mismas dos plantas por tratamiento en cada repetición que se muestrearon para obtener área foliar.

El trasplante se efectuó a los 60 dds colocando tres hileras de plantas en camas de 1 m de ancho x 25 cm de profundidad, las cuales se rellenaron con arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Los pasillos dejados entre camas fueron de 50 cm de ancho. Se utilizaron nueve plantas por unidad experimental a una distancia entre plantas de 30 cm y entre hileras de 33 cm.

Se instaló un sistema de riego a base de cintilla con goteros integrados a cada 20 cm. El riego fue con solución nutritiva con las concentraciones de nutrientes ya señaladas. Se dieron entre tres y cinco riegos diarios (1 L m^{-2} cada uno) según las condiciones climáticas y la edad de las plantas. Para mantener las plantas sanas, se estableció un programa preventivo para el control de plagas y enfermedades.

El tutorio de las plantas se realizó inmediatamente después del trasplante. La poda de brotes laterales se efectuó durante cuatro semanas consecutivas a partir de los 70 dds. La eliminación de la yema terminal se realizó entre los 85 y 90 dds, dos hojas por encima de la tercera inflorescencia formada. También se podaron tres a cuatro hojas inferiores de cada planta a los 80 dds. La cosecha de los primeros frutos maduros inició a los 112 dds y el último corte fue a los 151 dds.

Los tratamientos se dispusieron al igual que en el semillero bajo un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y nueve plantas por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron:

1. Número de flores por inflorescencia y por planta.
2. Número de frutos cosechados por racimo y por planta.
3. Peso medio de frutos por planta.
4. Rendimiento por racimo y por planta.

A los datos obtenidos se les aplicó análisis de varianza y se hicieron comparaciones de medias de Tukey ($P= 0.05$). En varios casos se aplicaron técnicas de comparación con contrastes ortogonales.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Variables morfológicas

3.5.1.1. Densidad de población baja (150 plántulas/m²) con charolas de 60 cavidades

En el Cuadro 1 se puede observar que a los 40 días después de la siembra (dds), hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos con baja densidad de población (150/plántulas/m²) para todas las variables indicadoras de calidad de plántula (altura, grosor del tallo, área foliar y área foliar específica), excepto para el peso seco por planta que fue similar para todos los tratamientos, y a los 60 dds (Cuadro 2) se tuvieron diferencias altamente significativas para altura de planta y área foliar y significativas para peso seco y área foliar específica, pero no para grosor de tallo.

Cuadro 1. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

FV	GL	Altura	Grosor del tallo	Área foliar	Peso seco	Área foliar específica
Repetición	3	3.97	0.04	10	0.03	4
Tratamiento	7	77.13**	0.32**	3303**	0.94	201**
Error	21	10.33	0.04	209	0.46	51
CV (%)		10.85	4.40	6.85	16.19	13.91

** : Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 2. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

FV	GL	Altura	Grosor del tallo	Área foliar	Peso seco	Área foliar específica
Repetición	3	1.25	0.003	1906	0.21	74
Tratamiento	7	27**	0.11	28845**	2.58*	410*
Error	21	2.34	0.04	3552	0.75	114
CV (%)		4.53	4.13	8.47	11.52	11.33

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 3, se presentan las comparaciones de medias para las diferentes variables morfológicas evaluadas a los 40 días después de la siembra (dds). Se observa que la altura de la plántula, fue significativamente mayor para el testigo respecto a la mayoría de los tratamientos con Paclobutrazol. Una excepción fue el tratamiento con 50 mg L⁻¹ de Paclobutrazol aplicado a los 40 dds, lo cual es lógico pues no podía esperarse diferencias ya que la medición se realizó también a los 40 dds, momento de la aplicación. La otra excepción fue para el tratamiento de 50 mg L⁻¹ aplicado a los 20 y 40 dds, donde la primera aplicación a los 20 dds no fue suficiente para disminuir significativamente la altura de las plántulas. Destaca que la mayor reducción en altura respecto al testigo (13.25 cm) se tuvo con la dosis de 50 mg L⁻¹ con tres aplicaciones (20, 30 y 40 dds). También se puede destacar que para una dosis de 50 mg L⁻¹ y una sola aplicación, entre más pronto se realicen las aplicaciones más efecto se tiene sobre dicha variable.

En cuanto al grosor del tallo, la mayoría de los tratamientos evaluados a esta densidad son significativamente mayor al testigo, con excepción del tratamiento de 25 mg L⁻¹ con tres aplicaciones (20, 30 y 40 dds) que fue similar.

Por otro lado, el área foliar disminuyó significativamente en todos los tratamientos de Paclobutrazol, excepto el de 50 mg L⁻¹ aplicado a los 40 dds tal como ocurrió con la altura cuya medición se hizo antes de la aplicación del producto. El tratamiento de 50 mg L⁻¹ de Paclobutrazol en tres tiempos de aplicación (20, 30 y 40 dds) es también el que reduce más el área foliar respecto al testigo (95 cm² menos área foliar por plántula).

El peso seco por plántula no cambió significativamente en ningún tratamiento respecto al testigo.

Por otro lado, el área foliar específica tendió a disminuir respecto al testigo en varios tratamientos de Paclobutrazol, alcanzando a ser significativa para el tratamiento de 50 mg L⁻¹ con tres aplicaciones (20, 30 y 40 dds).

Cuadro 3. Comparaciones de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
0	0	36.05 a ^z	4.49 c	257 a	4.38 a	63 a
50	20	26.08 cd	5.18 ab	196 cd	3.14 a	63 a
50	30	28.2 bcd	5.03 ab	210 bc	4.41 a	49 ab
50	40	34.07ab	5.12 ab	242 ab	4.63 a	53 ab
25	20-40	29.9 abcd	5.15 ab	205 c	3.98 a	52 ab
50	20-40	32.4 abc	5.15 ab	211 bc	4.54 a	47 ab
25	20-30-40	27.4 bcd	4.83 bc	207 c	4.50 a	46 ab
50	20-30-40	22.80 d	5.45 a	162 d	4.10 a	41 b
DMS		7.62	0.52	34.34	1.61	16.90

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

Las comparaciones de medias de las variables morfológicas medidas a los 60 días después de la siembra (Cuadro 4), muestran que en altura de plántula se tuvo un comportamiento similar a lo observado a los 40 dds, es decir, que con excepción del tratamiento de 50 mg L⁻¹ de Paclobutrazol aplicado a los 40 dds, esta variable fue significativamente mayor para el testigo respecto a los demás tratamientos con Paclobutrazol. La disminución en altura entre el testigo y el tratamiento de tres aplicaciones de Paclobutrazol (20, 30 y 40 dds) a 50 mg L⁻¹ alcanzó hasta 8.5 cm, y los demás tratamientos alcanzan al menos de 4 cm de reducción en altura.

En grosor de tallo, para la gran mayoría de los tratamientos es similar al testigo. Sólo el tratamiento de 50 mg L⁻¹ a los 20 dds muestra un menor grosor que el testigo.

En área foliar al igual que con la evaluación a los 40 dds, con excepción del tratamiento de 50 mg L⁻¹ 40 dds, en todos los tratamientos en los que se aplicó paclobutrazol se tuvieron reducciones significativas, en este caso de hasta 200 cm² de área foliar por plántula respecto al testigo.

A los 60 dds, tampoco hubo muchas diferencias en peso seco, pues sólo el tratamiento de Paclobutrazol a 25 mg L⁻¹ en dos aplicaciones (20 y 40 dds) redujo su peso seco respecto al testigo.

En cuanto al área foliar específica, se encontró una disminución significativa para los tratamientos de 25 y 50 mg L⁻¹ de Paclobutrazol aplicado los 20, 30 y 40 dds, pero no con relación al testigo, sino respecto al tratamiento que presentó la mayor área foliar específica que fue el de Paclobutrazol a 25 mg L⁻¹ en dos aplicaciones (20 y 40 dds).

Cuadro 4. Comparaciones de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
0	0	38.75 a ^z	5.44 ab	851 a	8.65 a	98 ab
50	20	33.50 bc	5.00 b	660 b	6.94 ab	98 ab
50	30	32.00 bc	5.41 ab	644 b	6.74 ab	96 ab
50	40	35.25 ab	5.54 a	826 a	8.14 ab	102 ab
25	20-40	34.00 b	5.35 ab	683 b	6.29 b	110 a
50	20-40	34.50 b	5.46 ab	655 b	7.64 ab	86 ab
25	20-30-40	31.75 bc	5.21 ab	646 b	8.00 ab	81 b
50	20-30-40	30.25 c	5.34 ab	658 b	7.90 ab	83 b
DMS		3.63	0.52	141.34	2.06	25.33

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.1.2. Densidad de población media (300 plántulas/m²) con charolas de 60 cavidades

En el Cuadro 5 se puede observar que a los 40 días después de la siembra (dds), hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos para altura de plántulas y grosor del tallo y significativas para área foliar y área foliar específica, pero no para peso seco. A los 60 dds (Cuadro 6) se tuvo el mismo comportamiento, con la única divergencia de que en área foliar las diferencias fueron altamente significativas.

Cuadro 5. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Altura	Grosor del tallo	Área foliar	Peso seco	Área foliar específica
Repetición	3	2.83	0.04	580	0.47	8.37
Tratamiento	7	82.03**	0.48**	1253*	1.21	214*
Error	21	5.77	0.08	380	0.49	80.16
CV (%)		7.25	6.01	9.77	18.61	16.50

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Altura	Grosor del tallo	Área foliar	Peso seco	Área foliar específica
Repetición	3	3.61	0.03	5505	2.15**	277
Tratamiento	7	70.78**	0.34**	30037**	0.83	712*
Error	21	4.73	0.05	4952	0.44	209
CV (%)		5.66	4.46	10.18	10.97	12.65

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 7 se presentan las comparaciones de medias para las diferentes variables morfológicas evaluadas a los 40 dds, en el cual se observa que la altura de plántula en el testigo fue significativamente mayor respecto a los tratamientos con una aplicación de Paclobutrazol a los 20 dds, y tres aplicaciones a los (20, 30 y 40 dds) con dosis de 50 mg L⁻¹, con una reducción de más de 8 y 12 cm, respectivamente.

También se observa que los tratamientos de tres aplicaciones de Paclobutrazol (a los 20, 30 y 40 dds), con dosis de 25 y 50 mg L⁻¹, tuvieron mayor grosor del tallo respecto al testigo, con incrementos de 0.72 y 0.91 mm, respectivamente.

Al igual que en altura de plántula, el área foliar en plántulas también disminuyó significativamente con el tratamiento de 50 mg L⁻¹ de Paclobutrazol en tres

aplicaciones (20, 30 y 40 dds) con diferencia de más 50 cm² respecto al testigo; entre los otros tratamientos no se presentaron diferencias.

El peso seco y área foliar específica por plántula, no cambió significativamente en ningún tratamiento respecto al testigo. Solamente se observaron diferencias estadísticas entre el tratamiento de 50 mg L⁻¹ con dos aplicaciones (20 y 40 dds) y el de 25 mg L⁻¹ con tres aplicaciones (20, 30 y 40 dds) para el área foliar específica.

Cuadro 7. Comparaciones de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
0	0	39.58 a ²	4.52 c	224 a	3.53 a	63 ab
50	20	30.86 bc	4.64 bc	178 ab	3.18 a	56 ab
50	30	35.55 ab	4.56 bc	216 ab	4.20 a	54 ab
50	40	35.17 ab	4.54 c	212 ab	4.01 a	53 ab
25	20-40	34.32 ab	4.82 abc	199 ab	4.26 a	48 ab
50	20-40	35.71 ab	5.03 abc	193 ab	4.61 a	43 b
25	20-30-40	35.55 ab	5.24 ab	200 ab	3.16 a	64 a
50	20-30-40	27.58 c	5.43 a	173 b	3.37 a	52 ab
DMS		5.69	0.69	46.21	1.67	21.23

²Valores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

Las comparaciones de medias de las variables morfológicas medidas a los 60 días después de la siembra se muestran en el Cuadro 8. Se observa que, en altura de las plántulas, con excepción del tratamiento de 50 mg L⁻¹ aplicado 40 dds, todos los tratamientos en el que se aplicó Paclobutrazol tuvieron menor altura respecto al testigo; en particular el tratamiento de tres aplicaciones de Paclobutrazol (20, 30 y 40 dds) a 50 mg L⁻¹, alcanzó una reducción de más de 13 cm. La aplicación a los 40 dds fue similar con el testigo, lo que sugiere que entre más tarde se haga ésta, menos efecto se tiene sobre la altura de planta.

En grosor del tallo, en la mayoría de los tratamientos se perdió el efecto del Paclobutrazol volviéndose similar al testigo. La excepción fue el tratamiento de

25 mg L⁻¹ aplicado a los 20,30 y 40 dds, donde se incrementó el grosor del tallo (0.71 mm) respecto al testigo.

En área foliar, la mayoría de los tratamientos fueron similares al testigo, excepto cuando se realizaron aplicaciones de Paclobutrazol con 50 mg L⁻¹ a los (20 dds) y tres aplicaciones a los (20, 30 y 40 dds), donde se tuvo una reducción de 243 cm² y 195 cm², respecto al testigo.

Por otro lado, el peso seco y área foliar específica se comportaron igual a lo observado a los 40 dds, es decir, los tratamientos se comportaron en forma similar al testigo.

Cuadro 8. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
0	0	45.75 a ²	4.84 c	800 a	6.68 a	121 ab
50	20	38.50 bc	4.80 c	557 c	5.72 a	97 b
50	30	36.50 cd	4.92 bc	681 abc	5.82 a	119 ab
50	40	42.00 ab	5.45 ab	752 ab	5.61 a	134 a
25	20-40	40.25 bc	5.22 abc	783 a	6.13 a	128 ab
50	20-40	36.50 cd	4.89 c	638 abc	6.52 a	98 b
25	20-30-40	35.50 cd	5.55 a	710 abc	6.67 a	109 ab
50	20-30-40	32.35 d	5.27 abc	605 bc	5.69 a	108 ab
DMS		5.16	0.54	166 .91	1.58	34.3

²Valores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.1.3. Densidad de población alta (900 plántulas/m²) con charolas de 200 cavidades

Con la densidad de población de 900 plántulas/m², solamente se hicieron mediciones a los 40 dds. El análisis de varianza (Cuadro 9) muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos para el área foliar por planta y significativas para altura de plántula y área foliar específica, pero no para grosor del tallo, ni para peso seco por planta.

Cuadro 9. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m² en charolas de 200 cavidades.

FV	GL	Altura	Grosor del tallo	Área foliar	Peso seco	Área foliar específica
Repetición	3	7.05	0.03	16	0.07	96
Tratamiento	4	56.88*	0.15	306**	0.02	238*
Error	12	11.19	0.06	40.09	0.02	50.80
CV (%)		14.48	7.78	6.67	11.01	11.11

*. Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 10, se observa una disminución significativa en altura de plantas para los tratamientos de 25 y 50 mg L⁻¹ de Paclobutrazol aplicados a los 20 y 30 dds, manifestándose una reducción de 8.12 y 9.03 cm, respecto al testigo. Sin embargo, con una sola aplicación de Paclobutrazol a los 20 y 30 dds no se notó esta diferencia.

En grosor del tallo, al igual que en peso seco por planta, no hubo diferencias estadísticas entre todos los tratamientos. Sin embargo, el área foliar, en todos los tratamientos de Paclobutrazol, redujeron significativamente su área foliar respecto al testigo. La magnitud fue de alrededor de 20 cm² menos por plántula.

Con respecto al área foliar específica, en los tratamientos de 50 mg L⁻¹ en una aplicación a los 30 dds y en dos aplicaciones a los 20 y 30 dds, se disminuyó significativamente respecto al testigo con una reducción de 17 cm² g⁻¹ y 21 cm² g⁻¹, respectivamente. Los demás tratamientos fueron similares al testigo.

Cuadro 10. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m² en charolas de 200 cavidades.

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
0	0	28.18 a ^z	3.58 a	110 a	1.44 a	77 a
50	20	25.52 ab	3.18 a	91 b	1.42 a	65 ab
50	30	22.56 ab	3.10 a	93 b	1.56 a	60 b
25	20-30	20.06 b	3.26 a	89 b	1.43 a	63 ab
50	20-30	19.15 b	3.13 a	90 b	1.61 a	56 b
DMS		7.54	0.57	14.27	0.37	16.06

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.1.4. Densidades de población en los testigos

Con el propósito de evaluar los efectos de la densidad de población sobre el comportamiento de las plántulas sobre las variables morfológicas, se realizó una comparación de medias (Tukey, P = 0.05) de los tratamientos testigos sin aplicación de Paclobutrazol manejados a distintas densidades de población a los 40 dds, edad a la que fueron trasplantadas las plántulas que crecían en charolas de 200 cavidades a una densidad de 900 plántulas/m². También se compararon a los 60 dds los testigos creciendo a 300 y 150 plántulas/m² en charolas de 60 cavidades.

Se encontró (Cuadro 11) que la altura de plántula es significativamente menor a la mayor densidad (900 plántulas/m²), contrastando con el hecho de que a 150 plántulas/m² la altura sea menor que a 300 plántulas/m². Estos aspectos se analizan en el apartado de discusión de variables morfológicas.

El grosor del tallo y el peso seco por plántula disminuyen significativamente con la densidad más alta de 900 plántulas m⁻², pero las densidades de 300 y 150 plántulas/m² fueron similares.

El área foliar por plántula es significativamente mayor en la densidad de 150 plántulas/m², pero es de destacar que a la densidad de 900 plántulas/m² la

reducción en área foliar es muy drástica (más del 50 %) respecto a las otras dos densidades.

Por último, cabe destacar que el área foliar específica fue menor para el tratamiento de menor densidad respecto a la densidad más alta probada.

Cuadro 11. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en plántulas establecidas a tres densidades de población.

Densidad (plantas/m ²)	Variables morfológicas (40 dds)				
	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
900	28.58 c ^z	3.58 b	110.25 c	1.44 b	76.78 a
300	39.58 a	4.52 a	223.75 b	3.53 a	63.77 ab
150	36.05 b	4.49 a	257.25 a	4.38 a	59.23 b
DMS	2.27	0.47	24.74	1.01	16.81

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 12 se comparan las variables morfológicas de plántulas de 60 días de edad establecidas en charolas de 60 cavidades a densidades de 150 y 300 plántulas/m². Las plántulas que crecieron a menor densidad tuvieron un mayor grosor del tallo y peso seco, y manifestaron fuerte tendencia a una menor altura y área foliar específica. Sólo el área foliar fue más cercana entre ambas densidades.

Cuadro 12. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en plántulas establecidas a dos densidades de población.

Densidad (plantas/m ²)	Variables morfológicas (60 dds)				
	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
300	45.75 a ^z	4.84 b	799.75 a	6.68 b	121.19 a
150	38.75 a	5.44 a	851.25 a	8.65 a	98.36 a
DMS	8.71	0.58	84.57	1.16	24.66

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.1.5. Discusión sobre variables morfológicas en plántulas

En este sistema de producción de jitomate en invernadero a tres racimos por planta se busca obtener plántulas de más edad al trasplante (50 a 60 dds) para lograr ciclos más cortos de trasplante a fin de cosecha que permitan hasta cuatro ciclos de cultivo al año. En este caso se pretende lograr características morfológicas que favorezcan el vigor y un adelanto en el crecimiento y desarrollo de ellas.

En particular, para este sistema de trasplantes tardíos, se buscan características que indiquen calidad como las siguientes:

1. Plántulas compactas de relativamente poca altura, para retrasar y disminuir la competencia por luz entre ellas y facilitar el trasplante a edades más avanzadas (Sánchez, 1997).
2. Tallo grueso, aspecto que significa más área transversal de floema y xilema para conducir más eficientemente agua, nutrientes y fotoasimilados entre la raíz y las hojas (Sánchez, 1997; Sánchez *et al.*, 1999; Regalado, 2002).
3. Área foliar con hojas más gruesas y compactas con mayor densidad o menor área foliar específica (Sánchez, 1997).
4. Alto peso seco por plántula, indicativo de un mayor crecimiento y desarrollo (Sánchez, 1997).

Los resultados de aplicación de Paclobutrazol en plántulas creciendo a distintas densidades de población (Cuadros 3 y 4), muestran que el Paclobutrazol sí disminuye la altura y el área foliar en plántulas de jitomate. La altura fue menor donde se aplicó Paclobutrazol a diferentes dosis y fechas de aplicación respecto al testigo; esta reducción en altura seguramente retrasó y disminuyó el efecto de competencia mutua por luz entre plántulas facilitando el trasplante a los 60 dds.

Por otro lado, la reducción del tamaño, al reducir la competencia por luz, estimuló la tasa de fotosíntesis, sobre todo entre los 40 y 60 dds, lo cual se vio reflejado

en un engrosamiento significativo del tallo, indicando una buena calidad de plántulas ya que al momento del trasplante éstas resisten más al estrés y a los daños mecánicos (Souza-Machado *et al.*, 1999). Además, un tallo más grueso, generalmente va acompañado de más área transversal de xilema y floema, lo que hace más eficiente la conducción hacia la parte aérea del agua, nutrientes minerales y hormonas, así como de fotoasimilados y hormonas en el sentido inverso (Canny, 1973; Walker y Thornley, 1977; Sánchez, 1997; Regalado, 2002). Con ello también se favorece una pronta recuperación al momento del trasplante en comparación con una planta más delgada y frágil (Souza-Machado *et al.*, 1999).

En un estudio similar al aquí presentado, realizado por Giovinazzo y Souza (2001) en plántulas de jitomate, el Paclobutrazol redujo el tamaño de plántulas hasta 43 %. Barret y Nell (1986), señalaron que los triazoles son activos en concentraciones pequeñas y que, por lo regular, sólo se requiere de una a tres aplicaciones del inhibidor, pero su efecto dependerá de la especie y las condiciones en que se encuentra la planta. Por su parte Adriansen y Odgaard (1997), confirmaron que la magnitud del efecto del Paclobutrazol está relacionada directamente con la dosis aplicada. Por otro lado, Berova y Zlatev (2000) indican que, en etapa de plántula, con la aplicación de retardador del crecimiento como el Paclobutrazol, se pueden formar plantas con entrenudos más cortos, lo que posibilita mantener a las plántulas más tiempo en el semillero sin efectos adversos posteriores al trasplante. En un estudio realizado por los mismos autores, con jitomate a una dosis 25 mg L^{-1} en aplicación foliar, encontraron que se incrementó el grosor del tallo y el desarrollo de raíces, con ello, la calidad de plántulas para el trasplante. De manera similar, Giovinazzo y Souza (2001), con aplicación de Paclobutrazol en tres cultivares de jitomate, encontraron incrementos el diámetro del tallo en un 9 % respecto al testigo.

El Paclobutrazol al ser absorbido por la parte aérea, se trasloca por el xilema hasta los puntos de crecimiento, el ingrediente activo inhibe la producción de giberelinas en los meristemos subapicales, impidiendo la oxidación del Kaureno

a ácido kareurenóico; lo que reduce la tasa de división y expansión celular limitando con ello el crecimiento (Coolbaugh y Hamilton 1976; Davis, 1989). Ello se debe a que el Paclobutrazol interactúa con monooxigenasas del citocromo P450, al bloquear las oxidaciones sucesivas de ent-kaureno a ent-kaurenol, ent-kaurenal y ácido ent-kaurénico, dentro del ciclo del mevalonato, y de esta forma inhibe la síntesis de giberelinas (Azcón, 1993) y la elongación celular (Rademacher, 2000).

La mayoría de los tratamientos con Paclobutrazol disminuyeron significativamente el área foliar de las plántulas favoreciendo un menor sombreado entre ellas, sobre todo entre los 40 y 60 dds. De esta manera cada plántula pudo interceptar más radiación fotosintéticamente activa, lo que posiblemente se refleja en una mayor tasa fotosintética con mayor producción de fotoasimilados por día, de tal manera que, por ejemplo, plántulas tratadas con Paclobutrazol con 10 a 12 cm menos de altura y unos 200 cm² menos de área foliar, alcanzaron el mismo peso seco que el testigo a los 60 dds (Cuadros 4 y 8).

Respecto a los resultados obtenidos con los tratamientos testigo sin aplicación de Paclobutrazol cabe destacar lo siguiente:

El método convención la producción de plántulas de jitomate es a una densidad de aproximadamente 900 plántulas/m² en charolas de 200 cavidades, cada una con un volumen de sustrato de 20 a 30 mL; en este caso las plántulas tienen que ser trasplantadas entre los 28 y 35 dds. En el presente experimento el trasplante se prolongó a los 40 dds para poder hacer comparaciones con los sistemas de producción de plántulas donde se busca realizar el trasplante hasta los 60 dds, con el propósito de acortar el ciclo del cultivo de trasplante a fin de cosecha a menos de tres meses y así poder obtener cuatro ciclos de cultivo por año con base en plantas despuntadas por encima de la tercera inflorescencia creciendo en alta densidad de población.

Para este último caso, se probó el manejo de las plántulas en charolas de 60 cavidades, cada una con un volumen de sustrato mucho mayor para evitar

restricciones en el crecimiento de la raíz durante el largo periodo de estancia en el semillero. La densidad de las plántulas se redujo a 300 por m^2 e incluso se probó con una densidad de 150 por m^2 ; en ambos casos el propósito fue disminuir la competencia entre plántulas por luz y hacer más eficiente el proceso de fotosíntesis entre todas las hojas del dosel y así estimular el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Esto se observó cuando en las plántulas que crecieron en charolas de 60 cavidades, a los 40 dds, eran en promedio 10 cm más altas, 1 mm más gruesas, habían desarrollado el doble de área foliar y su peso seco era aproximadamente 250 % más en relación a las plántulas manejadas en charolas de 200 cavidades en alta densidad.

Como lo señalan Charles-Edwards *et al.* (1986) y Soltani y Sinclair (2012), el crecimiento y acumulación diaria de materia seca dependen de la radiación solar interceptada por el dosel y de la eficiencia con que cada unidad de radiación interceptada es convertida en materia seca. Se sabe que esta eficiencia depende en gran medida de la uniformidad con que la radiación interceptada es repartida entre todas las hojas que conforman un dosel de plantas (Gardner *et al.*, 1990). Se encontró que plántulas con mayor espaciamiento entre ellas interceptaron más uniformemente la radiación solar incidente, haciendo más eficiente su fotosíntesis y producción de materia seca, lo que seguramente se reflejó en un crecimiento más rápido.

Cuando se compararon a los 60 dds los testigos manejados en charolas de 60 cavidades a 150 y 300 plántulas/ m^2 , se encontró un tallo más delgado, un menor peso seco y una tendencia a mayor altura en plántulas creciendo a la mayor densidad; esto con un efecto de mayor competencia entre plántulas por la radiación solar incidente. Como lo señalan Taiz y Zeiger (2002) a partir de un cierto umbral de densidad de población la competencia por luz ocasiona síntomas de etiolación como el crecimiento de longitud de tallos y su reducción en diámetro, al mismo tiempo que la fotosíntesis por planta disminuye y con ello su peso seco acumulado. A mayor densidad y como consecuencia de un mayor

sombreamiento mutuo de las plantas, hay una menor producción de asimilados por planta, y probablemente también ocurren cambios en el balance hormonal, que conducen a usar dichos asimilados, más en elongación de tallos que división y crecimiento celular para engrosar tejidos (Papadakis, 1980; Charles-Edwards *et al.*, 1986).

Estos resultados obtenidos con relación a las variables morfológicas, apoyan las hipótesis planteadas en este trabajo, en el sentido de que una menor densidad de población de plántulas en el semillero y un mayor volumen de sustrato para el crecimiento de la raíz, sobre todo con la aplicación de Paclobutrazol, disminuyen y retrasan el efecto de competencia por luz, favoreciendo un mayor crecimiento y la realización del trasplante con plántulas de mayor edad.

3.5.2. Número de flores por inflorescencia y total por planta

3.5.2.1. Densidad de población baja (150 plántulas/m²) con charolas de 60 cavidades

En el Cuadro 13 se observa que, en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m² manejadas en charolas de 60 cavidades y que fueron trasplantadas hasta los 60 dds, sólo se encontraron diferencias entre tratamientos de aplicaciones de Paclobutrazol en el número de flores presentes en la tercera inflorescencia, condición que no llegó a afectar significativamente el número de flores total formadas por planta.

Cuadro 13. Cuadrados medios y niveles de significancia en número de flores de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

FV	GL	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
Repetición	3	0.89	0.27	0.14	2.48
Tratamiento	7	0.57	0.34	0.19*	1.77
Error	21	0.52	0.33	0.05	0.97
CV (%)		10.33	8.13	3.21	4.53

*: Significativo P = 0.05. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 14, se destaca que fue el tratamiento de 50 mg L⁻¹ de Paclobutrazol con tres aplicaciones (20, 30 y 40 dds), el único que alcanzó a producir más flores que el testigo en la tercera inflorescencia.

Cuadro 14. Comparación de medias en el número de flores en los primeros tres racimos y por planta de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
0	0	6.75 a ^z	7.50 a	7.19 b	21.44 a
50	20	6.86 a	6.89 a	7.52 ab	21.28 a
50	30	6.97 a	7.36 a	7.61 ab	21.94 a
50	40	6.86 a	6.77 a	7.52 ab	21.16 a
25	20-40	6.61 a	6.97 a	7.69 ab	21.27 a
50	20-40	7.08 a	7.05 a	7.36 ab	21.49 a
25	20-30-40	7.39 a	7.58 a	7.69 ab	22.67 a
50	20-30-40	7.78 a	7.19 a	7.91 a	22.88 a
DMS		1.72	1.38	0.57	2.33

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa. dds: días después de la siembra.

En el Cuadro 14 se puede observar una tendencia de los tratamientos con tres aplicaciones de Paclobutrazol (tanto a 25 como a 50 mg L⁻¹) hacia la formación de un mayor número de flores por planta respecto al testigo. Por ello se decidió realizar un contraste ortogonal entre estos dos tratamientos contra el testigo, resultando estadísticamente significativo. Es decir, que los tratamientos de tres aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas creciendo en charolas de 60 cavidades a una densidad de 150 m⁻², provocaron un mayor número de flores por planta en relación al testigo.

3.5.2.2. Densidad de población media (300 plántulas/m²) con charolas de 60 cavidades

Al igual que en el caso anterior las plántulas estuvieron 60 días en semillero. No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos de aplicación de Paclobutrazol sobre el número de flores formadas en las tres primeras inflorescencias o en el total por planta (Cuadros 15 y 16). Sin embargo,

nuevamente el contraste ortogonal entre los dos tratamientos de tres aplicaciones de Paclobutrazol contra el testigo, resultó significativo para el número de flores por planta.

Cuadro 15. Cuadrados medios y niveles de significancia en número de flores de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
Repetición	3	0.98	0.05	0.17	1.22
Tratamiento	7	0.76	0.17	0.01	1.59
Error	21	0.91	0.29	0.16	1.31
CV (%)		13.82	7.11	5.04	5.04

FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 16. Comparación de medias en el número de flores en los primeros tres racimos y por planta del jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
0	0	6.38 a ^z	7.25 a	8.13 a	21.77 a
50	20	6.39 a	7.66 a	8.08 a	22.14 a
50	30	7.00 a	7.38 a	8.13 a	22.57 a
50	40	6.89 a	7.75 a	8.16 a	22.80 a
25	20-40	7.00 a	7.66 a	8.22 a	22.89 a
50	20-40	6.97 a	7.69 a	8.11 a	22.77 a
25	20-30-40	7.05 a	7.77 a	8.24 a	23.08 a
50	20-30-40	7.78 a	7.86 a	8.25 a	23.88 a
DMS		2.27	1.28	0.97	2.72

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.2.3. Densidad de población alta (900 plántulas/m²) con charolas de 200 cavidades

En estas condiciones de densidad y con charolas de 200 cavidades las plántulas fueron trasplantadas a los 40 dds. Se observó que hubo diferencias entre

tratamientos para el número de flores formadas en la primera inflorescencia y en el total por planta (Cuadro 17).

El Cuadro 18 muestra que fue el tratamiento de 25 mg L⁻¹ de Paclobutrazol suministrado en dos aplicaciones (20 y 30 dds), el que marcó la diferencia con el testigo; aunque la exigencia de la prueba de Tukey (con P = 0.05) no alcanzó a detectarla como significativa en la primera inflorescencia, si lo hizo respecto al total de flores formadas por planta. También el tratamiento de Paclobutrazol a 50 mg L⁻¹ con las mismas fechas de aplicación mostró una fuerte tendencia a diferir del testigo.

Cuadro 17. Cuadrados medios y niveles de significancia en número de flores de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m².

FV	GL	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
Repetición	3	0.18	0.05	0.64	1.09
Tratamiento	4	0.29*	0.08	0.55	2.05*
Error	12	0.08	0.06	0.28	0.41
CV (%)		4.40	3.25	5.98	2.75

*: Significativo P = 0.05. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 18. Comparación de medias en el número de flores en los primeros tres racimos y por planta del jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
0	0	6.22 a ^z	7.61 a	8.77 a	22.61 b
50	20	6.39 a	7.77 a	8.64 a	22.80 ab
50	30	6.64 a	7.94 a	8.72 a	23.30 ab
25	20-30	6.80 a	7.91 a	9.50 a	24.22 a
50	20-30	6.86 a	7.94 a	9.22 a	24.03 ab
DMS		0.65	0.57	1.21	1.45

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

Al realizar un contraste ortogonal entre los tratamientos de dos aplicaciones de Paclobutrazol contra el testigo resulta una diferencia altamente significativa a favor de las dos aplicaciones de Paclobutrazol, reiterando que sí hay un efecto

de este producto en la promoción de más flores en la inflorescencia que se refleja en un mayor número de flores por planta (Cuadro 18).

3.5.2.4. Comparación entre testigos para las tres densidades

Al comparar los testigos en tres densidades de población, sin la interferencia del efecto de las aplicaciones de Paclobutrazol, destaca la presencia de diferencia altamente significativa entre tratamientos para el número de flores formadas en la tercera inflorescencia (Cuadro 19).

En el Cuadro 20 se pone en evidencia que el tratamiento de baja densidad (150 plántulas/m²) fue el que presentó menor número de flores en la tercera inflorescencia, aunque esto no se reflejó en un menor número de flores por planta.

Cuadro 19. Cuadrados medios y niveles de significancia para número de flores por inflorescencia y por planta de jitomate (variedad Cid) provenientes de plántulas establecidas en semillero a tres densidades de población.

FV	GL	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
Repetición	3	0.24	0.09	0.01	0.05
Densidades	2	0.29	0.13	2.53**	1.44
Error	6	0.12	0.30	0.13	0.64
CV (%)		5.44	7.39	4.53	3.67

** : Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 20. Comparación de medias en el número de flores en las tres primeras inflorescencias y por planta de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas en semillero a tres densidades de población.

Densidad (plántulas/m ²)	Inflorescencia			Total por planta
	Primera	Segunda	Tercera	
150	6.75 a ^z	7.50 a	7.19 b	21.44 a
300	6.38 a	7.25 a	8.13 a	21.77 a
900	6.22 a	7.61 a	8.77 a	22.61 a
DMS	0.76	1.19	0.79	1.74

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.2.5. Comparación del número de flores entre inflorescencias

Los análisis de varianza (Cuadro 21) muestran que en las tres densidades de población hubo diferencias significativas, encontrándose que para las tres densidades hubo un mayor número de flores en el tercer racimo, seguido del segundo y finalmente del primero (Cuadro 22).

Cuadro 21. Cuadrados medios y niveles de significancia en el número de flores de jitomate (variedad Cid) comparando las tres inflorescencias en tres densidades de población de plántulas.

FV	GL	Densidad (plántulas/m ²)		
		150	300	900
Repetición	3	0.10	0.05	0.07
Inflorescencia	2	0.30*	1.53**	5.71**
Error	6	0.03	0.05	0.05
CV (%)		2.41	2.96	2.92

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 22. Comparación de medias en el número de flores de jitomate (variedad Cid) en cada una de las inflorescencias de plantas de jitomate en tres densidades de población de plántulas.

Inflorescencias	Densidad (plántulas/m ²)		
	150	300	900
Primera	7.03 b ^z	6.93 c	6.58 c
Segunda	7.16 b	7.63 b	7.83 b
Tercera	7.56 a	8.17 a	8.97 a
DMS	0.38	0.48	0.49

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P≤0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.2.6. Discusión sobre el número de flores por inflorescencia

Abdul *et al.* (1978), postulan que las hojas jóvenes en crecimiento producen altas concentraciones de giberelinas difusibles, las cuales actúan estimulando su actividad demandante, lo que deja menos fotoasimilados disponibles para las inflorescencias que se están iniciando, limitando el número de flores que se pueden formar por inflorescencia. Como lo señalan Atherton y Harris (1986), cada primordio de flor necesita un mínimo diario de fotoasimilados para su crecimiento; si no hay ese mínimo de asimilados el primordio aborta en favor de los demás que están creciendo al mismo tiempo.

Por su parte, Abdul *et al.* (1978), mostraron que el uso de retardadores del crecimiento en el periodo de iniciación de la primera inflorescencia, redujo significativamente la altura y el área foliar de las plantas e incrementó el número de flores, lo cual justifican señalando que estas sustancias tienen un efecto inhibitorio sobre la concentración de giberelinas endógenas en las hojas jóvenes y en el tallo, reduciendo su actividad demandante, dejando así mayor proporción de fotoasimilados disponibles para la inflorescencia en formación. De manera similar Dikshit *et al.* (2004), aplicando Paclobutrazol en el remojo de semilla de jitomate, promovieron mayor número de flores en las dos primeras inflorescencias formadas.

En el presente trabajo, independientemente de la densidad de población de plántulas manejada en el semillero, se encontraron incrementos significativos sobre el número de flores por planta con los tratamientos de mayor número de aplicaciones de Paclobutrazol con respecto al testigo. El mayor efecto parece estar en la tercera inflorescencia (Cuadro 22), lo que sugiere que probablemente se requieran aplicaciones más tempranas para incidir sobre la primera y segunda inflorescencia (Dikshit *et al.*, 2004).

Por otro lado, la observación de que los tratamientos con menor número de aplicaciones no tuvieron efecto significativo sobre el número de flores por inflorescencia respecto al testigo, sugiere, para futuros experimentos, probar con dosis mayores y varias aplicaciones a lo largo del periodo de crecimiento de las plántulas en el semillero.

Los resultados obtenidos dan elementos a favor de la hipótesis planteada en el sentido de que, al disminuir temporalmente las tasas de crecimiento de tallos y hojas por efecto de la aplicación de retardadores de crecimiento como el Paclobutrazol se favorece la formación de más flores por inflorescencia.

Sin embargo, la hipótesis planteada de que, con un mayor volumen de sustrato por plántula, la raíz crece con menos restricciones lo que puede influir en la formación de más flores en las inflorescencias que se están iniciando, no se pudo

sustentar con los resultados aquí obtenidos, pues las plántulas que crecieron en charolas de 200 cavidades produjeron similar número de flores por planta que las crecidas en charolas de 60 cavidades con mayor espacio aéreo y de raíz por plántula.

3.5.3. Rendimiento y sus componentes

3.5.3.1. Densidad de población baja (150 plántulas/m²) con charolas de 60 cavidades

En el Cuadro 23 se muestran los resultados de análisis de varianza del número de frutos y rendimiento por racimo para plántulas de jitomate manejadas en charolas con cavidades de 250 mL de capacidad creciendo a una densidad de 150 plántulas/m² en función de diferentes tratamientos de aplicación de Paclobutrazol (dosis, número y fechas de aplicación). Sólo se encontró diferencia significativa en el rendimiento del primer racimo. En el número de frutos por racimo no se detectaron diferencias estadísticas.

En el Cuadro 24, se presenta el análisis de varianza para las mismas variables, pero no por racimo sino por planta; además, se agregó la variable peso medio de fruto. En ninguna variable se detectó diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 23. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por racimo			Rendimiento por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
Rep	3	0.28	0.96	1.76	3715	5261	10289
Trat	7	0.95	0.53	0.43	13474*	8820	5794
Error	21	0.52	0.66	0.41	5059	6839	3844
CV (%)		15.86	14.40	10.11	16.65	15.22	7.91

*: Significativo P = 0.05. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. Rep: repetición, Trat: Tratamiento, CV: coeficiente de variación.

Cuadro 24. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por planta	Peso medio de fruto	Rendimiento por planta
Repetición	3	6.04	102.40	11250
Tratamiento	7	1.31	32.94	28371
Error	21	1.54	49.80	14172
CV (%)		7.46	6.73	6.78

FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Como se señaló, en el análisis de varianza para el rendimiento del primer racimo se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 23), pero con la prueba de Tukey (con $P = 0.05$) no se manifestó dicha diferencia (Cuadro 25). Sólo se puede observar una tendencia de los tratamientos con tres aplicaciones de Paclobutrazol (tanto a 25 como a 50 mg L⁻¹) hacia un mayor rendimiento y número de frutos en el primer racimo respecto al testigo. Por ello se decidió realizar contrastes ortogonales entre estos dos tratamientos contra el testigo, resultando altamente significativo en ambas variables. Es decir, que los tratamientos de tres aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas creciendo en charolas de 60 cavidades a una densidad de 150 m⁻², provocaron un mayor rendimiento y número de frutos, pero sólo en el primer racimo.

Cuadro 25. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

Dosis mg L ⁻¹	Aplicación (dds)	Frutos por racimo			Rendimiento (g) por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
0	0	3.86 a ^z	5.80 a	5.83 a	342 a	499 a	734 a
50	20	4.02 a	5.91 a	6.66 a	354 a	578 a	821 a
50	30	4.86 a	5.83 a	6.53 a	448 a	578 a	801 a
50	40	4.19 a	6.25 a	6.63 a	397 a	626 a	834 a
25	20-40	4.80 a	5.58 a	6.63 a	436 a	548 a	802 a
50	20-40	5.27 a	5.38 a	6.39 a	504 a	506 a	733 a
25	20-30-40	4.83 a	5.61 a	5.94 a	462 a	511 a	779 a
50	20-30-40	4.75 a	5.02 a	6.58 a	475 a	502 a	762 a
DMS		1.72	1.93	1.53	168.7	196.1	147.1

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P = 0.05$); dds: días después de siembra, DMS: diferencia mínima significativa.

Dado que el número de flores resultó mayor en la tercera inflorescencia como producto de la triple aplicación de Paclobutrazol (Cuadro 22), parece ser que otro efecto de este retardador en relación a un mayor número de frutos en el primer racimo fue propiciar un mayor porcentaje de amarre en este racimo, aspecto que también contribuyó a un mayor rendimiento del mismo.

El disminuir temporalmente el crecimiento vegetativo por el efecto del retardador, probablemente ocasionó que una mayor proporción de fotoasimilados quedara disponible para que la primera inflorescencia amarrara más frutos (Abdul *et al.*, 1978). La segunda y tercera inflorescencia ya no se beneficiaron tanto debido probablemente a que pasó el efecto temporal del retardador, reestableciéndose el crecimiento vegetativo con un incremento en el consumo de fotoasimilados; además de que hubo una mayor fuerza de demanda por azúcares en los frutos que estaban creciendo en el primer racimo (Fisher, 1977; Heuvelink, 2005).

En el Cuadro 26, se puede observar que, para las variables del número de frutos por planta y peso medio por fruto, no se presentaron diferencias significativas, pero se puede apreciar que los tratamientos con Paclobutrazol respecto al testigo muestran una tendencia a un mayor número de frutos por planta, que incluso se llega a reflejar en el rendimiento por planta, donde el tratamiento de una aplicación de Paclobutrazol de 50 mg L⁻¹ a los 40 dds resultó significativo respecto al testigo, con 283 g por planta de diferencia. En general todos los tratamientos de Paclobutrazol tendieron a un mayor rendimiento por planta respecto al testigo como consecuencia de esa tendencia a formar más frutos por planta con un peso medio de fruto similar.

Cuadro 26. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Frutos por planta	Peso medio por fruto (g)	Rendimiento por planta (g)
0	0	15.50 a ^z	101.72 a	1574 b
50	20	16.61 a	105.48 a	1752 ab
50	30	17.22 a	106.54 a	1827 ab
50	40	17.08 a	108.61 a	1857 a
25	20-40	17.02 a	105.54 a	1786 ab
50	20-40	17.05 a	102.25 a	1743 ab
25	20-30-40	16.39 a	109.97 a	1751 ab
50	20-30-40	16.36 a	106.25 a	1739 ab
DMS		2.94	16.73	282.35

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.3.2. Densidad de población media (300 plántulas/m²) con charolas de 60 cavidades

En el Cuadro 27 se muestran los resultados de análisis de varianza en relación al número de frutos y el rendimiento por racimo para plántulas de jitomate manejadas en charolas con cavidades de 250 mL de capacidad establecidas a una densidad de 300 plántulas/m² en función de diferentes tratamientos de aplicación de Paclobutrazol (dosis, número y fechas de aplicación). Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para el número de frutos en el primero y segundo racimos y altamente significativas para rendimiento del primer racimo.

En el Cuadro 28, se muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos para las variables número de frutos por planta y rendimiento por planta, mientras que en peso medio del fruto no se encontraron diferencias estadísticas.

Cuadro 27. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por racimo			Rendimiento por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
Rep	3	0.61	0.36	1.93	5582	1929	6554
Trat	7	1.60*	1.20*	1.11	9404**	5360	14997
Error	21	0.60	0.41	0.74	2220	4161	7827
CV (%)		17.91	10.63	12.79	11.79	10.70	10.26

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. Rep: repetición, Trat: Tratamiento, CV: coeficiente de variación.

Cuadro 28. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por planta	Peso medio del fruto	Rendimiento por planta
Repetición	3	5.46	402.13	7774
Tratamiento	7	9.44**	37.01	63579**
Error	21	1.62	28.59	11922
CV (%)		7.44	4.87	5.85

** : Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 29 se aprecia que el tratamiento con aplicación de Paclobutrazol de 50 mg L⁻¹ a los (20-40 dds) presentó mayor rendimiento en el primer racimo respecto al testigo, pero en el rendimiento del segundo y tercer racimo no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, tampoco hubo diferencias en el número de frutos del primer y tercer racimo, pero se puede observar una tendencia con los tratamientos con tres aplicaciones de Paclobutrazol hacia un mayor rendimiento y número de frutos respecto al testigo, sobre todo con el tratamiento de 25 mg L⁻¹ cuya diferencia fue significativa, por lo que se decidió hacer pruebas de contrastes ortogonales. Así, al realizar el contraste ortogonal entre los tratamientos de tres aplicaciones de Paclobutrazol contra el testigo resultan diferencias significativas del número de frutos y del rendimiento de cada uno de los tres racimos a favor de las tres aplicaciones de Paclobutrazol.

Cuadro 29. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis mg L ⁻¹	Aplicación (dds)	Frutos por racimo			Rendimiento (g) por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
0	0	3.58 a ^z	5.27 b	6.00 a	335 b	559 a	784 a
50	20	3.11 a	5.41 ab	6.47 a	339 b	569 a	811 a
50	30	4.80 a	5.94 ab	6.30 a	375 ab	616 a	851 a
50	40	4.52 a	6.05 ab	6.94 a	398 ab	590 a	898 a
25	20-40	4.41 a	5.91 ab	6.69 a	399 ab	588 a	895 a
50	20-40	4.72 a	6.14 ab	6.78 a	468 a	591 a	807 a
25	20-30-40	4.75 a	6.83 a	7.78 a	436 ab	667 a	970 a
50	20-30-40	4.75 a	6.72 ab	6.86 a	445 ab	641 a	880 a
DMS		1.84	1.52	2.04	111.75	152.99	209.83

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

En el número de frutos por planta y el rendimiento por planta se detectaron diferencias significativas en los tratamientos de tres aplicaciones de Paclobutrazol respecto al testigo. Por lo menos se tuvieron tres frutos más y 300 g más por planta con la aplicación el Paclobutrazol. En la variable del peso medio del fruto no se tuvieron diferencias significativas (Cuadro 30).

Cuadro 30. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Frutos por planta	Peso medio del fruto (g)	Rendimiento por planta (g)
0	0	14.86 b ^z	113.46 a	1678 c
50	20	15.00 b	114.57 a	1728 bc
50	30	17.05 ab	109.05 a	1841 abc
50	40	17.52 ab	107.96 a	1887 abc
25	20-40	17.02 ab	110.80 a	1881 abc
50	20-40	17.63 ab	106.32 a	1866 abc
25	20-30-40	19.36 a	107.32 a	2073 a
50	20-30-40	18.33 a	107.40 a	1966 ab
DMS		3.01	12.68	258.96

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

Nuevamente este comportamiento se explica en función de que el Paclobutrazol, aplicado tres veces cada 10 días, provocó un retardo en el crecimiento vegetativo

dejando más fotoasimilados disponibles para el amarre y crecimiento inicial de más frutos en cada uno de los tres racimos dejados en cada planta y esto a su vez, explica el mayor número de frutos y rendimiento por planta reportado en el Cuadro 30.

3.5.3.3. Densidad de población alta (900 plántulas/m²) con charolas de 200 cavidades

En el Cuadro 31 se muestran los resultados de análisis de varianza en relación al número de frutos y el rendimiento por racimo para plántulas de jitomate manejadas en charolas con cavidades de 30 mL de capacidad creciendo a una densidad de 900 plántulas/m² hasta su trasplante a los 40 dds. Se detectaron diferencias significativas en el rendimiento del primer racimo y altamente significativas para el tercero (Cuadro 31). En cuanto al número de frutos por racimos no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 31).

Cuadro 31. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por racimo			Rendimiento por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
Rep	3	0.15	0.45	0.96	5715	12219	1254
Trat	2	0.49	0.85	1.20	2655*	14496	5790**
Error	12	0.30	0.56	1.59	814	9708	874
CV (%)		13.01	14.37	18.87	7.79	18.03	3.99

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. Rep: Repetición, Trat: Tratamiento, CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 32 se muestran análisis de varianza de los diferentes tratamientos de Paclobutrazol con relación a las variables rendimiento, número de frutos por planta y peso medio por fruto. Solo se encontraron diferencias significativas para el rendimiento por planta.

Cuadro 32. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por planta	Peso medio del fruto	Rendimiento por planta
Repetición	3	2.05	2.64	37668
Tratamiento	4	2.87	54.73	41666*
Error	12	4.55	150.97	9582
CV (%)		13.22	11.99	5.92

*: Significativo P = 0.05. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 33, se observa que con las dos aplicaciones de Paclobutrazol de 50 mg L⁻¹ (a los 20 y 30 dds), se logró estadísticamente mayores rendimientos en el primero y tercer racimo, en comparación con el testigo, con 72 y 103 g más por cada racimo.

Cuadro 33. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m².

Dosis mg L ⁻¹	Aplicación (dds)	Frutos por racimo			Rendimiento (g) por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
0	0	3.80 a ^z	5.14 a	6.22 a	334 b	488 a	691 b
50	20	4.41 a	4.80 a	6.41 a	368 ab	522 a	723 b
50	30	4.11 a	5.77 a	6.27 a	361 ab	528 a	741 ab
25	20-30	4.08 a	4.77 a	7.47 a	361 ab	647 a	750 ab
50	20-30	4.72 a	5.63 a	7.05 a	406 a	547 a	794 a
DMS		1.24	1.69	2.84	64.28	222.06	66.61

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

En los tratamientos de dos aplicaciones de Paclobutrazol (25 y 50 mg L⁻¹) a los (20 y 30 dds) también se tuvieron estadísticamente mayores rendimientos por planta respecto al testigo (Cuadro 34), con diferencias de más de 200 g por planta.

Cuadro 34. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), en respuesta a diferentes dosis, fechas de aplicación y número de aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 900 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Frutos por planta	Peso medio del fruto (g)	Rendimiento por planta (g)
0	0	15.16 a ^z	99.33 a	1514 b
50	20	15.63 a	103.51 a	1613 ab
50	30	16.16 a	100.19 a	1630 ab
25	20-30	16.33 a	108.46 a	1758 a
50	20-30	17.41 a	100.83 a	1748 a
DMS		4.81	27.69	220.62

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

Este mayor rendimiento por planta de las plantas con dos aplicaciones de Paclobutrazol, seguramente es consecuencia del mayor número de frutos amarrados en la primera y tercera inflorescencia combinado con un peso por fruto similar. Es probable que las fechas en las que se aplicó este retardador coincidieran con un estado fenológico de las plántulas en donde se provocó la reducción de competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo de tal manera que actuó a favor de este último, expresándose en un mayor amarre de frutos en el primero y tercer racimos.

3.5.3.4. Comparación entre testigos para las tres densidades

Como se puede apreciar en los Cuadros 35 a 38, ni la densidad de población, ni el volumen de la cavidad donde crecieron las raíces de las plántulas en el semillero, tuvieron efectos posteriores en el número de frutos o el rendimiento por racimo o por planta, y tampoco hubo efectos en el peso medio de los frutos cosechados.

Cuadro 35. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.

FV	GL	Frutos por racimo			Rendimiento por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
Rep	3	0.29	0.20	0.43	1526	211	2903
Trat	2	0.08	0.49	0.15	62	5793	8678
Error	6	0.12	0.59	0.36	980	1366	3540
CV (%)		9.47	14.22	10.01	9.28	7.17	8.08

FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. Rep: Repetición, Trat: Tratamiento, CV: coeficiente de variación.

Cuadro 36. Cuadrados medios y niveles de significancia en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.

FV	GL	Frutos por planta	Peso medio del fruto	Rendimiento por planta
Repetición	3	1.97	138.00	970
Tratamiento	2	0.40	228.72	27668
Error	6	2.28	84.24	10253
CV (%)		9.95	8.75	6.37

FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 37. Comparación de medias en caracteres reproductivos por racimo de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.

Densidad plantas/m ²	Frutos por racimo			Rendimiento (g) por racimo		
	Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
150	3.86 a ^z	5.80 a	5.83 a	342 a	499 a	734 a
300	3.58 a	5.27 a	6.00 a	335 a	559 a	784 a
900	3.80 a	5.14 a	6.22 a	334 a	488 a	691 a
DMS	0.77	1.66	1.30	67.90	80.18	129.08

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

Cuadro 38. Comparación de medias en caracteres reproductivos de jitomate (variedad Cid), provenientes de plántulas establecidas a tres densidades de población.

Densidad (plantas/m ²)	frutos por planta	Peso medio del fruto (g)	Rendimiento por planta (g)
150	15.50 a ^z	101.72 a	1574 a
300	14.86 a	113.46 a	1678 a
900	15.16 a	99.33 a	1513 a
DMS	3.27	19.91	219.68

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.5.3.5. Comparación del número de frutos y rendimiento entre racimos

En algunos trabajos de investigación (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez y Ponce, 1998) se había encontrado que, en plantas despuntadas a dos y tres racimos, los primeros racimos tenían más frutos que los segundos y terceros. En el presente trabajo se dio un comportamiento diferente; al realizar una comparación estadística entre racimos, se encontró que en todos los tratamientos los terceros racimos de cada planta tuvieron más frutos y rindieron estadísticamente más que los segundos y éstos más que los primeros (Cuadros 39 y 40). Como esto también se dio en los tratamientos testigo, este fenómeno no se puede atribuir a efecto del Paclobutrazol. Es posible que pueda deberse a características genéticas de la variedad por su hábito determinado, o a condiciones ambientales diferentes más favorables que pudieron haberse presentado durante el desarrollo del segundo y tercer racimo, no detectadas en el presente trabajo; también puede atribuirse a cambios en las relaciones fuente demanda que actuaron a favor de los dos últimos racimos. Se considera conveniente retomar este aspecto particular como tema de investigación a fin de dilucidar qué aspectos son los que están influyendo en este comportamiento.

Cuadro 39. Cuadrados medios y niveles de significancia en productividad de jitomate (variedad Cid) promedio de tratamientos, comparando en los tres racimos y tres densidades de población de plántulas.

FV	GL	Número de frutos			Rendimiento		
		Densidad (plántulas/m ²)			Densidad (plántulas/m ²)		
		150	300	900	150	300	900
Repetición	3	0.25	0.42	0.13	469	324	2511
Racimos	2	3.38**	4.93**	6.12**	131841**	214974**	139811**
Error	6	0.06	0.20	0.08	970	717	663
CV (%)		4.50	8.33	5.54	5.32	4.31	4.67

** : Altamente significativo P = 0.01. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación. FV: Fuente de variación.

Cuadro 40. Comparación de medias en la productividad de jitomate (variedad Cid) promedio de tratamientos, comparando racimos y densidades de población de plántulas.

Racimos	Número de frutos			Rendimiento (g)		
	Densidad (plántulas/m ²)			Densidad (plántulas/m ²)		
	150	300	900	150	300	900
Primero	4.57 c ^z	4.27 c	4.22 c	427 c	399 c	366 c
Segundo	5.67 b	5.73 b	5.22 b	543 b	602 b	546 b
Tercero	6.40 a	6.45 a	6.68 a	783 a	862 a	740 a
DMS	0.54	0.99	0.64	67.55	58.1	55.86

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

3.6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir lo siguiente:

1. En los primeros 40 días después de la siembra, las plántulas que se manejaron con volúmenes de sustrato de 250 mL, tuvieron mayores tasas de crecimiento, expresándose como mayor altura, diámetro del tallo, área foliar y peso seco y menos área foliar específica. También se observó mayor velocidad de desarrollo, pues la floración de la primera inflorescencia ocurrió una semana antes.
2. La calidad de las plántulas creciendo en un volumen de 250 mL a la edad de 60 días, fue mejor para densidad de 150 plántulas/m² respecto a la de 300 plántulas/m² ya que tuvieron menor altura, mayor diámetro de tallo, 50 % menos índice de área foliar y mayor peso seco. Estas condiciones permitieron el trasplante sin problemas a una edad tan avanzada como 60 días, lo que abre la posibilidad de que se puedan obtener cuatro ciclos de cultivo al año en vez de los tres que ya se logran con el sistema de producción de jitomate propuesto y esto significa un posible incremento de un 25 % en el rendimiento anual y hasta un mayor porcentaje en la rentabilidad económica.
3. Para las plántulas creciendo en contenedores de 250 mL a densidades de 150 ó 300 plántulas/m², las aplicaciones triples de Paclobutrazol a dosis de 25 y 50 mg L⁻¹, redujeron su altura entre 8 y 10 cm, y su área foliar por planta hasta en

200 cm², condiciones que facilitaron su permanencia en el semillero y el trasplante exitoso hasta los 60 días después de la siembra.

4. Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis planteada en el sentido de que usando un mayor volumen de sustrato por plántula se permite un crecimiento más rápido y un funcionamiento más adecuado de la raíz en cuanto a la translocación de agua y nutrientes, dando por resultado un tallo más grueso, mayor peso seco y área foliar con mejor calidad de plántula al trasplante, sobre todo cuando se combina con una menor densidad de población de plántulas.

5. También se encontraron evidencias que apoyan las hipótesis señaladas en el sentido de que una menor densidad de población de plántulas en el semillero disminuye y retrasa el efecto de competencia por luz favoreciendo un mayor crecimiento lo que ayuda a realizar el trasplante con plántulas de mayor edad sin efectos adversos posteriores; y la que señala que la aplicación de Paclobutrazol forma plántulas con entrenudos más cortos y menos área foliar lo que permite que se puedan mantener más tiempo en el semillero sin efectos adversos posteriores al trasplante.

6. Independientemente del volumen de sustrato por plántula y de la densidad de población empleada, la triple aplicación de Paclobutrazol en las plantas trasplantadas a los 60 días después de la siembra provocó hasta dos flores más por planta respecto al testigo.

7. El número de flores por planta fue igual en plantas provenientes de plántulas creciendo en 30 mL de sustrato en alta densidad (900 plántulas/m²) trasplantadas a los 40 días después de la siembra que de plántulas creciendo en 250 mL de sustrato y trasplantadas a los 60 días después de la siembra. Esto es muy importante pues muestra que usando este volumen de sustrato es posible trasplantar más tarde para acortar el ciclo de trasplante a cosecha a menos de tres meses y obtener cuatro ciclos de cultivo por año en vez de tres y ello sin efectos negativos en el número de flores formadas en cada planta.

8. Los resultados no apoyan la hipótesis planteada en el sentido de que una menor densidad de población de plántulas en el semillero, al disminuir la competencia por luz, incrementa la tasa de fotosíntesis por planta y al haber mayor disponibilidad de fotoasimilados, se favorece el desarrollo de más flores en las tres primeras inflorescencias, ya que éstas son iniciadas en la etapa de plántula.

9. Se fortalece la hipótesis de que al disminuir temporalmente las tasas de crecimiento de tallos y hojas por efecto de la aplicación de retardadores de crecimiento como el Paclobutrazol, quedan disponibles más fotoasimilados para la iniciación y formación de las inflorescencias, lo que puede favorecer la formación de más flores por inflorescencia.

10. Dentro de cada densidad de población (900, 300 ó 150 plántulas/m²) combinada con un volumen de sustrato (25 ó 250 mL por plántula) hubo tratamientos de Paclobutrazol en semillero que superaron al testigo sin aplicación en el rendimiento de fruto por planta al final del ciclo de cultivo. Destaca el tratamiento con la triple aplicación de este retardador a 25 mg L⁻¹ (a los 20, 30 y 40 dds) en plántulas a una densidad de 300 plántulas/m² y un volumen de sustrato de 250 mL, que dio por resultado un rendimiento por planta 400 g superior al testigo debido a un mayor número de frutos amarrados por planta.

11. De acuerdo con los resultados, el tratamiento más recomendable a seguir es el que combina una densidad de 300 plántulas/m² con un volumen de sustrato de 250 mL por plántula y tres aplicaciones de Paclobutrazol a 25 mg L⁻¹ a los 20, 30 y 40 dds ya que se reduce significativamente la altura de plántula y el área foliar permitiendo el trasplante sin problemas posteriores hasta los 60 días después de la siembra. Fue el único tratamiento que superó los 2 kg de fruto por planta (16 kg m⁻² de invernadero) y como ello fue en un ciclo de menos de 90 días de trasplante a fin de cosecha, en invernaderos bien acondicionados, es posible lograr cuatro ciclos de cultivo al año con un rendimiento potencial de 64 kg/m²/año, equivalente a 640 t/ha/año⁻¹.

3.7. LITERATURA CITADA

- Abdul, K. S.; Canham, A. E. and Harris, G. P. 1978. Effects of CCC on the formation and abortion of flower in the first inflorescence of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Ann. Bot.* 42: 617-625.
- Adriansen, E. and Odgaard, P. 1997. Residues of Paclobutrazol and uniconazole in nutrient solutions from ebb flood irrigation of pot plants. *Scientia Horticulturae* 69: 73-83.
- Atherton, J. G. and Harris, G. P. 1986. Flowering. *In: The Tomato Crop*. Atherton, J. G. and J. Rudich (eds.). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp: 167-200.
- Aung, L. H. 1978. Temperature regulation of growth and development of tomato during ontogeny. *In: First International Symposium on Tropical Tomato*. Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Taiwan, China. pp: 79-93.
- Azcón, B. J; y Talón, M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana Mc-Graw. Madrid, España. pp: 301-316.
- Barrett, J. E. and Nell, T. A. 1986. Evaluation of XE- 1019 and Paclobutrazol for height control of flowering annuals. *Proc. Plant Growth Regulator Soc. Amer.* 13: 63-64.
- Berova, M. and Zlatev, Z. 2000. Physiological response and yield of Paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Plant Growth Regulation* 30: 117-123.
- Cancino B., J.; Sánchez Del C., F. y Espinosa R., P. 1990. Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. *Revista Chapingo* 73-74: 26-30.
- Coolbaugh, R. C. and Hamilton, R. 1976. Inhibition of *ent*-Kaurene Oxidation and Growth by α -Cyclopropyl- α -(p-methoxyphenyl)-5-pyrimidine Methyl Alcohol. *Plant Physiol.* 57: 245-248.
- Calvert, A. 1973. Environmental responses. *In: The United Kingdom Tomato Manual*. Growers Books. Londres, Inglaterra. pp: 19-34.
- Canny, M. J. 1973. Phloem traslocation. Cambridge University Press. Londres, Inglaterra.
- Charles-Edwards D. A. D.; Doley, D. and Rimmington, G. M. 1986. Modelling Plant Growth and Development. Academic Prees. Sydney, Australia. pp: 235.
- Cantliffe, D. J. 1993. Pre-and postharvest practices for improved vegetable transplant quality. *HortTechnology* 3: 415-417.

- Contreras M., E. 2007. Efecto del Ambiente de Crecimiento de Plántulas de Jitomate sobre el Número de Flores y Producción de fruto. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. (Tesis Doctoral). 123 p.
- Davis, T. D. 1989. Triazole plant growth regulators. *Horticultural Reviews* 10: 63-105.
- Dikshit, S.; Bennett, M. A.; Precheur, R. J.; Kleinhenz, M. D. and Riedel, R. M. 2004. Transplant Quality, Disease Control and Yield in Fresh Market Tomato as Affected by Paclobutrazol and Commercial Biological Control Agents. *Acta Horticulturae* 631: 283-289.
- Fisher, K. J. 1977. Competition effects between fruit trusses of the tomato plant. *Scientia Horticulturae* 7: 37-42.
- Gardner, F. P.; Pearse, R. B. and Mitchel, R. L. 1990. Physiology of Crop Plants, Iowa State University Press. pp:327.
- Giovinazzo, R. and Souza, M. V. 2001. Paclobutrazol responses with processing tomato in France. *Acta Horticulturae*, 542: 355-358.
- Heuvelink, E. 2005. Developmental processes. *In: Tomatoes*. HEUVELINK, E. (ed.). CAB International, Wallingford, UK. pp: 53-83.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperatura treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *J. Hort. Sci.* 45: 19-27.
- Lescovar, D. I. and Stofella, P. J. 1995. Vegetable seedling root system: morphology, development, and importance. *HortScience* 30: 1153-1159.
- Méndez G., T. Sánchez Del C., F.; Sahagún C., J. y Contreras M., E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección de Este a Oeste. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 185-192.
- Morales M., A. 2008. Condición de Crecimiento de Plántulas de Jitomate para Incrementar el Número de Flores. Postgrado en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México (Tesis Doctoral). 110 p.
- Muñoz R., M.; Altamira C., R.; Carmona M., J.; Trujillo F., J.; López C., G. y Cruz A., A. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura: El caso del tomate rojo. SAGDER. CUESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo, México. 120 p.
- Nesmith, D. S. and 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.
- Papadakis, J. 1980. Ecología de cultivos, pasturas y suelos. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina. 283 p.
- Peet, M. M. and Welles, G. 2005. Greenhouse tomato production. *In: Tomatoes*. E. Heuvelink (ed) CABI Publishing. Oxfordshire, UK. pp: 257-304.

- Pereira, P. R. G. y Martínez, E. P. 1999. Produção de mudas para o cultivo de hortaliças em solo e hidroponia. Informe Agropecuario, Belo Horizonte 20: 24-31.
- Picken, A. J. F.; Stewart, K. and Klapwijk, D. 1986. Germination and vegetative development. The tomato crop. Atherton, J, G. and J. Rudich (Editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp: 110-166.
- Ponce O., J. 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* mill) en hidroponia. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 96 p.
- Rademacher, W. 2000. Growth Retardants: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 501-531.
- Regalado O., M. Del C 2002. Valoración de características Morfológicas y Anatómicas de 10 cultivares de Jitomate en Hidroponia bajo Invernadero, Departamento de Fitotecnia UACH. Chapingo, Méx. 161 p.
- Resh, H. M. 2004. Cultivos Hidropónicos. Tercera Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 269 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 Technology* 98: 2781-2786.
- Sánchez Del C., F.; Moreno P., E. Del C. y Cruz A., E. 2009. Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel de forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 67-73.
- Sánchez Del C., F. y Corona, S. T. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base despunte y altas densidades. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 1: 109-114.
- Sánchez Del C., F.; Espinoza R., P. y Escalante R., E. R. 1991. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en hidroponia bajo invernadero. Avances de Investigación. *Revista Chapingo* 78:62-68.
- Sánchez Del C., F.; Moreno P., E. del C. and 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. y Peña, L. A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 2007-2014.
- Sánchez Del C., F.; Ortiz C., J.; Mendoza C., C.; González H., V. A. y Colinas L., M. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33: 21-29.

- Sánchez Del C., F. y Ponce O., J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4: 89-93.
- Sánchez Del C., F. 1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis de Doctorado. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 189 p.
- SIAP, 2016. Atlas Agroalimentario 2016. México: SAGARPA.
- Soltani, A. and Sinclair, T. 2012. Modelling Physiology of Crop Development, Growth and Yield. CABI. Oxfordshire, UK. 332 p.
- Souza-Machado, V.; Pitblado, R.; Ali, A. and May, P. 1999. Paclobutrazol in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) for improved tolerance to early transplanting and earlier harvest maturity. *Acta Hort.* 487: 139-144.
- Taiz, L.; and Zeiger E. 2002. Plant Physiology. Third edition. Sinahuer associates, Inc. Publisher. Suderland, Massachusetts. pp: 193-221.
- Uchigasaki, M.; Miyamoto, S.; Serata, K.; Tojo, S. and Watanabe, K. 2003. *In-situ* measurements of density and distribution of periphery roots of tomato seedling using machine vision system. *J. Jpn. Soc. Soil Phys.* 95: 3-11.
- Vázquez R., J. C.; Sánchez Del C., F. y Moreno P., E. Del C. 2007. Producción de jitomate en doseles Escaleriformes Bajo Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13: 55-62.
- Walker, A. J. and Thornley, H. M. 1977. The tomato fruit: Import, growth, Respiration and Carbon metabolism at different fruit sizes and temperatures. *Annals of Botany* 41: 977-985.
- Walters, S. A. and Riddle, H. A.; Schmidt, M. E. 2005. Container cell volume and transplant age influence muskmelon development and yield. *Journal of Vegetable Science* 11: 47-55.

4. PACLOBUTRAZOL Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULA Y NÚMERO DE FLORES EN JITOMATE¹

4.1. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos de paclobutrazol y luz suplementaria nocturna y algunas interacciones entre estos factores, sobre aspectos morfológicos relacionados con vigor y calidad de plántulas de jitomate a fin de lograr su trasplante hasta los 55 a 60 días de edad sin efectos adversos posteriores, y sobre la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias. El experimento se realizó bajo invernadero en el campo Agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, como material vegetal se utilizó la variedad Cid de crecimiento indeterminado y fruto tipo saladette. Las plántulas fueron sembradas en charolas de poliestireno de 60 cavidades y el riego se hizo con una solución nutritiva balanceada. Se usó un arreglo de tratamientos en parcelas divididas con ocho repeticiones, y la unidad experimental constó de nueve plantas. Se establecieron ocho tratamientos que resultan de una aplicación de Paclobutrazol a una dosis de 50 mg L⁻¹ en aspersión foliar a los 20 ó 30 días después de la siembra o dos aplicaciones a la misma dosis a los 20 y 30 dds, con tratamientos sin y con luz suplementaria por 5 horas a partir de las 7 pm con lámparas de luz led blanca a un flujo fotónico fotosintético de 100 a 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aplicado de los 20 a los 40 dds. Los resultados mostraron que la aplicación del Paclobutrazol en combinación con luz suplementaria es más conveniente porque mejoraron las características de vigor y calidad de plántula; hubo una reducción en altura, área foliar, peso seco, y mayor grosor del tallo por cada plántula, que permitieron ser trasplantadas hasta los 60 dds sin ningún problema. Además, con la misma combinación de luz y Paclobutrazol se obtuvieron mayor número de flores en la segunda y tercera inflorescencia, que se reflejaron en incrementos en el rendimiento del fruto sobre todo del tercer racimo. En general las aplicaciones del Paclobutrazol, disminuyen la altura y retrasan el efecto de competencia por luz, favoreciendo la realización del trasplante con plántulas de mayor edad y permitiendo acortar el ciclo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días lo que potencialmente permite, en condiciones de invernadero, cuatro ciclos de cultivo al año con alto potencial de rendimiento en ese periodo.

Palabras clave: Suplemento de radiación, retardadores de crecimiento, desarrollo y floración.

¹Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Mario Ruiz Díaz

Director de Tesis: Dr. Felipe Sánchez del Castillo

EFFECT OF PACLOBUTRAZOL AND SUPPLEMENTARY LIGHT ON SEEDLING QUALITY AND NUMBER OF FLOWERS IN TOMATO²

4.2. ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate the effects of paclobutrazol and supplementary night light and some interactions between these factors, on morphological aspects related to vigour and quality of tomato seedlings in order to achieve their transplantation until 55 to 60 days of age without subsequent adverse effects, and on the formation of more flowers in the first three inflorescences. The experiment was carried out under greenhouse in the experimental agricultural field of the Autonomous University Chapingo, as vegetal material was used the variety Cid of indeterminate growth and fruit type saladette. The seedlings were planted in polystyrene trays of 60 cavities and the irrigation was done with a balanced nutritive solution. An arrangement of treatments was used in divided plots with eight repetitions, and the experimental unit consisted of nine plants. Eight treatments were established resulting from an application of Paclobutrazol at a dose of 50 mg L⁻¹ in foliar spray at 20 or 30 days after sowing (das) or two applications at the same dose at 20 and 30 das, with treatments without and with supplementary light for 5 hours from 7 pm with white led light lamps at a photosynthetic photonic flow of 100 to 150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ applied from 20 to 40 das. The results showed that the application of Paclobutrazol in combination with supplementary light is more convenient because the characteristics of vigour and quality of the seedling improved; there was a reduction in height, foliar area, dry weight, and greater thickness of the stem for each seedling, which allowed to be transplanted up to 60 das without any problem. In addition, with the same combination of light and Paclobutrazol more flowers were obtained in the second and third inflorescence, which were reflected in increases in the yield of the fruit especially of the third bunch. In general the applications of Paclobutrazol, decrease the height and delay the effect of competition for light, favoring the realization of transplant with older seedlings and allowing to shorten the transplant cycle at the end of harvest to less than 90 days which potentially allows, in greenhouse conditions, four crop cycles per year with high yield potential in that period.

Palabras clave: Radiation supplement, growth retardants, development, flowering.

²Thesis of Horticultural Sciences MSc program, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Mario Ruiz Díaz

Advisor: Dr. Felipe Sánchez del Castillo

4.3. INTRODUCCIÓN

El sector de las hortalizas tiene singular importancia en la agricultura, tanto nacional como internacional. A escala mundial las hortalizas ocupan el segundo lugar de importancia entre los productos agropecuarios, siendo apenas superados por los cereales (Muñoz *et al.*, 1995).

El sistema de cultivo de jitomate en invernadero que más se ha impuesto a nivel comercial en México, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, en densidades de población de 2 a 3 plantas/m², donde los tallos de las plantas se dejan crecer hasta más de 7 m de longitud, para cosechar 15 o más racimos por planta, en un solo ciclo de cultivo por año. En condiciones hidropónicas bajo este sistema de manejo, en Holanda se han reportado rendimientos de más de 500 t/ha/año con invernaderos de alta tecnología que permiten un excelente control de las condiciones ambientales (Peet y Welles, 2005; Resh, 2004). Aunque el rendimiento es alto, es importante resaltar que el ciclo de cultivo es muy largo (10 a 11 meses), con un periodo de inicio a fin de cosecha de seis a siete meses; además, es de difícil manejo técnico en cuanto a las prácticas culturales a realizar y a la prevención y control de plagas y enfermedades; todo ello deriva en un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005).

Varios trabajos de investigación realizados en la Universidad Autónoma Chapingo (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez *et al.*, 1991; Sánchez y Corona 1994; Ponce, 1995) y experiencias a escala comercial con productores, han permitido validar un sistema de producción alternativo que consiste en conducir las plantas a un solo tallo y realizar despuntes temprano (eliminar la yema terminal de las plantas) para dejar uno, dos o tres racimos. Así, el ciclo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta de 10 o más meses a un periodo de 3 a 4 meses (según la edad de la planta al trasplante), y en un esquema de producción continua se han podido obtener tres ciclos por año y, por lo tanto, mayor productividad anual que en los sistemas convencionales (Sánchez *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2007); además, por lo concentrado del periodo de cosecha, ésta se puede programar para obtenerla en las ventanas de mercado donde los

precios del producto son mayores, lo que produce mayor beneficio económico para el productor (Sánchez *et al.*, 2012).

Debido a la poca altura de las plantas, lograda con este manejo, el menor rendimiento por planta en un ciclo de cultivo se compensa parcialmente por el establecimiento de altas densidades de población (8 plantas/m² de invernadero), lo cual es posible porque, con el despunte temprano, cada planta forma menos área foliar (Sánchez y Ponce, 1998).

En este sistema generalmente se manejan camas de cultivo de 1 a 1.2 m de ancho, en distribución de cuatro hileras de plantas separadas por pasillos de 0.5 a 0.6 m de ancho. Al respecto, Sánchez *et al.* (2012) mencionan que los rendimientos logrados han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencialmente 450 a 600 t/ha/año) y esto sin la necesidad de invernaderos de alta tecnología.

Aunque este paquete tecnológico de producción ya se ha estado validando con éxito a escala comercial con productores, se piensa que es posible incrementar aún más el rendimiento y el beneficio económico anual por unidad de superficie mediante dos estrategias: 1) Acortando el ciclo de cultivo a menos de tres meses para obtener cuatro ciclos por año en vez de tres. 2) Promoviendo la formación de más flores y frutos en cada una de las tres inflorescencias dejadas por planta.

Para el primer caso, se debe encontrar un manejo adecuado del semillero para lograr cosechar plántulas que se puedan trasplantar hasta una edad más avanzada (55 a 60 días después de la siembra) sin efectos adversos posteriores que se pudieran traducir en menos rendimiento, en vez de los 30 días al trasplante que se usan para los semilleros en los sistemas convencionales, o los 40 a 45 días que se han empleado en el sistema de producción a tres racimos por planta.

Con respecto a la estrategia de formar más flores y frutos por inflorescencia, se tienen los siguientes antecedentes:

Adams (1982) muestra con ejemplos en varias especies de plantas cultivadas, que el tamaño que alcanza el meristemo apical antes de la iniciación de la inflorescencia, está altamente correlacionado con la productividad de la planta y determina en gran medida el número de flores. Subraya que el tamaño del meristemo, es resultado de la frecuencia de la división y de la expansión celular que tiene lugar en la interface de vegetativo a reproductivo y que esto, a su vez, depende de la tasa de fotosíntesis y de la distribución de asimilados.

Hurd y Cooper (1970), Calvert (1973), Aung (1978) y Picken *et al.* (1986), mencionan que el carácter inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más flores por racimo que los racimos simples), o simplemente la formación de más flores por racimo, si bien tienen un componente genético, se pueden promover más flores mediante modificaciones temporales del ambiente (luz, temperatura, CO₂, nutrición) o del manejo de las relaciones fuente-demanda (poda de hojas que están iniciando su crecimiento), uso de hormonas o reguladores de crecimiento, etc.

La fase en que el número de flores puede ser afectado por el ambiente (periodo sensitivo) empieza unos ocho días después de la expansión de los cotiledones y continúa por una o dos semanas más, coincidiendo con el momento en que la tercera hoja formada sobrepasa los 10 mm de longitud (Calvert, 1964; Hurd y Cooper, 1970; Ho, 1984).

Dinar y Rudich (1985) y Charles-Edwards *et al.* (1986), plantean que el número de primordios (entre ellos de flores) que puede ser sostenido por un cultivo declina de manera casi lineal con el aumento de la temperatura media del aire. Durante el periodo inmediatamente anterior y posterior al inicio de la floración, el aumento de temperatura acelera la respiración de toda la planta y, por lo tanto aumenta la demanda de asimilados para sostener el crecimiento de cada primordio; si el suministro de asimilados por día no se mantiene constante, habrá mayor aborción de primordios y por lo tanto menos de ellos podrán mantener su crecimiento para formar flores.

Abdul *et al.* (1978), Picken *et al.* (1986) y Atherton y Harris (1986), entre otros autores, coinciden en señalar que retardadores del crecimiento como Cicocel (CCC), aplicados foliarmente al principio de la iniciación floral, frecuentemente ocasionan aumentos en el número de flores y en el porcentaje de frutos amarrados.

Los mismos factores que se estudian para lograr plántulas de más edad, densidad de las plántulas por unidad de superficie, volúmenes de sustrato por plántula, luz suplementaria y retardadores del crecimiento, merecen ser estudiados también en cuanto a su posible efecto en la formación de un mayor número de flores por inflorescencia.

Con el manejo de luz suplementaria nocturna durante la iniciación floral se promueve más fotosíntesis de las plántulas por día y por lo tanto se espera más disponibilidad de asimilados para cada primordio de flor, lo que eventualmente puede ocasionar una disminución en el porcentaje de aborción promoviendo la formación de más flores por inflorescencia (Contreras, 2007).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de paclobutrazol, luz suplementaria nocturna y algunas interacciones entre estos factores, sobre aspectos morfológicos relacionados con vigor y calidad de plántulas de jitomate a fin de lograr su trasplante hasta los 55 a 60 días de edad sin efectos adversos posteriores y sobre la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tanto en fase del semillero como en la de producción se llevó a cabo en los invernaderos del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en el municipio de Texcoco, Estado de México, con latitud Norte de 19° 20' 35", y longitud Oeste de 98° 53' 7" y una altura sobre el nivel medio del mar de 2240 m.

El invernadero utilizado en la fase de semillero fue de tipo capilla (dos aguas) con cubierta de polietileno térmico y de alta dispersión de luz, con una superficie de 300 m². El control de las condiciones ambientales se lograba mediante: 1) la apertura y cierre de ventanas con cortinas de polietileno y protección con mallas antiáfido para evitar la entrada de insectos plaga; 2) Un sistema de muro húmedo y extractores que permitía mantener dentro de cierto límite la alta temperatura y baja humedad relativa. Durante esta fase de semillero se buscó mantener la temperatura del día entre 15 y 25 °C, y durante la noche entre 10 y 16 °C, y humedad relativa entre 60 y 80 %.

El manejo después del trasplante se llevó a cabo en un invernadero con características similares, pero que no contaba con el sistema de pared húmeda. De cualquier forma, se buscó que la temperatura y humedad relativa se mantuviera dentro de los límites favorables para el cultivo.

Se utilizó la variedad de jitomate de tipo saladette y de crecimiento indeterminado "El Cid" perteneciente a la casa comercial Enza Zaden. El fruto es de forma aplanada y semi redonda, con un peso promedio de 160 g; tienen muy buen cierre apical y sin hombros verdes, y conservan su color rojo intenso para una excelente vida de anaquel.

Las plántulas fueron sembradas en charolas de poliestireno de 60 cavidades con un volumen de 250 mL por cavidad y una separación de 5 cm entre centro y centro de cada cavidad. Como sustrato de siembra se utilizó una mezcla de peat moss y perlita (50-50).

Las plántulas fueron irrigadas desde la siembra con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de nutrimentos en mg L^{-1} : Nitrógeno, 200; Fósforo, 50; Potasio, 200; Calcio, 250; Magnesio, 50; Azufre, 150; Hierro, 2; Manganeseo 1; Boro, 0.5; cobre, 0.1 y Zinc, 0.1. Durante los primeros 15 días después de la siembra la solución se aplicó a la mitad de su concentración; de ahí en adelante, hasta el fin de la cosecha se utilizó la concentración completa.

Se establecieron ocho tratamientos que resultan de aplicaciones de Paclobutrazol a una dosis de 50 mg L^{-1} en aspersión foliar, una aplicación a los 20 ó 30 dds (días después de la siembra) o dos aplicaciones a los 20 y 30 dds, sin y con luz suplementaria por 5 horas a partir de las 7 pm con lámparas de luz led blanca a un flujo fotónico fotosintético de $100 \text{ a } 150 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aplicado de los 20 a los 40 dds.

Los tratamientos (T) en particular se describen a continuación:

T1. Testigo, Sin Paclobutrazol, sin luz suplementaria

T2. Sin Paclobutrazol, con luz suplementaria

T3. Paclobutrazol 20 dds, sin luz suplementaria

T4. Paclobutrazol 20 dds, con luz suplementaria

T5. Paclobutrazol 30 dds, sin luz suplementaria

T6. Paclobutrazol 30 dds, con luz suplementaria

T7. Paclobutrazol 20-30 dds, sin luz suplementaria

T8. Paclobutrazol 20-30 dds, con luz suplementaria

En la fase de semillero se trabajó con un diseño en parcelas divididas con ocho repeticiones como parcela grande factor Paclobutrazol y parcela chica factor luz suplementaria y 15 plántulas por unidad experimental.

Las variables que se midieron en esta fase fueron:

1. Altura de plántula a los 40 y 60 dds medida con una cinta métrica.
2. Grosor del tallo a los 40 y 60 dds en el entrenudo entre la cuarta y quinta hoja, medido con un vernier electrónico “Digimatic Caliper” (Mitutoyo, Modelo No. CD-6 CS).
3. Área foliar por planta a los 40 y 60 dds. Para la medición se realizó un muestreo de dos plantas representativas de cada tratamiento en cada repetición y se midió directamente en un integrador de área foliar (LI- 3000A, Lincoln, Nebraska).
4. Peso seco total a los 40 y 60 dds mediante secado en estufa (hasta peso constante) las mismas dos plantas por tratamiento en cada repetición que se muestrearon para obtener área foliar.
5. Área foliar específica (g de materia seca/m² de hoja) a los 40 y 60 dds de las mismas dos plantas por tratamiento en cada repetición que se muestrearon para obtener área foliar.

El trasplante se efectuó a los 60 dds colocando tres hileras de plantas en camas de 1 m de ancho x 25 cm de profundidad, las cuales se rellenaron con arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Entre camas se dejaron pasillos de 50 cm de ancho. Se utilizaron nueve plantas por unidad experimental que fueron establecidas a una distancia entre plantas de 30 cm y entre hileras de 33 cm.

Se instaló un sistema de riego a base de cintilla con goteros integrados a cada 20 cm. El riego fue con solución nutritiva con las concentraciones de nutrientes ya señaladas. Se dieron entre tres y cinco riegos diarios (1 L m⁻² cada uno) según las condiciones climáticas y la edad de las plantas. Se estableció un programa preventivo para el control de plagas y enfermedades.

El tutorio de las plantas se realizó inmediatamente después del trasplante. La poda de brotes laterales se efectuó durante cuatro semanas consecutivas a partir

de los 70 dds. La eliminación de la yema terminal se realizó entre los 85 y 90 dds, dos hojas por encima de la tercera inflorescencia formada. También se podaron tres a cuatro hojas inferiores de cada planta a los 80 dds. La cosecha de los primeros frutos maduros inició a los 113 dds y el último corte fue a los 144 dds.

Los tratamientos se dispusieron al igual que en el semillero bajo un diseño en parcelas divididas, como parcela grande se tuvo el factor paclobutrazol y como parcela chica el factor luz suplementaria, con ocho repeticiones y nueve plantas por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron:

1. Número de flores por inflorescencia y por planta.
2. Número de frutos cosechados por racimo y por planta.
3. Peso medio de frutos por planta.
4. Rendimiento por racimo y por planta.

A los datos obtenidos se les aplicó análisis de varianza y se hicieron comparaciones de medias de Tukey ($P = 0.05$).

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1. Variables morfológicas

En el Cuadro 41, se muestra el análisis de varianza para todas las variables indicadoras de calidad de plántula (altura, grosor del tallo, área foliar, peso seco y área foliar específica) medidos a los 40 días después de la siembra (dds). Se encontraron diferencias altamente significativas para todas las variables entre tratamientos correspondientes al factor paclobutrazol; también hubo diferencias altamente significativas para las variables altura, peso seco y área foliar específica para el factor de luz suplementaria. La interacción Paclobutrazol x luz suplementaria no fue significativo en ningún caso.

Cuadro 41. Cuadrados medios y niveles de significancia en variables indicadoras de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Altura	Grosor del tallo	Área foliar	Peso seco	Área foliar específica
Repetición	7	4.82	0.08	5889	0.22	141
Paclobutrazol	3	225.63**	0.56**	106683**	1.90**	2131**
Repetición x Pbz	21	3.13	0.10	1187	0.18	273
Luz	1	33.54**	0.17	2247	2.62**	2819**
Luz x Pbz	3	8.46	0.02	5351	0.34	398
Error	28	2.06	0.06	2417	0.23	237
CV (%)		4.57	4.84	10.33	14.42	10.71

** : Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. Pbz: paclobutrazol. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 42, se presentan las comparaciones de medias para las variables morfológicas evaluadas a los 40 días después de la siembra (dds).

La mayor altura fue para el tratamiento testigo respecto a los tratamientos con Paclobutrazol. Destaca que la mayor reducción respecto al testigo (más de 7 cm) fue con la doble aplicación de paclobutrazol a los 20 y 30 dds.

En cuanto al grosor del tallo, el tratamiento con Paclobutrazol aplicado a los 20 dds fue mayor (aunque de poca magnitud) respecto al testigo y al tratamiento de aplicación de Paclobutrazol a los 30 dds.

El área foliar por plántula, se redujo significativamente con la aplicación de paclobutrazol a los 20 dds y con la doble aplicación a los 20 y 30 dds. Esta reducción fue de aproximadamente 20% respecto al testigo.

Respecto al peso seco por planta, la aplicación temprana de paclobutrazol a los 20 dds redujo significativamente el valor de esta variable en más de un 20% (de 364 a 290 mg por planta); no así con la aplicación a los 30 dds. La doble aplicación (20 y 30 dds) también ocasionó una reducción significativa del peso seco por planta.

Por último, en área foliar específica con el tratamiento de doble aplicación de Paclobutrazol a los 20 y 30 dds se redujo en un 20% respecto al testigo. Los demás tratamientos fueron similares con el testigo.

Cuadro 42. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
0	0	35.60 a ^z	5.25 b	556 a	3.64 a	152.82 a
50	20	33.62 b	5.62 a	406 b	2.90 c	141.37 ab
50	30	28.62 c	5.20 b	537 a	3.58 ab	152.33 a
50	20-30	27.93 c	5.44 ab	405 b	3.21 bc	128.32 b
DMS		1.74	0.31	34	0.41	16.27

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05), DMS: diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 43, se hace la comparación de medias de tratamientos de luz suplementaria en el promedio de los tratamientos de paclobutrazol a los 40 dds. Hay una mayor altura de plántula, mayor peso seco y menor área foliar específica con aplicación de luz suplementaria respecto al tratamiento sin luz suplementaria. El grosor del tallo y el área foliar fueron similares en ambas condiciones.

Cuadro 43. Comparación de medias para indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 40 días después de siembra en relación a dos condiciones de luz suplementaria.

Condición	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
Con luz	32.17 a ^z	5.33 a	481.67 a	3.54 a	137.07 b
Sin luz	30.72 b	5.43 a	469.82 a	3.13 b	150.35 a
DMS	0.73	0.13	25.17	0.24	7.88

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

A los 60 dds, momento del trasplante (Cuadro 44), se observaron diferencias altamente significativas para las variables altura, grosor del tallo y área foliar de las plántulas para los tratamientos que involucran el factor paclobutrazol. Respecto al factor luz suplementaria se encontraron diferencias altamente significativas en todas las variables evaluadas, excepto el área foliar específica.

La interacción paclobutrazol x luz suplementaria fue altamente significativa para las variables de altura y grosor del tallo.

Cuadro 44. Cuadrados medios y niveles de significancia en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Altura	Grosor del tallo	Área foliar	Peso seco	Área foliar específica
Repetición	7	3.34	0.08	4885	0.52	204
Paclobutrazol	3	98.24**	0.58**	48679**	0.46	726
Repetición x Pbz	21	1.64	0.20	7862	0.82	281
Luz	1	112.00**	1.82**	285323**	11.44**	80
Luz x Pbz	3	104.56**	0.67**	18533	0.75	648
Error	28	2.16	0.08	9876	0.73	257.53
CV (%)		3.47	4.32	13.84	15.45	12.19

** : Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. Pbz: paclobutrazol. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 45, se presentan las comparaciones de medias para las variables morfológicas, evaluadas a los 60 días después de la siembra (dds). Se aprecia que la altura de planta fue mayor en el testigo respecto a los tratamientos con paclobutrazol. Como se esperaba, hubo un efecto de reducción en altura debido a la aplicación de este retardador de crecimiento; esta reducción en altura fue más pronunciada con la doble aplicación a los 20 y 30 dds y con la aplicación más temprana (20 dds).

El grosor del tallo fue similar entre el testigo y los tratamientos con Paclobutrazol, sólo con la doble aplicación (20 y 30 dds) el grosor de tallo apenas alcanzó a ser significativamente mayor que con una aplicación a los 20 dds.

Respecto al área foliar solamente con el tratamiento de doble aplicación de paclobutrazol (20 y 30 dds) se tuvo estadísticamente menor respecto al testigo.

El peso seco por planta y el área foliar específica, fueron similares con el testigo, es decir, no resultaron afectadas con los tratamientos de paclobutrazol.

Cuadro 45. Comparación de medias en indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
0	0	45.64 a ^z	6.85 ab	783.48 a	5.71 a	138.60 a
50	20	41.00 c	6.71 b	702.13 ab	5.43 a	122.39 a
50	30	42.81 b	6.94 ab	734.35 ab	5.63 a	132.46 a
50	20-30	40.00 c	7.16 a	652.25 b	5.34 a	132.89 a
DMS		1.26	0.44	87.38	0.89	6.51

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); dds: días después de la siembra, DMS: diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 46, se presentan las comparaciones de medias de las variables morfológicas evaluadas a los 60 días después de siembra; la altura de planta, el grosor del tallo, el área foliar por planta y el peso seco fueron significativamente mayores con el tratamiento de luz suplementaria respecto al testigo sin luz suplementaria. Sólo el área foliar específica fue similar entre ambos tratamientos.

Cuadro 46. Comparación de medias para indicadores de calidad de plántula de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra en relación a dos condiciones de luz suplementaria.

Condición	Altura (cm)	Grosor del tallo (mm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco (g)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)
Con luz	43.68 a ^z	7.08 a	784.80 a	5.95 a	132.70 a
Sin luz	41.04 b	6.75 b	651.26 b	5.10 b	130.47 a
DMS	0.75	0.15	50.89	0.43	8.21

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

La interacción significativa que se dio para altura de planta entre los tratamientos con Paclobutrazol y las condiciones de luz a los 60 dds, se explica porque en los tres tratamientos con una sola dosis de Paclobutrazol con luz suplementaria la altura fue mayor respecto a los tratamientos sin luz suplementaria, mientras que con la doble aplicación de este retardador ocurrió que el tratamiento con luz suplementaria resultó con similar altura de planta respecto al que no se le dio este tipo de luz (Figura 1).

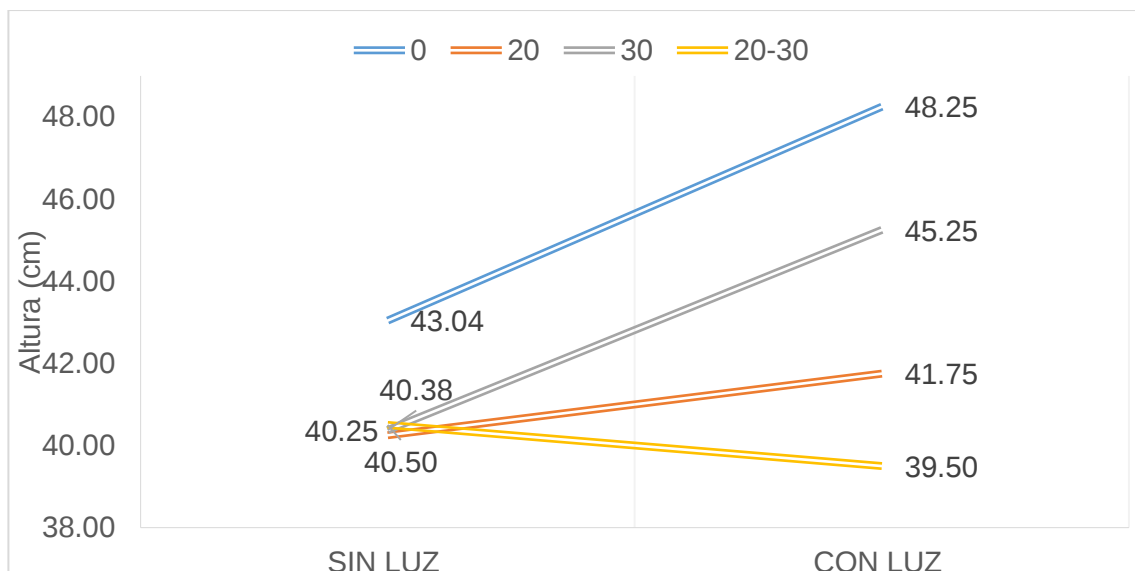


Figura 1. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en altura de planta a los 60 días después de la siembra.

Para el caso de la interacción significativa para Paclobutrazol x luz suplementaria respecto al grosor del tallo, ésta se explica porque con la aplicación de paclobutrazol a los 30 dds sin luz, el grosor del tallo es el menor respecto a los demás tratamientos sin luz, mientras que con luz es el mayor a todos. En los demás tratamientos el grosor del tallo no fue modificado significativamente por la condición de luz (Figura 2).

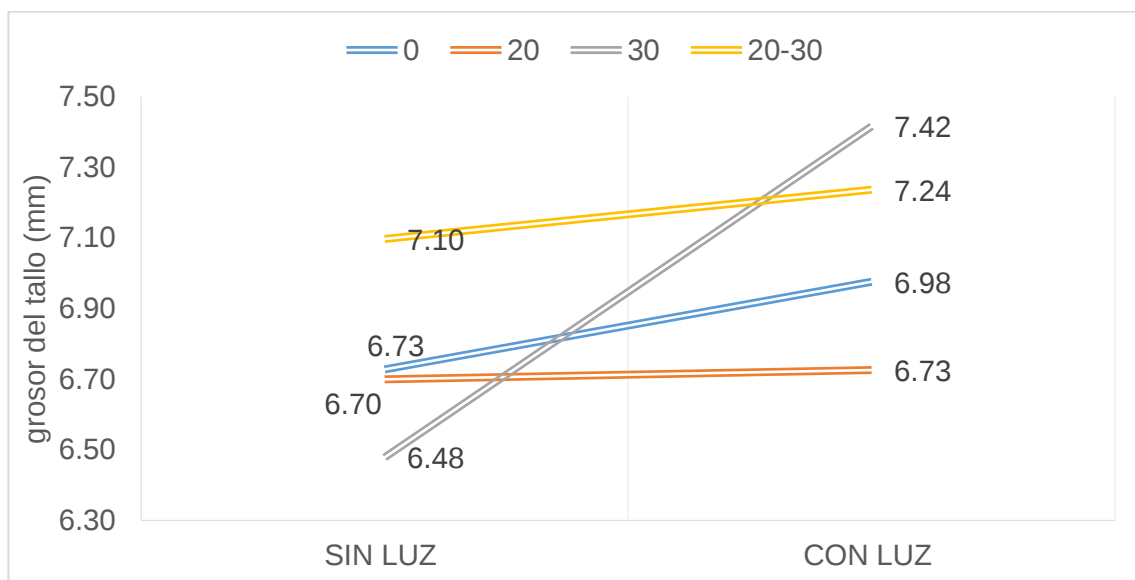


Figura 2. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en grosor del tallo a los 60 días después de la siembra.

Discusión sobre variables morfológicas en plántulas

En el sistema de producción de jitomate en invernadero a tres racimos por planta se busca obtener plántulas de más edad al trasplante (55 a 60 dds) con la finalidad de acortar el periodo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días y poder obtener cuatro ciclos de cultivo al año para lograr una mayor producción anual.

En este caso se pretende lograr características morfológicas que favorezcan el vigor de las plántulas y su resistencia a un trasplante más tardío sin consecuencias negativas posteriores en aspectos como calidad de fruto o rendimiento. En particular se buscan características morfológicas de las plántulas como las siguientes:

1. Plántulas compactas de relativamente poca altura, para retrasar y disminuir la competencia por luz entre ellas y facilitar el trasplante a edades más avanzadas (Sánchez, 1997).
2. Tallo grueso, aspecto que significa más área transversal de floema y xilema para conducir más eficientemente agua, nutrientes y fotoasimilados entre la raíz y las hojas (Sánchez, 1997; Sánchez *et al.*, 1999; Regalado, 2002).
3. Área foliar con hojas más gruesas y compactas con mayor densidad o menor área foliar específica (Sánchez, 1997).
4. Alto peso seco por plántula, indicativo de un mayor crecimiento y desarrollo (Sánchez, 1997).

Los resultados obtenidos con la aplicación del Paclobutrazol demuestran que sí disminuye la altura y el área foliar, sobre todo, cuando se realizaron dos aplicaciones de este producto, a los 20-30 dds, respecto con una sola aplicación. Esta reducción en altura y área foliar implica una disminución del efecto de competencia mutua por luz entre plántulas, facilitando así el trasplante hasta los 60 dds. Con ello se logró un ciclo de trasplante a fin de cosecha de menos de 90 días, lo que potencialmente permite obtener hasta cuatro ciclos por año, en vez

de los tres que actualmente se logran con el trasplante a los 45 dds (Sánchez, 1997).

Por otro lado, al reducirse la competencia por luz, se estimuló la tasa de fotosíntesis, sobre todo a los 40 dds, reflejándose en parámetros como un mayor grosor del tallo en el tratamiento de aplicación temprana del paclobutrazol a los 20 dds, indicando que las aplicaciones tempranas sí influyen como inhibidoras del crecimiento, al menos temporalmente, ya que después del trasplante el efecto del paclobutrazol se fue perdiendo mostrando resultados similares al testigo.

Por otro lado, en peso seco, se observó una disminución con los tratamientos de aplicación temprana de Paclobutrazol, la cual es lógico, ya que hubo una reducción en altura y área foliar y una disminución en área foliar específica respecto al testigo a los 40 dds.

En un estudio similar al aquí presentado, realizado por Giovinazzo y Souza (2001) en plántulas de jitomate, el Paclobutrazol redujo el tamaño de plántulas hasta 43 %. Barret y Nell (1986), señalaron que los triazoles (como ingrediente activo del paclobutrazol) son activos en concentraciones pequeñas y que, por lo regular, sólo se requiere de una a tres aplicaciones del inhibidor, pero su efecto dependerá de la especie y las condiciones en que se encuentra la planta. Por su parte Adriansen y Odgaard (1997) confirmaron lo anterior aseverando que la magnitud del efecto del paclobutrazol está relacionado directamente con la dosis aplicada. Por otro lado, Berova y Zlatev (2000) mencionan que, en etapa de plántula, con la aplicación de retardador del crecimiento como el paclobutrazol, se pueden formar plantas con entrenudos más cortos, lo que posibilita mantener a las plántulas más tiempo en el semillero sin efectos adversos posteriores al trasplante. En un estudio realizado por los mismos autores en jitomate a una dosis 25 mg L^{-1} en aplicación foliar, encontraron que se incrementó el grosor del tallo y el desarrollo de raíces, con ello, la calidad de plántulas para el trasplante. De manera similar, Giovinazzo y Souza (2001), con aplicaciones de paclobutrazol en tres cultivares de jitomate, encontraron incrementos en diámetro del tallo en un 9 % respecto al testigo. En el presente experimento, hubo diferencias

significativas con las mediciones realizadas a los 40 dds entre los tratamientos con paclobutrazol respecto al testigo, pero a los 60 dds todos los tratamientos fueron similares, posiblemente el efecto menguó porque la última aplicación fue 30 días antes de la medición.

El Paclobutrazol al ser absorbido por la parte aérea, se trasloca por el xilema hasta los puntos de crecimiento, el ingrediente activo inhibe la producción de giberelinas en los meristemas subapicales, impidiendo la oxidación del Kaureno a ácido kareurenóico; lo que reduce la tasa de división y expansión celular limitando con ello el crecimiento (Coolbaugh y Hamilton 1976; Davis, 1989). Ello se debe a que el Paclobutrazol interactúa con monooxigenasas del citocromo P450, al bloquear las oxidaciones sucesivas de ent-kaureno a ent-kaurenol, ent-kaurenal y ácido ent-kaurénico, dentro del ciclo del mevalonato, y de esta forma se inhibe la síntesis de giberelinas (Azcón y Talón 1993) y la elongación celular (Rademacher, 2000).

Los tratamientos de Paclobutrazol disminuyeron significativamente el área foliar por plántula favoreciendo un menor sombreado entre plántulas. Probablemente esto promovió una mayor tasa fotosintética que se reflejó en mayor producción de fotoasimilados por día, de tal manera, que las plántulas con paclobutrazol tenían 7 cm menos de altura a los 40 dds y 4.5 cm menos a los 60 dds, y 130 cm² menos de área foliar, pero alcanzaron el mismo peso seco que el testigo a los 60 dds.

4.5.2. Número de flores por inflorescencia y total por planta

En los análisis de varianzas realizados para comparar el número de flores por inflorescencia y total por planta (Cuadro 47), se observaron diferencias significativas en el número de flores presentes en la tercera inflorescencia, y en el número total de flores por planta para el factor Paclobutrazol; también se encontraron diferencias altamente significativas para el número de flores de la segunda y tercera inflorescencia, así como para el número total de flores por planta respecto al factor luz suplementaria aplicada en semillero de los 20 a los

40 dds, pero en la interacción paclobutrazol x luz suplementaria no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 47).

Sin embargo, en las pruebas de comparación de medias ya no se detectaron diferencias entre tratamientos de Paclobutrazol por ser éstas de poca magnitud (Cuadro 48).

Cuadro 47. Cuadrados medios y niveles de significancia en la floración de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria en la etapa de semillero establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
Repetición	7	0.70	0.18	0.36	1.48
Paclobutrazol	3	0.62	0.35	0.39*	2.30*
Repetición x Paclobutrazol	21	0.26	0.34	0.19	0.91
Luz	1	0.44	4.97**	1.79**	17.97**
Luz x Paclobutrazol	3	0.005	0.24	0.46	0.13
Error	28	0.40	0.33	0.10	0.73
CV (%)		8.35	6.82	3.77	3.47

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 48. Comparación de medias en la floración de jitomate (variedad Cid) a los 60 días después de siembra, en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Inflorescencia			Total por planta
		Primera	Segunda	Tercera	
0	0	7.48 a ^z	8.35 a	8.59 a	24.44 a
50	20	7.91 a	8.67 a	8.68 a	25.27 a
50	30	7.50 a	8.40 a	8.62 a	24.53 a
50	20-30	7.69 a	8.56 a	8.32 a	24.59 a
DMS		0.50	0.58	0.43	0.94

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 49, se puede observar que el número de flores formadas en la segunda y tercera inflorescencias y en el total por planta, fue estadísticamente superior con los tratamientos donde se aplicó luz suplementaria en la etapa de iniciación floral (a los 20 a 40 dds).

Cuadro 49. Comparación de medias en la floración de jitomate (variedad Cid), en respuesta a dos condiciones de luz suplementaria en plántulas establecidas a una densidad de 150 plántulas/m².

Condición	Inflorescencia			Total por planta
	Primera	Segunda	Tercera	
Con luz	7.56 a ^z	8.78 a	8.72 a	25.23 a
Sin luz	7.73 a	8.22 b	8.39 b	24.17 b
DMS	0.32	0.29	0.16	0.44

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

Discusión sobre número de flores.

En el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas en el número de flores por inflorescencia o por planta con los diferentes tratamientos de aplicaciones de paclobutrazol. Probablemente se debe a que el producto aplicado fue a una dosis relativamente baja y/o también a la forma de aplicación. Por ejemplo, en un estudio realizado en el cultivo de jitomate aplicado vía drench con dosis de 200 y 400 mg L⁻¹ de Paclobutrazol, el número de flores y frutos por planta fue estadísticamente superior con 39 % más respecto al testigo sin Paclobutrazol (Rahman *et al.*,1989).

Por otro lado, en una investigación realizada por Davis (1989) mencionan que los triazoles como el paclobutrazol son generalmente más efectivos para retardar el crecimiento cuando se aplican al suelo o sustrato en comparación con las aplicaciones foliares.

Giovinazzo y Souza (2001) reportan que hay incremento en el número de flores y rendimiento de las plantas con la aplicación de retardadores de crecimiento. Esta respuesta se atribuye a que el experimento se ha realizado a campo abierto, donde los retardadores dan cierta ventaja a las plantas tratadas (resistencia a estrés por sequía, alta temperatura, sistema radical más desarrollado) en comparación con condiciones más controladas como en las que se desarrolló el experimento.

En otro estudio similar, Balderas (2003) aplicó paclobutrazol a 50 mg L^{-1} , una aplicación a los 28 días después de la siembra (dds), y tres más a los 28- 50- 80 dds, pero no encontró diferencias significativas entre tratamientos para número de flores por planta.

Morales (2008) realizó estudio en plántulas de jitomate, en el que aplicó paclobutrazol a dosis de 25 y 50 mg L^{-1} a los 17 y 20 dds y encontró incrementos en el número de flores por inflorescencia y por planta.

Para número de flores en jitomate, existen estudios de los genes involucrados y su tipo de herencia (Vriesenga y Honma, 1974) y, por otro lado, se sabe que es un carácter que puede ser promovido mediante modificaciones en el ambiente del semillero (Hurd y Cooper, 1970; Calvert, 1973; Atherton y Harris, 1986), por lo que se considera que debe ampliarse la investigación sobre los factores puntuales que lleven a la expresión de un mayor número de flores.

Por otro lado, al aplicarse luz suplementaria en el semillero de los 20 a los 40 dds, se encontró un efecto significativo de mayor número de flores en la segunda y tercera inflorescencia y también el número de flores totales por planta (Cuadro 49), respecto a una condición sin luz suplementaria.

Hay numerosos reportes de investigaciones que evidencian un incremento del número de flores, al modificar factores ambientales que conducen a un mejor balance de carbohidratos disponibles en la planta, en el lapso de tiempo en que se da la diferenciación floral; tal es el caso de la intensidad y duración de la radiación fotosintéticamente activa (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Morgan, 1986), la temperatura tanto de la parte aérea como de la raíz (Hoek *et al.*, 1993), el espaciamiento radical y aéreo (Weston, 1988; Peterson *et al.* (1991); Wien, 1997), y en general el manejo de las relaciones fuente demanda.

4.5.3. Rendimiento y sus componentes

En el Cuadro 50 muestra el análisis de varianza de las variables rendimiento y número de frutos por racimo por efecto de la aplicación de paclobutrazol y luz suplementaria. Se observa que con la aplicación de Paclobutrazol se dieron diferencias significativas en el rendimiento del primer y tercer racimo, pero no para número de frutos. Para el factor luz suplementaria, se presentó diferencias altamente significativas para el rendimiento del primero y significativas para el del segundo racimo; en número de frutos tampoco se tuvieron diferencias significativas. La interacción paclobutrazol x luz suplementaria fue altamente significativa solamente para el rendimiento del primer racimo.

Cuadro 50. Cuadrados medios y niveles de significancia en fructificación de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria en la etapa de semillero establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por racimo			Rendimiento por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
Repetición	3	0.87	0.52	0.65	2470	2582	5950
Pbz	3	0.75	0.78	0.95	6154*	8259	21183*
Rep x Pbz	9	0.48	0.54	0.46	2423	5629	6987
Luz	1	1.16	0.98	0.0003	58120**	19157*	17
Luz x Pbz	3	1.47	0.38	0.62	23137**	3994	20128
Error	28	0.37	0.39	0.36	1491	4033	5601
CV (%)		11.17	8.91	7.92	7.34	9.05	8.54

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. Rep: repetición. Pbz: paclobutrazol. CV: coeficiente de variación.

En el Cuadro 51 se puede apreciar que por efecto del Paclobutrazol hubo diferencias altamente significativas en el número de frutos y en rendimiento total, y diferencias significativas en peso medio de fruto; en cambio por la aplicación de luz suplementaria, sólo hubo efectos significativos para esta última variable. La interacción paclobutrazol x luz suplementaria fue altamente significativa tanto para peso medio del fruto como para rendimiento total por planta.

Cuadro 51. Cuadrados medios y niveles de significancia en productividad de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol y luz suplementaria en la etapa de semillero establecidas a una densidad de 300 plántulas/m².

FV	GL	Frutos por planta	Peso medio del fruto	Rendimiento por planta
Repetición	3	2.16	50.44	14560
Paclobutrazol	3	5.99**	146.47*	82562**
Repetición x Paclobutrazol	9	2.14	37.07	22237*
Luz	1	0.01	214.63*	11413
Luz x Paclobutrazol	3	5.22	190.48**	92877**
Error	28	1.25	40.43	10380
CV (%)		5.57	6.14	4.84

*: Significativo P = 0.05. **: Altamente significativo P = 0.01. FV: Fuente de variación. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Como se señaló, en el análisis de varianza para el rendimiento del primero y tercer racimo se detectaron diferencias significativas entre dosis y momentos de aplicación de paclobutrazol, pero para el primer racimo no alcanzaron a ser estadísticamente diferentes entre tratamientos con la prueba de Tukey a una P = 0.05 (Cuadro 52). Para el tercer racimo destaca la aplicación de paclobutrazol a los 30 dds respecto al testigo donde se obtuvo estadísticamente mayor rendimiento (85 g de diferencia). Como ya se había indicado en el análisis de varianza, para número de frutos por racimo tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con la prueba de Tukey (P= 0.05) para diferentes momentos de aplicación de paclobutrazol.

Cuadro 52. Comparación de medias en fructificación de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m² hasta los 60 días después de la siembra.

Dosis mg L ⁻¹	Aplicación (dds)	Frutos por racimo			Rendimiento (g) por racimo		
		Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
0	0	5.43 a ^z	6.72 a	7.26 a	520 a	679 a	825 b
50	20	5.56 a	7.16 a	7.65 a	517 a	701 a	890 ab
50	30	5.73 a	7.22 a	7.85 a	554 a	733 a	910 a
50	20-30	5.22 a	7.00 a	7.57 a	511 a	693 a	878 ab
DMS		0.68	0.72	0.67	48.50	73.93	82.37

Valores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05). DMS: diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 53 se observa que para el rendimiento por planta y sus componentes primarios (número de frutos y peso medio de fruto por planta), las comparaciones de medias de Tukey ($P=0.05$), no detectaron diferencias significativas entre tratamientos de aplicación de Paclobutrazol para número de frutos por planta. Sin embargo, la aplicación del Paclobutrazol a los 30 dds dio estadísticamente un mayor rendimiento por planta respecto al testigo con 173 g por planta de diferencia. Asimismo, el mayor peso medio del fruto se dio con aplicaciones de Paclobutrazol a los 30 dds seguido del tratamiento con doble aplicación a los 20 y 30 dds respecto al testigo.

Cuadro 53. Comparación de medias en productividad de jitomate (variedad Cid) en respuesta a aplicaciones de Paclobutrazol en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m² hasta los 60 días después de la siembra.

Dosis (mg L ⁻¹)	Aplicación (dds)	Frutos por planta	Peso medio por fruto (g)	Rendimiento por planta (g)
0	0	19.43 a ^z	99 b	2024 b
50	20	20.38 a	104 ab	2108 ab
50	30	20.81 a	106 a	2197 a
50	20-30	19.80 a	105 a	2082 ab
DMS		1.44	6.00	147

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($P = 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa.

Respecto al análisis de las condiciones de luz (Cuadro 54), se aprecia que el rendimiento del primer racimo con luz suplementaria resultó estadísticamente mayor respecto a la condición sin luz, con una diferencia mayor a 60 g. Sin embargo, contrariamente a lo esperado, el rendimiento del segundo racimo fue superior sin luz suplementaria. Para el tercer racimo, no hubo ninguna diferencia en esta variable. Lo mismo ocurrió en número de frutos por racimo, en el que no se presentaron diferencias entre tratamientos con y sin luz suplementaria.

Cuadro 54. Comparación de medias en fructificación de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes condiciones de luz suplementaria en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m² hasta los 60 días después de la siembra.

Condición	Frutos por racimo			Rendimiento (g) por racimo		
	Primero	Segundo	Tercero	Primero	Segundo	Tercero
Con luz	5.62 a ^z	6.90 a	7.59 a	556 a	684 b	876 a
Sin luz	5.35 a	7.15 a	7.58 a	495 b	719 a	875 a
DMS	0.31	0.32	0.30	19.72	32.52	38.32

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

En número de frutos por planta y rendimiento total por planta fueron similares entre ambas condiciones de luz (Cuadro 55). Pero para peso medio del fruto por planta destaca la condición de luz suplementaria a favor de más de 3 g por fruto.

Cuadro 55. Comparación de medias en productividad de jitomate (variedad Cid) en respuesta a diferentes condiciones de luz suplementaria en plántulas establecidas a una densidad de 300 plántulas/m² hasta los 60 días después de la siembra.

Condición	Frutos por planta	Peso medio por fruto (g)	Rendimiento por planta (g)
Con luz	20.12 a ^z	106 a	2126 a
Sin luz	20.09 a	102 b	2089 a
DMS	0.57	3.25	52.17

^zValores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey (P = 0.05); DMS: diferencia mínima significativa.

La interacción significativa que se dio para rendimiento del primer racimo entre los tratamientos del paclobutrazol y las condiciones de luz, se explica porque en el tratamiento testigo y en el tratamiento con paclobutrazol aplicado a los 30 dds, se incrementó el rendimiento de este primer racimo respecto a los demás tratamientos al pasar de una condición sin luz a una con luz suplementaria, en tanto en los tratamientos donde el Paclobutrazol se aplicó más temprano (a los 20 ó 20 y 30 dds) se inhibió esta influencia de la luz suplementaria sobre el rendimiento del primer racimo, quedando igual su rendimiento en ambas condiciones (Figura 3).

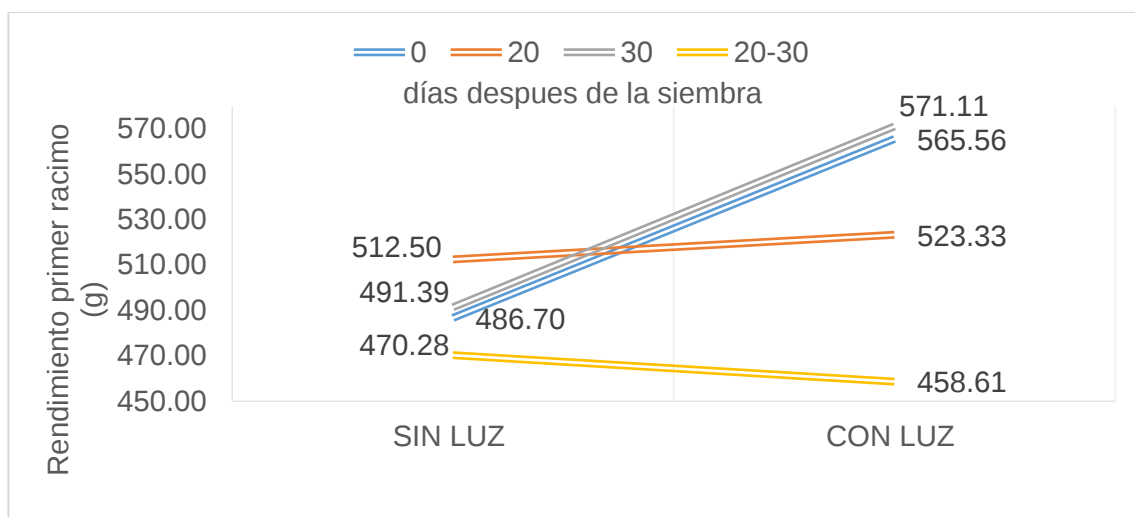


Figura 3. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en el rendimiento del primer racimo.

De manera similar, la interacción significativa para Paclobutrazol x luz suplementaria respecto al rendimiento por planta, se explica porque en los tratamientos testigo y con aplicación tardía de Paclobutrazol (30 dds) no hubo efecto en esa variable por la aplicación de luz suplementaria, mientras que con la aplicación temprana de Paclobutrazol (20 dds 20 y 30 dds) la luz suplementaria tendió a afectar negativamente el rendimiento por planta (Figura 4).

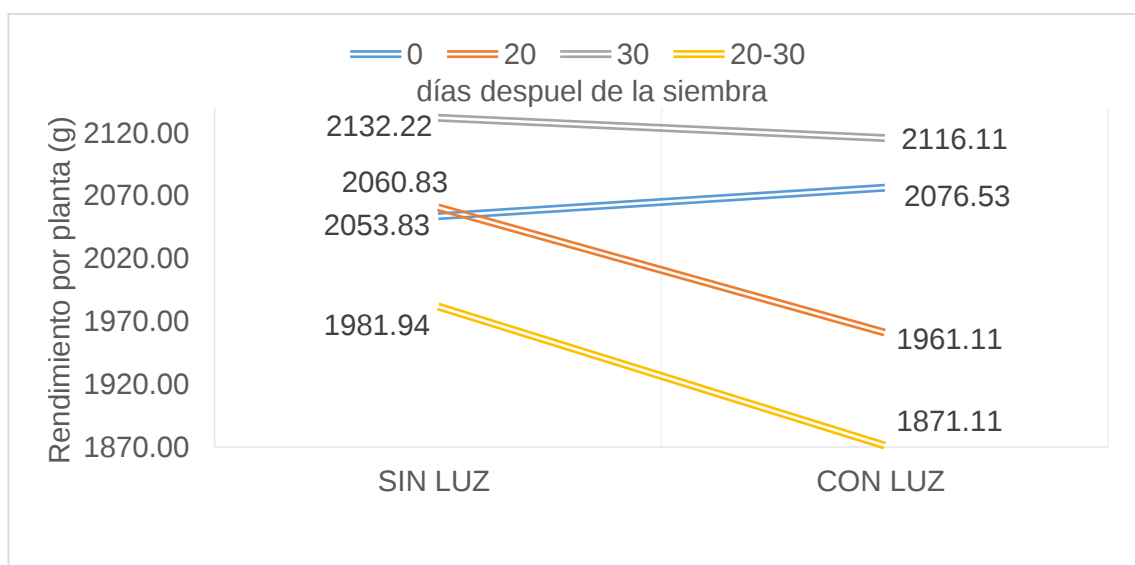


Figura 4. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en el rendimiento por planta.

Por último, la interacción significativa para Paclobutrazol x luz suplementaria respecto al peso medio del fruto, se explica también porque en el testigo y en el tratamiento con aplicación del paclobutrazol hasta los 30 dds, el peso de fruto tendió a aumentar con luz suplementaria, mientras que sucedió efecto contrario cuando las aplicaciones de Paclobutrazol fueron a plántulas de menor edad (20 dds o 20 y 30 dds) (Figura 5).

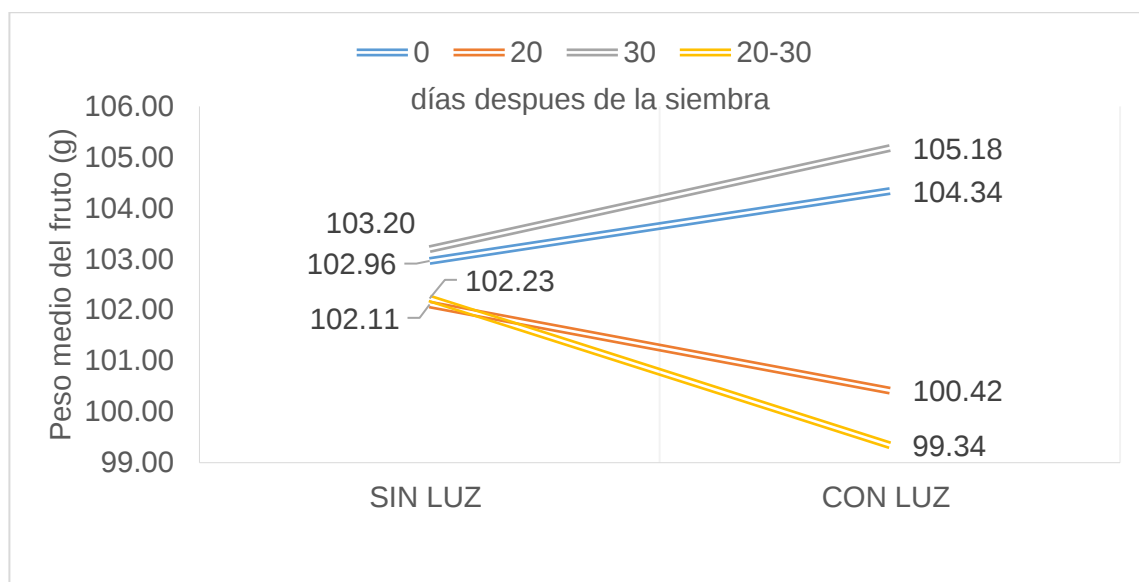


Figura 5. Interacción Paclobutrazol x luz suplementaria en peso medio del fruto.

Discusión sobre rendimiento y sus componentes.

Con las aplicaciones del Paclobutrazol sólo fue estadísticamente significativo el rendimiento del tercer racimo; destaca el tratamiento con la aplicación más tardía (hasta los 30 dds), el cual superó el peso por racimo en 85 g por planta, respecto al testigo. Posiblemente este incremento también se debió al mayor peso medio del fruto cosechado de este tratamiento. Ponce *et al.* (2000) indican que el rendimiento por ciclo depende del número y peso de pocos frutos por planta. Concuerda con Giovinazzo y Souza (2001) quien también reportan incremento en el rendimiento de las plantas con la aplicación de retardadores. Sin embargo, también hay reportes contradictorios; por ejemplo, Rahman *et al.* (1989) obtuvieron mayor rendimiento con el testigo (977.17 g), respecto a las

aplicaciones de Paclobutrazol a una dosis de 200 y 400 mg L⁻¹ (885 y 699.13 g, respectivamente).

Con luz suplementaria hubo diferencias significativas para el rendimiento del primer racimo, con respecto al tratamiento sin luz, con una diferencia de 60 g. Sin embargo, en el segundo racimo ocurrió lo contrario, donde la condición sin luz suplementaria superó el peso por racimo con 34 g. No se encontró una explicación clara para este comportamiento; sin embargo, finalmente estas diferencias por ser tendencias contrarias no llegaron a ser tan grandes como para afectar el rendimiento por planta.

McCall (1992) realizó una investigación similar en plántulas de jitomate en los cultivares “Matador y Blizzard”, en los cuales fueron establecidas en condiciones de luz suplementaria a densidades de flujo de fotones fotosintéticos de 30, 60 y 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para determinar el efecto de luz suplementaria sobre el crecimiento y los efectos posteriores sobre el rendimiento. Como resultado encontró que el uso de 90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ promovió mayor rendimiento y precocidad del fruto, y se inició una semana antes la cosecha, respecto a la intensidad 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Por su parte, Grimstad (1987) realizó un estudio en dos cultivares de jitomate “Abunda y Virosa”. Desde la siembra fueron sometidos a luz suplementaria (44 W m⁻²) en un invernadero de vidrio. Se manejaron 4 tratamientos, 1: testigo sin luz suplementaria; 2: luz suplementaria colocadas a 1.3 m por encima de la base de las plantas; 3: lámparas inicialmente a una altura de 1.3 m y posterior ajustado a 0.4 m por encima de la planta; 4: lámparas colocadas de manera permanente a 2.7 m de la base de la planta. Observó que con el tratamiento dos se obtuvieron incrementos en el número de frutos, rendimiento y tamaño en 21, 26 y 15 %, respectivamente; en el tratamiento tres incrementó en número de frutos y rendimiento en un 11 %; y en el tratamiento cuatro mejoró el número de frutos y contribuyó a un mayor rendimiento total en un 7 y 14 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento sin luz suplementaria, en el que incluso el tamaño del fruto disminuyó.

El peso medio del fruto se incrementó con la condición con luz suplementaria. En un estudio similar realizado por Hernández (2004) evaluó el efecto de aplicación de luz fluorescente suplementaria (0, 2, 3 lámparas), sobre variables del rendimiento en un dosel de cuatro hileras, con el cultivar “Gabriela”, despuntado a tres racimos por planta y manejado a altas densidades. Como resultado encontró que con tres lámparas el peso medio de los frutos aumentó en un 8 % y el rendimiento por planta fue 25 % mayor respecto al testigo.

4.6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir lo siguiente:

1. En los primeros 40 días después de la siembra, las plántulas con tratamientos con Paclobutrazol redujeron su altura, manifestándose mayor reducción cuando se realizaron dobles aplicaciones a los 20 y 30 días después de la siembra; con este mismo tratamiento se redujo un 20 % del área foliar respecto al testigo. En general con las aplicaciones del Paclobutrazol se redujo el área foliar y peso seco por plántula, y el diámetro del tallo se incrementó.
2. A los 60 días después de la siembra, la altura de planta fue mayor en el testigo como era de esperarse, respecto a los tratamientos con Paclobutrazol, el grosor del tallo fue similar entre los tratamientos, y el área foliar fue menor con el tratamiento de doble aplicación de paclobutrazol.
3. A los 40 días después de la siembra con la aplicación de la luz suplementaria, se manifestó mayor altura de plántula, mayor peso seco, y menor área foliar específica. Mientras que a los 60 días después de la siembra, las plántulas expresaron incrementos en altura, grosor del tallo, área foliar y peso seco.
4. La calidad de las plántulas para su trasplante a los 60 días después de la siembra, en general fue mejor con los tratamientos de Paclobutrazol, ya que tuvieron menor altura, mayor diámetro del tallo, y menor área foliar. Estas condiciones permitieron el trasplante sin problemas a los 60 días después de la

siembra, lo que abre la posibilidad de que se pueden obtener cuatro ciclos del cultivo por año y esto significa un posible incremento en el rendimiento anual y hasta mayor porcentaje en la rentabilidad económica.

5. El Paclobutrazol disminuye y retrasa temporalmente las tasas de crecimiento de tallo y hojas, lo que reduce la competencia por luz entre plántulas, favoreciendo su crecimiento sin que éstas se elonguen, lo que ayuda a realizar el trasplante con plántulas de mayor edad sin efectos posteriores.

6. Con la aplicación de luz suplementaria en el semillero durante la etapa de iniciación floral a los 20 a 40 días después de la siembra, se incrementó el número de flores en la segunda y tercera inflorescencia y en el total de flores por planta, esto sugiere que con la aplicación de luz suplementaria nocturna se incrementa la fotosíntesis del día, dejando más fotoasimilados que pueden quedar disponibles para la iniciación y formación de más flores.

7. La aplicación tardía del Paclobutrazol a los 30 días después de la siembra incrementó el rendimiento del tercer racimo. Este mismo tratamiento superó con 173 g en el rendimiento final por planta respecto al testigo.

8. Con luz suplementaria se incrementó el rendimiento del primer racimo; sin embargo, no se llegó a afectar el rendimiento final por planta.

4.7. LITERATURA CITADA

- Abdul, K. S.; Canham, A. E. and Harris, G. P. 1978. Effects of CCC on the formation and abortion of flower in the first inflorescence of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Ann. Bot.* 42: 617-625.
- Adams, M. W. 1982. Plant architecture and yield breeding. *Iowa State J. Research*, 56: 225-254.
- Adriansen, E. and Odgaard, P. 1997. Residues of paclobutrazol and uniconazole in nutrient solutions from ebb flood irrigation of pot plants. *Scientia Horticulturae*, 69: 73-83.
- Atherton, J. G. and Harris, G. P. 1986. Flowering. *In*: The Tomato Crop. Atherton, J. G. and J. Rudich (eds.). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp: 167-200.

- Aung, L. H. 1978. Temperature regulation of growth and development of tomato during ontogeny. En first international symposium on tropical tomato. *Asian vegetable research and development center. Shanhua, Taiwan, China*. pp: 79-93.
- Azcón, B. J. y Talón M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Ed. Interamericana Mc-Graw. Madrid, España. pp: 301-316.
- Balderas R., F. 2003. Uso de Cycocel y Paclobutrazol en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en doseles escaleriformes bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Barrett, J. E. and Nell, T. A. 1986. Evaluation of XE- 1019 and paclobutrazol for height control of flowering annuals. *Proc. Plant Growth Regulator Soc. Amer.* 13: 63-64.
- Berova, M. and Zlatev, Z. 2000. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Plant Growth Regulation* 30: 117-123.
- Calvert, A. 1964. the effects of air temperatura on growth off young tomato plants in natural light conditions. *Journal of Horticultural Science* 39: 194-211
- Calvert, A. 1973. Environmental responses. In: The United Kingdom Tomato Manual. Growers Books. Londres, Inglaterra. pp: 19-34.
- Cancino B., J.; Sánchez Del C., F. y Espinosa R., P. 1990. Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en hidroponía bajo invernadero. *Revista Chapingo* 73-74: 26-30.
- Charles-Edwards, D. A. D.; Doley, D. and Rimmington, G. M. 1986. Modelling plant growth and development. Academic Prees. Sydney, Australia. pp: 235.
- Contreras M., E. 2007. Efecto del ambiente de crecimiento de plántulas de jitomate sobre el número de flores y producción de fruto. Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. (Tesis Doctoral). 123 p.
- Coolbaugh, R. C. and Hamilton, R. 1976. Inhibition of *ent*-Kaurene Oxidation and Growth by α -Cyclopropyl- α -(p-methoxypenyl)-5-pyrimidine Methyl Alcohol. *Plant Physiol.* 57: 245-248.
- Davis, T. D. 1989. Triazole plant growth regulators. *Horticultural Reviews* 10: 63-105.
- Dinar, M. and Rudich, J. R. 1985. Effect of heat stress on assimilate metabolism in tomato flower buds. *Annals of Botany* 56: 249-257.
- Giovinazzo, R. and Souza, M. V. 2001. Paclobutrazol responses with processing tomato in France. *Acta Horticulturae* 542: 355-358.

- Grimstad, S. O. 1987. Supplementary lighting of early tomatoes after planting out in glass and acrylic greenhouses. *Scientia Horticulturae* 33: 189-196.
- Hernández V., B. 2004. Efecto de luz suplementaria sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en altas densidades de población. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 87 p.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant Growth Regulation* 2: 277-285.
- Hoek, I. H. S.; Ten, C. H.; Keijzer, C. J.; Schel, J. H. and Dons, H. J. M. 1993. Development of the fifth leaf is indicative for whole plant performance at low temperature in tomato. *Annals of Botany* 72: 367-374.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperatura treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *J. Hort. Sci.* 45: 19-27.
- McCall, D. 1992. Effect of supplementary lighth on tomato transplant growth and the after-effects on yield. *Scientia Horticulturae* 51: 65-70.
- Méndez G., T.; Sánchez Del C., F.; Sahagún C., J. y Contreras M., E. 2005). Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección de Este a Oeste. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 185-192.
- Morales M., A. 2008. Condición de crecimiento de plántulas de jitomate para incrementar el número de flores. Postgrado en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México (Tesis Doctoral). 110 p.
- Morgan, J. V. 1986. Chemical and enviromental control of growth during propagation of tomato plants for trasplanting. *Acta horticulturae* 190: 523-530.
- Muñoz R., M.; Altamira C., R.; Carmona M., J.; Trujillo F., J.; López C., G. y Cruz, A. A. 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura: El caso del tomate rojo. SAGDER. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo, México. 120 p.
- Peet, M. M. and Welles, G. 2005. Greenhouse tomato production. *In: Tomatoes*. E. Heuvelink (ed) CABI Publishing. Oxfordshire, UK. pp: 257-304.
- Peterson, T. A.; Reinsel, M. D. and Krizek, D. T. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill., cv Better Bush). Plant response to root restriction. I. Alteration of plant morphology. *Journal of Experimental Botany* 42: 1223-1240.
- Picken, A. J. F.; Stewart, K. and Klapwijk, D. 1986. Germination and vegetative development. The tomato crop. Atherton, J, G. and J. Rudich (Editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp: 110-166.
- Ponce O., J. 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* mill) en hidroponía. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. 96 p.

- Ponce O., J.; Sánchez Del C., F.; Contreras M., E. y Corona, S. T. 2000. Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Fitotecnia Mexicana* 23: 87-98.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51: 501-531.
- Rahman, H. U.; Khan, M. A. and Khokhar, K. M. 1989. Effect of paclobutrazol on growth and yield of tomato. *Pakistan J. Agric. Res.* 10: 49-52.
- Regalado O., M. Del C 2002. Valoración de características Morfológicas y Anatómicas de 10 cultivares de Jitomate en Hidroponía bajo Invernadero, Departamento de Fitotecnia UACH. Chapingo, Méx. 161 p.
- Resh, H. M. 2004. Cultivos Hidropónicos. Tercera Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 269.
- Sánchez Del C., F. 1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis de Doctorado. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 189 p.
- Sánchez Del C., F.; Espinoza R., P. y Escalante R., E. R. 1991. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en hidroponía bajo invernadero. Avances de Investigación. *Revista Chapingo* 78:62-68.
- 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: 2007-2014.
- Sánchez Del C., F.; Moreno P., E. Del C. and Contreras M., E. 2012. Development of alternative commercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Horticulturae* 947: 179-187.
- Sánchez Del C., F.; Moreno P., E. Del C. y Cruz A., E. L. 2009. Producción de jitomate hidropónica bajo invernadero en un sistema de dosel de forma de escalera. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15: 67-73.
- Sánchez Del C., F.; Ortiz C., J.; Mendoza C., C.; González H., V. A. y Colinas L., M. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33: 21-29.
- Sánchez Del C., F. y Ponce O., J. 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2), 89-93.
- Sánchez Del C., F. y Corona S., T. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base despunte y altas densidades. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 1: 109-114.

- Vázquez R., J. C.; Sánchez Del C., F. y Moreno P., E. Del C. 2007. Producción de jitomate en doseles Escaleriformes Bajo Invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 13: 55-62.
- Vriesenga, J. D. and Honma, S. 1974. Intercalary inflorescence in the tomato. *Journal of Heredity* 65: 128-129.
- Weston, L. A. 1988. Effect of flat cell size, transplant age, and production site on growth and yield of pepper transplants. *Hortscience* 23: 709-711.
- Wien, H. C. 1997. Transplanting: *In*: The physiology of vegetable crops. H.C. Wien Editor. CABI Publishing. Departament of Fruit and Vegetable Science, Cornel University, Ithaca, NY, USA. pp: 37-67.

5. CONCLUSIONES GENERALES

De los resultados obtenidos en los experimentos y tomando en cuenta las hipótesis y objetivos generales planteados en este trabajo de investigación se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

1. En las plántulas que fueron establecidas con volúmenes de sustrato de 250 mL en cada cavidad, con densidades de 300 y 150 plántulas/m², se obtuvieron mayor tasa de crecimiento expresándose en mayor altura, diámetro del tallo, área foliar y peso seco, y menos área foliar específica que las que crecieron en mayor densidad de población 900 plántulas/m² en volumen de sustrato de 30 mL. Lo que apoya con la hipótesis planteada en el sentido de que al manejar una menor densidad de población de plántulas en el semillero, se disminuye el efecto de competencia por luz, favoreciendo un crecimiento sin que ocurra elongación, lo que permitiría realizar el trasplante con mayor edad sin efectos posteriores. Lo que abre la posibilidad de que se pueden obtener cuatro ciclos de cultivo al año en vez de tres, y esto significa un posible incremento de un 25 % en el rendimiento anual.
2. Usando mayor volumen de sustrato por plántula se facilita un crecimiento más rápido y un funcionamiento más adecuado de la raíz dando como resultado, mayor peso seco y área foliar con mejor calidad de plántula al trasplante, sobre todo cuando se combina con una menor densidad de población de plántulas.

3. Con la aplicación de Paclobutrazol se forman plántulas con entrenudos cortos y menos área foliar lo que permite que se puedan mantener más tiempo en el semillero, y con la combinación de menor densidad de población de plántulas, se logra el mismo efecto sin consecuencias adversas posteriores al trasplante.
4. El número de flores por inflorescencia, y por planta fue igual en plantas provenientes de plántulas establecidas con un volumen 30 mL de sustrato en alta densidad de población 900 plántulas/m² trasplantadas a los 40 días después de la siembra respecto al de plántulas creciendo en 250 mL establecidas a una densidad de población de 300 y 150 plántulas/m² y trasplantadas a los 60 días después de la siembra. Es decir, que es posible trasplantar más tarde para acortar el ciclo del trasplante a cosecha a menos de tres meses sin afectar el número de flores que pueden diferenciarse.
5. Con las aplicaciones de Paclobutrazol, se disminuye temporalmente la tasa de crecimiento de tallos y hojas, pero no hay evidencia clara de que quedan más fotoasimilados para la iniciación de los primordios de inflorescencia.
6. Con la aplicación de luz suplementaria en el semillero durante la etapa de iniciación floral de los 20 a 40 días después de la siembra, se incrementó el número de flores en la segunda y tercera inflorescencia y en total de flores por planta, se obtuvo una flor más respecto a la condición sin luz.
7. El incremento del número de flores en la segunda y tercera inflorescencia no llegó a manifestarse en mayor número de frutos en estos racimos, ni por planta, por lo tanto.
8. Las investigaciones realizadas, dan elementos para determinar que, con la combinación de algunos de los tratamientos probados, se puede tener efectos en relación a la calidad de plántula al trasplante o respecto a la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias.