

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA



**EFFECTOS DE LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE
PLÁNTULAS Y NÚMERO DE FLORES POR RACIMO EN
PLANTAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.).**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

LÁZARO PORTILLO MÁRQUEZ

Bajo la dirección del Dr. Felipe Sánchez Del Castillo



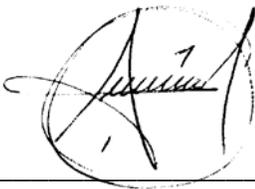
Chapingo, Estado de México, Junio de 2020

**EFFECTOS DE LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE
PLÁNTULAS Y NÚMERO DE FLORES POR RACIMO EN
PLANTAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.).**

Tesis realizada por **Lázaro Portillo Márquez**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 
Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

ASESOR: 
Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez

ASESOR: 
Dr. J. Jesús Magdaleno Villar

Chapingo, Estado de México, Junio de 2020

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------|
| ÍNDICE DE CUADROS | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| AGRADECIMIENTO | xvi |
| DATOS BIOGRÁFICOS..... | xvii |
| RESUMEN GENERAL..... | xviii |
| GENERAL ABSTRACT..... | xviii |
| I. INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 1 |
| II. OBJETIVOS GENERALES..... | 7 |
| 2.1. Hipótesis generales | 7 |
| 2.2. Hipótesis particulares | 7 |
| III. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 10 |
| 3.1. Origen del jitomate..... | 10 |
| 3.2. Descripción morfológica y botánica | 10 |
| 3.3. Importancia mundial del jitomate | 11 |
| 3.4. Importancia nacional del jitomate | 13 |
| 3.5. Producción de jitomate en agricultura protegida..... | 13 |
| 3.6. Sistema convencional de producción de jitomate..... | 14 |
| 3.7. Sistema de producción en altas densidades de población | 15 |
| 3.8. Diferenciación floral | 15 |
| 3.9. Luz suplementaria | 16 |
| IV. LITERATURA CITADA..... | 21 |
| CAPÍTULO 1. EFECTOS DE VOLUMEN DE CONTENEDOR, DENSIDAD DE PLÁNTULAS Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA EN JITOMATE..... | 27 |
| 1.1. RESUMEN..... | 27 |
| 1.2. INTRODUCCIÓN | 28 |
| 1.3. OBJETIVOS | 33 |
| 1.4. MATERIALES Y MÉTODOS | 33 |

| | | |
|--|---|----|
| 1.4.1. | Ubicación del experimento | 33 |
| 1.4.2. | Material biológico..... | 34 |
| 1.4.3. | Descripción de los tratamientos..... | 34 |
| 1.4.4. | Diseño experimental..... | 40 |
| 1.4.5. | Variables morfológicas | 40 |
| 1.4.6. | Variables de rendimiento y sus componentes | 41 |
| 1.4.7. | Conducción del experimento | 41 |
| 1.4.8. | Análisis de datos | 42 |
| 1.5. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 43 |
| 1.5.1. | Variables morfológicas | 43 |
| 1.5.2. | Rendimiento y sus componentes..... | 63 |
| 1.6. | CONCLUSIONES..... | 67 |
| 1.7. | LITERATURA CITADA | 68 |
| CAPÍTULO 2. EFECTOS DE LUZ BLANCA SUPLEMENTARIA, SOBRE ASPECTOS MORFOGENÉTICOS, CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA EN JITOMATE..... | | 71 |
| 2.1. | RESUMEN | 71 |
| 2.2. | INTRODUCCIÓN | 72 |
| 2.3. | OBJETIVOS | 77 |
| 2.4. | HIPÓTESIS | 78 |
| 2.5. | MATERIALES Y MÉTODOS | 78 |
| 2.5.1. | Ubicación del experimento..... | 78 |
| 2.5.2. | Material vegetal | 79 |
| 2.5.3. | Conducción del experimento | 79 |
| 2.5.4. | Descripción de tratamientos | 81 |
| 2.5.5. | Diseño experimental | 85 |
| 2.5.6. | Variables estudiadas en el semillero..... | 86 |
| 2.5.7. | Variables de rendimiento y sus componentes | 86 |
| 2.5.8. | Análisis de datos..... | 87 |
| 2.6. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 87 |
| 2.6.1. | Variables estudiadas en el semillero..... | 87 |
| 2.6.2. | Interpretación gráfica de las interacciones significativas a los 60 días después de la siembra..... | 92 |
| 2.6.3. | Variables relacionadas con el rendimiento y sus componentes..... | 96 |
| 2.7. | CONCLUSIONES..... | 99 |
| 2.8. | LITERATURA CITADA..... | 99 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO 3. EFECTOS DE LA CALIDAD DE LUZ SUPLEMENTARIA EN PLÁNTULAS DE JITOMATE SOBRE ASPECTOS MORFOGENÉTICOS, CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA | 103 |
| 3.1. RESUMEN | 103 |
| 3.2. INTRODUCCIÓN | 104 |
| 3.3. OBJETIVOS | 109 |
| 3.4. HIPÓTESIS | 110 |
| 3.5. MATERIALES Y MÉTODOS | 110 |
| 3.5.1. Ubicación del experimento | 110 |
| 3.5.2. Conducción del experimento | 111 |
| 3.5.3. Material biológico..... | 113 |
| 3.5.4. Descripción de tratamientos | 113 |
| 3.5.5. Diseño experimental..... | 116 |
| 3.5.6. Variables morfológicas estudiadas en el semillero..... | 116 |
| 3.5.7. Variables de rendimiento y sus componentes | 117 |
| 3.5.8. Análisis de datos | 117 |
| 3.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 117 |
| 3.6.1. Variables estudiadas en el semillero..... | 117 |
| 3.6.2. Variables de rendimiento y sus componentes | 125 |
| 3.8. CONCLUSIONES..... | 126 |
| 3.7. LITERATURA CITADA..... | 127 |
| CAPÍTULO 4. EFECTOS DE INTENSIDAD DE FLUJO FOTÓNICO FOTOSINTÉTICO E INTEGRAL DIARIA DE LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE ASPECTOS MORFOGENÉTICOS, CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA EN JITOMATE..... | 131 |
| 4.1. RESUMEN..... | 131 |
| 4.2. INTRODUCCIÓN..... | 132 |
| 4.3. OBJETIVOS | 137 |
| 4.4. HIPÓTESIS | 138 |
| 4.5. MATERIALES Y MÉTODOS | 139 |
| 4.5.1. Ubicación del experimento | 139 |
| 4.5.2. Material vegetal | 139 |
| 4.5.3. Conducción del experimento | 140 |
| 4.5.4. Descripción de tratamientos | 141 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.5.5. | Diseño experimental..... | 145 |
| 4.5.6. | Variables estudiadas en el semillero | 145 |
| 4.5.7. | Variables de rendimiento y sus componentes | 146 |
| 4.5.8. | Análisis de datos | 146 |
| 4.6. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 146 |
| 4.6.1. | Variables morfológicas medidas en el semillero..... | 146 |
| 4.6.2. | Rendimiento y sus componentes..... | 158 |
| 4.7. | CONCLUSIONES..... | 160 |
| 4.8. | LITERATURA CITADA | 161 |
| V. | CONCLUSIONES GENERALES | 165 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| Cuadro 1. Fechas de desarrollo del cultivo..... | 42 |
| Cuadro 2. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo a diferentes volúmenes de contenedor y diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 44 |
| Cuadro 3. Comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en diferentes volúmenes de contenedor, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 45 |
| Cuadro 4. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 25 ml y a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 51 |
| Cuadro 5. Comparaciones de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 25 ml a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 52 |
| Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 57 |
| Cuadro 7. Medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 58 |
| Cuadro 8. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 y 250 ml a diferentes densidades de población. | 64 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 9. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 y 250 ml a diferentes densidades de población. | 64 |
| Cuadro 10. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 ml a diferentes densidades de población. | 64 |
| Cuadro 11. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 ml a diferentes densidades de población. | 65 |
| Cuadro 12. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población. | 66 |
| Cuadro 13. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población. | 66 |
| Cuadro 14. Fechas de desarrollo del cultivo..... | 80 |
| Cuadro 15. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 88 |
| Cuadro 16. Pruebas de comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 30 días después de la siembra. | 90 |
| Cuadro 17. Medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 45 días después de la siembra..... | 91 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 18. Medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 60 días después de la siembra..... | 92 |
| Cuadro 19. Cuadrados medios y niveles de significancia de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate manejadas en semillero con contenedores de 250 ml y luz suplementaria proveniente de diferentes ubicaciones y periodos de aplicación de los 20 a los 60 días después de la siembra..... | 97 |
| Cuadro 20. Pruebas de comparación de medias de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate manejadas inicialmente en semillero con contenedores de 250 ml y luz suplementaria proveniente de diferentes ubicaciones y periodos de aplicación desde los 20 hasta los 60 días después de la siembra. | 98 |
| Cuadro 21. Fechas de desarrollo del cultivo..... | 112 |
| Cuadro 22. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes calidades de luz suplementaria, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra..... | 119 |
| Cuadro 23. Comparaciones de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes calidades de luz suplementaria, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra..... | 120 |
| Cuadro 24. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero con diferentes calidades de luz suplementaria..... | 126 |
| Cuadro 25. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero con diferentes calidades de luz suplementaria..... | 126 |
| Cuadro 26. Fechas de desarrollo del cultivo..... | 141 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 27. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético y diferente duración de aplicación medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). . | 147 |
| Cuadro 28. Pruebas de comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds)..... | 149 |
| Cuadro 29. Pruebas de comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes periodos diarios de luz suplementaria medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). | 151 |
| Cuadro 30. Cuadrados medios y niveles de significancia de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate que crecieron de los 20 a los 60 días después de la siembra con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético y diferente duración diaria de aplicación. | 159 |
| Cuadro 31. Pruebas de comparación de medias de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate que crecieron de los 20 a los 60 días después de la siembra con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético y diferente duración diaria de aplicación. | 159 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Arreglo de siembra del tratamiento 1 en charola de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones | 34 |
| Figura 2. Arreglo de siembra del tratamiento 2 en charola de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 35 |
| Figura 3. Arreglo de siembra del tratamiento 3 en charola de 200 cavidades, con luz suplementaria lateral y superior. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones..... | 35 |
| Figura 4. Arreglo de siembra del tratamiento 4 en charola de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 36 |
| Figura 5. Arreglo de siembra del tratamiento 5 en dos charolas de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 36 |
| Figura 6. Arreglo de siembra del tratamiento 6 en dos charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 37 |
| Figura 7. Arreglo de siembra del tratamiento 7 en tres charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 37 |
| Figura 8. Arreglo de siembra del tratamiento 8 con tres charolas de 60 cavidades y luz suplementaria. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 38 |

| | |
|--|----|
| Figura 9. Arreglo de siembra del tratamiento 9 con cuatro charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 38 |
| Figura 10. Arreglo de siembra del tratamiento 10 con ocho charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones. | 39 |
| Figura 11. Tendencias del crecimiento en altura de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml. | 48 |
| Figura 12. Tendencias del crecimiento del diámetro del tallo de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml. | 48 |
| Figura 13. Tendencias del crecimiento del área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml. | 49 |
| Figura 14. Tendencias del crecimiento en peso seco de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml. | 49 |
| Figura 15. Tendencias del crecimiento o decremento en razón de área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml. | 50 |
| Figura 16. Tendencias del crecimiento en altura de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad. | 54 |
| Figura 17. Tendencias del crecimiento del diámetro del tallo de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad. | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. Tendencias del crecimiento del área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad. | 55 |
| Figura 19. Tendencias del crecimiento del peso seco de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad. | 55 |
| Figura 20. Tendencias del crecimiento o decremento de la razón de área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad. | 56 |
| Figura 21. Tendencias del crecimiento en altura de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad..... | 60 |
| Figura 22. Tendencias del crecimiento del diámetro del tallo de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad. | 61 |
| Figura 23. Tendencias del crecimiento del área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad. | 61 |
| Figura 24. Tendencias del crecimiento del peso seco de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad. | 62 |
| Figura 25. Tendencias del crecimiento o decremento de la razón de área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad. | 62 |
| Figura 26. Tratamiento donde se muestran lámparas en ubicación tanto inferior como superior para iluminar completamente el dosel de arriba y abajo. | 82 |

| | |
|---|-----|
| Figura 27. Tratamiento donde se muestran lámparas en ubicación superior | 82 |
| Figura 28. Tratamiento donde se muestran lámparas en ubicación inferior para iluminar el dosel de abajo hacia arriba. | 83 |
| Figura 29. Tratamiento con aplicación de luz suplementaria diurna por 12 horas continuas. | 84 |
| Figura 30. Tratamiento con aplicación de luz suplementaria nocturna por 6 horas continuas. | 84 |
| Figura 31. Tratamiento con aplicación de luz suplementaria diurna + nocturna por 18 horas continuas | 85 |
| Figura 32. Representación gráfica de la interacción entre periodos de aplicación y ubicación de lámparas para altura de plántula a los 60 días después de la siembra. | 93 |
| Figura 33. Representación gráfica de la interacción entre periodos de aplicación y ubicación de lámparas para diámetro de tallo a los 60 días después de la siembra. | 94 |
| Figura 34. Representación gráfica de la interacción entre periodos de aplicación y ubicación de lámparas para la razón de área foliar a los 60 días después de la siembra. | 94 |
| Figura 35. Arreglo de siembra del tratamiento 1 (Testigo). Sin luz suplementaria. | 113 |
| Figura 36. Arreglo de siembra del tratamiento 2, con luz suplementaria azul. . | 114 |
| Figura 37. Arreglo de siembra del tratamiento 3, con luz suplementaria roja. . | 114 |
| Figura 38. Arreglo de siembra del tratamiento 4, con luz suplementaria blanca. | 115 |
| Figura 39. Arreglo de siembra del tratamiento 5, con luz suplementaria 50 % roja y 50 % azul. | 115 |
| Figura 40. Arreglo de siembra del tratamiento 6, con luz suplementaria 67 % roja y 33 % azul. | 116 |

| | |
|--|-----|
| Figura 41. Tendencias del crecimiento en altura de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria..... | 122 |
| Figura 42. Tendencias del crecimiento en diámetro de tallo de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria..... | 122 |
| Figura 43. Tendencias del crecimiento en área foliar de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria. | 123 |
| Figura 44. Tendencias del crecimiento en peso seco de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria. | 123 |
| Figura 45. comportamiento de la razón de área foliar en plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria. | 124 |
| Figura 46. Representación esquemática de los tratamientos de aplicación de luz suplementaria blanca con un flujo fotónico aproximado de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 20 cm de la fuente luminosa. | 143 |
| Figura 47. Representación esquemática de los tratamientos de aplicación de luz suplementaria blanca con un flujo fotónico aproximado de $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 20 cm de la fuente luminosa. | 143 |
| Figura 48. Representación esquemática de los tratamientos de aplicación de luz suplementaria blanca con un flujo fotónico aproximado de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 20 cm de la fuente luminosa. | 144 |
| Figura 49. Mediciones del flujo fotónico fotosintético con el sensor cuántico de fotones..... | 144 |

| | |
|---|-----|
| Figura 50. Cambios en la altura de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero. | 152 |
| Figura 51. Cambios en el diámetro de tallo de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero. | 152 |
| Figura 52. Cambios en el área foliar de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero. | 153 |
| Figura 53. Cambios en el peso seco de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero. | 154 |
| Figura 54. Cambios en la razón de área foliar de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero. | 154 |
| Figura 55. Representación gráfica de la interacción entre densidades de flujo fotónico fotosintético y periodos de luz suplementaria diaria para la variable altura de plántula de jitomate a los 60 días después de la siembra..... | 155 |
| Figura 56. Representación gráfica de la interacción entre densidades de flujo fotónico fotosintético y periodos de luz suplementaria diaria para la variable área foliar por plántula de jitomate a los 60 días después de la siembra. | 156 |

AGRADECIMIENTO

A **DIOS** por todas las bendiciones que me ha dado.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), por permitirme continuar con mi preparación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT), por otorgarme el apoyo económico para respaldar mis estudios durante la maestría.

Al Dr. Felipe Sánchez Del Castillo, por todo su apoyo durante la investigación con su extensa experiencia y calidad profesional, al igual por su paciencia, consejos y tiempo invertido en la revisión.

Al Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez, por todo su apoyo durante la investigación, por sus consejos, calidad profesional y tiempo invertido en la revisión.

Al Dr. J. Jesús Magdaleno Villar, por todo su apoyo durante la investigación, calidad profesional y tiempo invertido en la revisión.

A mis padres Álvaro Portillo Montiel y Reyna Márquez Hernández, por su confianza y apoyo incondicional.

A mis grandes amigos Diana Sánchez Luna, Frank Isaac Lemus Carrillo, Néstor de Jesús Meléndez, Gevri David Juárez y Idalio López Bautista, por su amistad incondicional y franqueza siempre apoyándome en todo momento.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

| | |
|---------------------|-----------------------------------|
| Nombre | Lázaro Portillo Márquez |
| Fecha de nacimiento | 03 de junio de 1995 |
| Lugar de nacimiento | Pachuca de Soto, Hidalgo, México. |
| CURP | POML950603HHGRRZ05 |
| Profesión | Agrónomo |



Desarrollo académico

Licenciatura 2013-2016: Ingeniero en Agrotecnología, Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Hidalgo, México.

Maestría 2018-2020: Maestría en Ciencias en Horticultura, Instituto en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Estado de México, México.

RESUMEN GENERAL

EFFECTOS DE LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD DE PLÁNTULAS Y NÚMERO DE FLORES POR RACIMO EN PLANTAS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.).

La necesidad de incrementar la producción agrícola en México en una situación de escasa superficie cultivable por productor, conduce a utilizar sistemas muy intensivos como es la tecnología hidropónica bajo invernadero. En México, 70% de la superficie con agricultura protegida es usada para cultivar jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). En la Universidad Autónoma Chapingo se ha desarrollado un sistema intensivo de producción de jitomate que consiste en acortar el ciclo del cultivo mediante el trasplante a los 45 días después de la siembra (dds), y un manejo de las plantas en altas densidades de población, con despunte del ápice al tercer racimo. Los objetivos de esta investigación fueron: producir plántulas con calidad para ser trasplantadas 60 dds, sin tener efectos negativos en rendimiento y calidad de frutos, así como promover más flores por inflorescencia en los tres primeros racimos. Se establecieron cuatro experimentos, en el que se evaluaron: volúmenes del contenedor (25 y 250 ml), densidades de plántulas (75 a 1000 plántulas m⁻²), y el uso de luz suplementaria en plántulas en distintas posiciones (inferior, superior y en ambas), tiempos (diurna, nocturna y combinación), calidades (luz blanca, roja y azul) e intensidades (100, 200 y 300 $\mu\text{moles/m}^2/\text{s}^1$). Cada experimento tuvo su propio diseño experimental y los resultados fueron sometidos a las pruebas estadística correspondientes. Se encontró que el mayor volumen de contenedor (250 ml), la densidad de población baja (75 a 150 plántulas/m²) y el uso de luz suplementaria, favorecieron la formación de plántulas con poca altura y área foliar con diámetro de tallo adecuado para un trasplante exitoso a los 60 dds, pero no tuvieron efecto sobre el número de flores por inflorescencia ni en el rendimiento final.

Palabras claves: densidad de población, luz led, volumen de contenedor, invernadero.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Lázaro Portillo Márquez
Director de tesis: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo.

EFFECTS OF SUPPLEMENTARY LIGHT ON PLANT QUALITY AND FLOWER NUMBER PER CLUSTER IN TOMATO PLANTS (*Solanum lycopersicum* L.)

The need to increase agricultural production in Mexico in a situation of scarce arable area per producer, leads to the use of very intensive systems such as hydroponic technology under greenhouse conditions. In Mexico, 70% of the surface under protected agriculture is used to grow tomato (*Solanum lycopersicum* L.). An intensive tomato production system has been developed at the University Chapingo, which consists in shortening the crop cycle by transplanting 45 days after sowing (das), and managing plants in high population densities, with the emergence of apex to the third cluster. The objectives of this investigation were: to produce seedlings with quality to be transplanted 60 (das), without negative effects on yield and fruit quality, as well as to promote more flowers by inflorescence in the first three clusters. Four experiments were established, in which were evaluated: container volumes (25 and 250 ml), seedling densities (75 to 1000 m⁻² seedlings), and the use of supplementary light on seedlings in different positions (lower, upper and in both), times (day, night and combination), qualities (white, red and blue light) and intensities (100, 200 and 300 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}^1$). Each experiment had its own experimental design and the results were subjected to the corresponding statistical tests. It was found that the higher container volume (250 ml), the low population density (75 to 150 seedlings/m²) and the use of supplementary light, favored seedlings with low height and leaf area with a stem diameter suitable for a successful transplant at 60, but had no effect on the number of flowers by inflorescence or on the final yield.

key words: population density, led light, container volume, greenhouse.

Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Lázaro Portillo Márquez
Director de tesis: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La necesidad de incrementar la producción agrícola en México en una situación de escasa superficie cultivable por productor, debida a topografía accidentada, falta de agua, heladas y otras limitaciones en el clima, conduce a considerar como una opción tecnológica el uso de sistemas de agricultura protegida como los invernaderos e hidroponía (Sánchez y Escalante, 1988).

Estas tecnologías, aunque requieren de una fuerte inversión en su instalación y operación, están basadas en el uso permanente de mano de obra, y si se trabajan con cultivos de alto rendimiento y valor en el mercado, permiten generar empleos bien remunerado en el medio rural, produciendo incluso en zonas donde las características del suelo y agua son limitantes para la agricultura convencional (Sánchez y Moreno, 2017).

En México los estados con mayor superficie de agricultura protegida son Sinaloa, Baja California y Jalisco, y en menor medida les siguen estados como Colima, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas, que presentan un buen ritmo de crecimiento (SIAP, 2017).

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 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 (Heuvelink y Dorais 2005; Peet y Welles, 2005). 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 lo cual contribuye a un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005).

Aunado a estos problemas el periodo de cosecha es extenso y el precio de venta en los mercados a los cuales se pueden acceder es muy fluctuante, por lo cual se ve afectado el beneficio económico para el productor.

Aprovechando la facilidad de manejo del jitomate, se han desarrollado prácticas culturales tales como podas, despuntes, tutorado y manejo de densidades de población, encaminadas a optimizar su producción en invernadero (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Sánchez, 1994). Sánchez *et al.* (2010), reportan que a través de investigación secuenciada, se han logrado desarrollar y validar comercialmente tecnologías alternativas de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero que se basan en acortar el ciclo de cultivo desde trasplante a fin de cosecha a menos de cuatro meses mediante el trasplante de plántulas a mayor edad combinando con el despunte temprano (remoción de la yema terminal) de las plantas para dejarles sólo los tres primeros racimos y una altura menor a 1 m comparado con un sistema convencional; el rendimiento por planta es mucho menor, pero por unidad de superficie se compensa parcialmente al utilizar mayor densidad de población (7 a 9 plantas/m²/ciclo), lo cual es posible debido a la menor área foliar que desarrollan las plantas despuntadas a dicha altura. De esta manera, el ciclo del cultivo de trasplante a cosecha se acorta tanto que se hace posible lograr tres o hasta cuatro ciclos de cultivo por año, y con ello obtener una productividad anual superior a la del sistema convencional (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2017).

Al reducirse el ciclo de cultivo también disminuyen los problemas fitosanitarios y se concentra la cosecha en un periodo más corto de tiempo (20 a 30 días), lo que permite programar la cosecha para ventanas de mercado cuando el precio es

alto, dándole al productor un mayor beneficio económico (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 2015).

Los rendimientos logrados en este sistema han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencialmente 500 t/ha/año), esto sin necesidad de invernaderos de alta tecnología (Sánchez *et al.*, 2012). Sin embargo, se piensa que es posible incrementarlos mucho más mediante dos estrategias; una acortando el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días para obtener cuatro ciclos por año en vez de los tres que se manejan actualmente, y otra promoviendo la formación de más flores y frutos por inflorescencia.

Si fuera posible alargar la edad de plántulas al trasplante hasta los 50 a 60 días sin efectos adversos en su crecimiento posterior y en el rendimiento final, potencialmente se podrían obtener cuatro ciclos por año en vez de tres, y el rendimiento anual sería un 25 % mayor.

La viabilidad técnica de retrasar el trasplante hasta los 60 días después de la siembra (dds) con el sistema de despuntes para dejar tres racimos por planta, ya se ha comprobado de manera experimental (López *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2014).-Se ha podido acortar el ciclo del cultivo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días manejando las plántulas en contenedores grandes con capacidad de 500 o más cm³ en los semilleros. Sin embargo, hace falta encontrar formas más prácticas y económicas, ya que a nivel comercial ha impactado negativamente el uso de mucho espacio en el semillero y un elevado costo de mano de obra para el trasplante debido a que se trabaja con altas densidades de población y plántulas con cepellones muy grandes que hacen difícil y laboriosa esta labor y que además requieren ser tutoradas desde ese momento.

Se ha estado probando a escala comercial, usar como contenedores charolas de poliestireno con 60 cavidades de 250 ml de capacidad cada una separada entre sí 5 cm (densidad de 400 plántulas/m²) y se han logrado plántulas con calidad,

hasta de 45 días de edad al trasplante, ya que a partir de esa edad la competencia por luz entre ellas se acentúa causando elongación del tallo y debilidad de las plántulas si se dejan más tiempo.

En el posgrado de horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, recientemente se ha planteado una línea de investigación que involucra la realización de una serie de experimentos secuenciados para evaluar tratamientos encaminados a detener o reducir la elongación sin sacrificar el vigor y la calidad de plántula para lograr un sistema que permita, en condiciones climáticas como las de Chapingo, trasplantes exitosos y comercialmente redituables, con plántulas de 55 a 60 días de edad. La temática que se considera necesaria abordar para esto es muy amplia y diversa, entre las que se pueden señalar las siguientes:

1. Usar diferentes retardadores de crecimiento a distintas dosis y tiempos de aplicación
2. Provocar efectos morfogenéticos, ya sea manejando calidad de luz (luz azul, luz roja de fin de día, etc.) o con tratamientos mecánicos (tigmomorfogénesis), principalmente encaminados a reducir la altura y el área foliar de las plántulas.
3. Aplicar luz suplementaria por encima o entre las hileras de plántulas para incrementar la integral diaria de intercepción o para evitar la elongación por la presión de densidad.
4. Probar menores densidades de plántulas a fin de retrasar la competencia por luz entre plántulas.
5. Hacer tratamientos con temperaturas mas bajas (parte aérea o raíz en los semilleros) para hacer mas lento el crecimiento de tallos y hojas.
6. Evaluar distintos volúmenes de sustrato para el crecimiento de la raíz y un manejo adecuado de nutrición mineral.
7. Probar el modificar condiciones de temperatura y luz después del trasplante, incluso con aportaciones de CO₂, para buscar acelerar el ciclo de trasplante a fin de cosecha.

8. Manejar dosis y fechas de aplicación exógena de precursores del etileno para acortar el periodo de cosecha.
9. Estudiar posibles efectos de interacción entre los diferentes aspectos señalados.

En este trabajo se estudian tratamientos relacionados con los numerales 2,3 y 4.

Con respecto a la estrategia de formar más flores y frutos por inflorescencia, si se pudiera aumentar en el número de frutos producidos en cada racimo sin una disminución significativa del peso medio por fruto, el rendimiento anual podría incrementarse significativamente (si se cosecharan cuatro ciclos por año con 8 plantas/m²/ciclo y con tres racimos cada una, se tendrían 96 frutos más por año, y si se considera un peso medio de fruto de 150 g, supondría un incremento adicional de casi 15 kg/m²/año o 150 t/ha/año).

Algunos antecedentes respecto a la formación de más flores por inflorescencia se señalan a continuación:

Adams (1982) muestra con ejemplos en varias especies de plantas cultivadas, que el tamaño que alcanza el meristemo apical antes de la inclinación 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 de dicho 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.*(1968), mencionan que el carácter de inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más flores por racimo que los racimos simples) y que, 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.).

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).

Dentro de la línea de investigación mencionada se plantea también realizar una serie de experimentos para encontrar tratamientos encaminados a producir más flores por inflorescencia con plantas despuntadas a tres racimos y manejadas en alta densidad. La temática abarca aspectos como:

1. Usar diferentes retardadores de crecimiento y otras sustancias a distintas dosis poco antes y al momento de la iniciación floral de cada una de las tres primeras inflorescencias.
2. Evaluar tratamientos de luz suplementaria a diferentes duraciones, intensidades y calidades buscando efectos fotosintéticos y morfogénicos favorables.
3. Probar diferentes combinaciones de alta irradiancia con temperaturas diurnas o nocturnas relativamente bajas con o sin aplicación de CO₂ suplementario.
4. Comparar el efecto de distintas temperaturas en el ambiente de la raíz.
5. Probar diferentes densidades de población combinados con diferentes volúmenes de contenedor para las plántulas.
6. Evaluar aspectos nutricionales manipulando concentraciones diferenciales de N, P y K.
7. Probar la poda de una hoja que inicia su crecimiento al momento de la iniciación floral para efectuar relaciones fuente-demanda a favor de la inflorescencia.

8. Estudiar posibles efectos de interacción entre varios de los aspectos señalados.
9. Ensayar los tratamientos más promisorios en diferentes variedades bola y saladette.

En este trabajo se realizan experimentos relacionados con los aspectos 2 y 5.

II. OBJETIVOS GENERALES

1. Producir plántulas con vigor y calidad para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra de manera practica y económica y sin efectos negativos posteriores en rendimiento y calidad de frutos.
2. Promover más flores en los tres primeros racimos de plantas de jitomate mediante tratamientos aplicados durante la etapa de iniciación floral de las tres primeras inflorescencias.

2.1. Hipótesis generales

Al aumentar el espacio entre planta, el volumen de sustrato para la raíz y la luz incidente en cada planta (con luz suplementaria) se generan condiciones favorables para disminuir la competencia de fotoasimilados y las restricciones de crecimiento para la raíz, proporcionando el desarrollo de plántulas de jitomate con mayor vigor y calidad para poder ser trasplantadas a los 50 a 60 días después de la siembra sin efectos negativos posteriores en rendimiento o calidad de frutos y también para incrementar el número de flores en las tres primeras inflorescencias.

2.2. Hipótesis particulares

1. Con un mayor espaciamiento entre plantas la radiación solar incidente se interceptará de manera más eficiente por cada planta de tal manera que se logrará una mayor velocidad de fotosíntesis y crecimiento de plántulas hasta los 50 ó 60 días después de la siembra.

2. La mayor tasa de fotosíntesis de las plántulas manejadas a las densidades más bajas, favorecerá un mayor suministro de fotoasimilados a las inflorescencias en formación durante el periodo de iniciación floral, ocasionando que un mayor número de primordios florales por inflorescencia se puedan desarrollar en flores.
3. Al añadir a la luz natural, luz suplementaria por 18 horas al día, se incrementará la integral diaria de radiación interceptada por las plantas y con ello la tasa de fotosíntesis diaria y, por lo tanto, habrá más azúcares disponibles en el periodo de iniciación y formación de las inflorescencias, favoreciendo la formación de más flores por inflorescencia.
4. La luz azul suplementaria tiene un efecto inhibitor sobre la síntesis de auxinas, lo que puede llevar a un menor crecimiento en altura de las plántulas, favoreciendo su permanencia por más tiempo en el semillero sin efectos negativos posteriores al trasplante.
5. La luz suplementaria roja, y/o su combinación con luz azul, aplicada en el tiempo de la iniciación floral, al incrementar la tasa de fotosíntesis, puede estimular la formación de más flores por inflorescencia.
6. La luz suplementaria, cualquiera que sea su calidad estimulará la fotosíntesis dando por resultado plántulas de 55 a 60 días de edad con tallos más gruesos, mayor peso seco y mayor tasa de desarrollo que las que no reciben este tipo de luz.
7. Al añadir a la luz natural, luz suplementaria con mayor intensidad de flujo fotónico fotosintético y más horas al día, se incrementa la integral diaria de radiación interceptada por las plantas y con ello la tasa de fotosíntesis diaria, favoreciendo la formación de plántulas mas vigorosas al trasplante y un mayor número de flores por inflorescencia.

El presente trabajo de investigación comprende cuatro experimentos independientes, mismos que se presentan como capítulos en el escrito de la Tesis.

Los títulos cada uno de ellos se indican a continuación:

Experimento 1: Efectos de volumen de contenedor, densidad de plántulas y luz suplementaria sobre calidad al trasplante y número de flores por inflorescencia en jitomate.

Experimento 2: Efectos de luz blanca suplementaria, sobre aspectos morfogénéticos, calidad al trasplante y número de flores por inflorescencia en jitomate.

Experimento 3: Efectos de la calidad de luz suplementaria en plántulas de jitomate sobre aspectos morfogénéticos, calidad al trasplante y número de flores por inflorescencia.

Experimento 4: Efectos de intensidad de flujo fotónico fotosintético e integral diaria de luz suplementaria sobre aspectos morfogénéticos, calidad al trasplante y número de flores por inflorescencia en jitomate.

Así, en cada capítulo se describen a manera de artículo científico, el resumen, la introducción, los objetivos, los materiales y métodos, los resultados y discusión y la literatura citada del experimento correspondiente. Al final de la tesis se presenta una discusión general y las conclusiones relacionadas con los objetivos y las hipótesis generales aquí planteadas.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Origen del jitomate

En 1753, Linnaeus nombró *Solanum lycopersicum* al tomate o jitomate.

El jitomate tiene su origen desde América central y sur, en el siglo XVI, pero inicialmente no fue considerado un alimento, hasta el siglo XVIII fue gradualmente aceptado como comestible (Heuvelink, 2018).

3.2. Descripción morfológica y botánica

Raíz

El sistema radicular del jitomate está constituido por una raíz principal, raíces secundarias y adventicias. Generalmente se extiende superficialmente sobre un diámetro de 1.5 m y alcanza más de 0.5 m de profundidad (Rendon-Poblete, 1980).

En la actualidad muchos cultivos de jitomate en invernadero están cultivados en diversos sustratos como lana de roca, perlita, tezontle o en otros sistemas hidropónicos, en donde las raíces tienden a ser más desarrolladas.

Tallo

Es erecto con un grosor que oscila entre los 2-4 cm en su base, sobre el que van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Su estructura de fuera hacia dentro consta de epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Schmitz y Therés, 1999).

En la parte superior del tallo principal se encuentra el meristemo apical, una región de división celular activa donde se inician nuevas hojas y partes de flores.

Hoja

Es compuesta e imparipinnada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y cubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo. El tejido parenquimático está cubierto por una epidermis superior e inferior. La epidermis inferior presenta un alto número de estomas. Dentro del parénquima, la zona empalizada, es rica en cloroplastos. Los haces vasculares son prominentes, sobre todo en el envés y constan de un nervio principal (Rodríguez *et al.*, 1997).

Flor

Es perfecta, regular e hipógina que consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve el gineceo. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimos, generalmente en números de 3 a 10 (Heuvelink, 2018).

Fruto

Es una baya de forma variable entre esférica y cilíndrica, la cual está constituida por el pericarpo, tejido placentario y las semillas.

3.3. Importancia mundial del jitomate

El jitomate es una de las frutas frescas y procesadas más importantes del mundo y es la segunda más importante como cultivo de hortaliza después de la papa.

La producción de jitomate es una industria global y altamente diversificada. La producción actual es de alrededor de 170 millones de toneladas, con un 75 %

para el mercado de consumo en fresco y un 25 % para el mercado de procesamiento. Se espera que continúe aumentando mediante el uso de nuevos cultivares, manejo de cultivos más preciso y tecnologías mejoradas para la producción y procesamiento (Eurofresh, 2016).

La popularidad del jitomate se relaciona con el hecho de que se pueden comer en múltiples formas, ya sean frescos o procesados. el mercado fresco tiene diferentes hábitos de crecimiento, hábito enano, cuajado y maduración uniforme, pieles resistentes y alto contenido de sólidos solubles.

Para su consumo en fresco se cultivan en sistemas a campo abierto o bajo protección (invernaderos). La calidad de la fruta se promueve mediante podas que favorezcan el tamaño del fruto, o evitando el contacto del fruto con el suelo. La cosecha se realiza a mano, el mercado es grande para este tipo de producto.

Debido a su hábito de crecimiento el procesamiento de jitomate no requiere enrejado y la cosecha individual se realiza mecánicamente.

Los países con mayor producción de tomate durante el año 2017 según (FAOSTAT), fueron China, India, Turquía con 59,514,773; 20,708,000 y 12,750,000 toneladas respectivamente. México ocupó el noveno lugar con una producción de 4,243,058 toneladas durante ese año.

México es el principal proveedor a nivel mundial de jitomate con una participación en el mercado internacional de 25.11 % del valor de las exportaciones mundiales. A pesar de que durante el periodo 2003-2016 se experimentó una reducción de la superficie sembrada, presentó un crecimiento acumulado en la producción (54.25%) y en las exportaciones en fresco (77.87%), convirtiéndolo en uno de los cultivos con mayor incremento en la productividad, logrando sumar un 3.46 % al PIB agrícola nacional.

3.4. Importancia nacional del jitomate

México es líder mundial en exportaciones de jitomate (Flores, 2015).

En México, la producción de tomate rojo creció a una tasa promedio anual de 3.6 por ciento entre 2007 y 2017, para ubicarse en un máximo histórico de 3.47 millones de toneladas. En ese periodo, la superficie cultivada en campo abierto se redujo a una tasa promedio anual de 5.9 por ciento, al pasar de 64,663 a 35,175 hectáreas, mientras que la superficie establecida con agricultura protegida (malla sombra e invernadero) pasó de 1,973 a 15,198 hectáreas, es decir, creció a una tasa promedio anual de 22.7 por ciento. Así, la producción obtenida con el uso de estas últimas tecnologías pasó de 0.9 % del total en 2003 a 32.2 % en 2010, y hasta 63.3 % del volumen total en el 2017 (FIRA, 2017)

En el 2018, el tomate rojo fue el segundo producto más importante en cuanto a las exportaciones agropecuarias mexicanas, con una participación de 12.8 %. Durante la última década, las exportaciones mexicanas de tomate crecieron a una tasa promedio anual de 4.7 % de las ventas de tomate mexicano que se exportó a Estados Unidos. En ese año, México abasteció 91.1 % de las compras estadounidenses (FIRA, 2019).

En el mercado internacional, durante el 2016 el jitomate mexicano cubrió 90.67 % de las importaciones de Estados Unidos y 65.31 % de Canadá (SAGARPA, 2017).

3.5. Producción de jitomate en agricultura protegida

La agricultura protegida en México ha crecido de forma muy importante en los últimos años. De los productores en invernadero que son alrededor de 40,000, sólo 2.5 % tiene más de una hectárea de superficie, pero reúnen más del 50 % de las superficies con esta tecnología, y su producción se orienta a mercados de exportación. Pero la gran mayoría de las empresas de invernadero en México es

de pequeños y medianos productores (Ponce *et al.*, 2014; Sánchez y Moreno, 2017).

Alrededor del 70% de la superficie con agricultura protegida se cultiva con jitomate y 25% más con pepino y chile pimiento (Sánchez *et al.*, 2017).

El área de invernaderos de jitomate en México fue estimada en aproximadamente 15,000 ha en el 2015. El sector tiene el soporte tecnológico de diferentes socios extranjeros, incluidos holandeses, españoles, canadienses e israelitas; la producción en invernadero y malla sombra se concentran en los estados de Sinaloa, Baja California y Jalisco (USDA, 2016).

Los rendimientos de invernadero/casa sombra generalmente oscilan entre 150 t/ha a 200 t/ha, dependiendo de la tecnología utilizada (Flores, 2015).

3.6. Sistema convencional de producción de jitomate

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 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 (Heuvelink y Dorais 2005; Peet y Welles, 2005). 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 lo cual contribuye a un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005).

3.7. 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.

3.8. Diferenciación floral

La floración de la primera inflorescencia del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un proceso que ocurre en un periodo que abarca desde los 20 hasta los 50 días después de la siembra (Contreras et al., 2013).

La diferenciación floral de (*Solanum lycopersicum L.*) ocurre en el meristemo apical y el cambio de condición vegetativa a reproductiva se da cuando la planta tiene de cuatro a cinco hojas bien formadas y dos o tres primordios de hoja (Contreras *et al.*, 2013).

La formación de la flor de tomate tiene su inicio desde que en el meristemo en diferenciación se separa una protuberancia y comienza a formar el primer primordio de sépalo y finaliza cuando la flor madura al llegar el estado de antesis. Posteriormente se fertiliza y de ahí en adelante su condición cambia a fruto (Contreras *et al.*, 2013).

3.9. Luz suplementaria

La luz además de ser una fuente indispensable de energía para la fotosíntesis de la planta, es también un factor importante para su crecimiento y desarrollo (Ding *et al.*, 2010; Pardo *et al.*; 2015).

La luz tiene dos funciones importantes en el crecimiento de las plantas: como fuente de energía para la fotosíntesis, y como un estímulo para el control del crecimiento de las plantas, como también para regular el momento de floración o la morfogénesis (Higuchi *et al.*, 2012).

La percepción de luz permite a los seres vivos adaptarse a los cambios en la iluminación, e influye considerablemente en el control de la morfogénesis, la fotosíntesis y la prevención de daños causados por las radiaciones nocivas (Anders y Essen, 2015).

Las longitudes de onda importantes en fotobiología son el ultravioleta, la luz visible y la infrarroja. Las longitudes de onda entre 300 y 900 nm son capaces de afectar el crecimiento y el desarrollo de los vegetales. Sin embargo, no solamente

la calidad de luz puede influir en los procesos de crecimiento de las plantas, también hay otros aspectos como su intensidad y duración (Casierra y Peña, 2015).

Las especies vegetales tiene la capacidad de responder de diversas formas a la calidad de luz es decir, el color o longitud de onda, a su intensidad como lo es la densidad del flujo fotónico o irradiancia. Estos aspectos son de gran relevancia en los cultivos y ecosistemas vegetales, debido a que las plantas absorben ciertos rangos de la radiación incidente (Nguy-Robertson *et al.*, 2015).

Se ha demostrado que la eficiencia del uso de la luz aumenta en condiciones de luz difusa en relación con la radiación incidente (Schwalm *et al.*, 2006, Nguy-Robertson *et al.*, 2015).

Las plantas poseen diferentes tipos de fotorreceptores que les son de muy útiles para la captación de luz y les facilita el control de todos los procesos involucrados en el desarrollo y la conservación de la homeostasis (Štroch *et al.*, 2015).

Las clorofilas absorben la radiación en las franjas del azul y el rojo, mientras que los carotenos capturan los colores verde y amarillo. La acción conjunta de estos pigmentos en cuanto a los rangos de absorción induce en las respuestas fotomorfogénicas de las plantas (Esteban *et al.*, 2015).

El crecimiento y desarrollo de un vegetal están asociados, entre otros factores, por la intensidad y la calidad de luz captada por los órganos que realizan la fotosíntesis. Cuando se generan cambios en la calidad o en la intensidad de la radiación incidente, se producen modificaciones en la planta que afectan su anatomía y fisiología, así como su crecimiento y desarrollo, fuertemente correlacionados por la calidad de la luz, es decir del color o la longitud de onda que llega a la superficie de las hojas (Takahashi *et al.*, 2012; Posada y Olmos, 2015).

Las modificaciones del ambiente lumínico en el cual la planta lleva a cabo su crecimiento y desarrollo, induce en el vegetal varias respuestas morfogénicas que por un lado contrarrestan las condiciones adversas y por otro, promueven respuestas fisiológicas que mejoran su funcionamiento y aumentan la cantidad y calidad del producto cosechado (Cope y Bugbee, 2013; Posada y Olmos, 2015).

El uso de luz LED afecta de manera diferenciada el metabolismo de las plantas y puede originar cambios en la acumulación de azúcares en las hojas (Posada y Olmos, 2015).

La luz blanca combinada con luz roja y luz azul puede ser una buena estrategia de manejo para muchos cultivos en ambientes controlados, como en el caso de los cultivos bajo invernadero o en cultivos *in vitro* (Lin *et al.*, 2013).

Posada y Olmos (2015), evaluaron el efecto de la luz sobre el peso seco total de la planta. Las plantas de diversos cultivos de interés agrícola presentan diferencias significativas en la producción de biomasa cuando son afectadas por la calidad de la luz. Las longitudes de onda entre 400 y 550 nm, que corresponden al rango azul-verde, han inducido una disminución en el peso seco total de la planta.

Xiaoying *et al.* (2012) encontraron que la luz de color azul aumentaba el peso seco total de la planta en tomates cherry. La fotosíntesis y el crecimiento de estas plantas de tomate bajo la influencia de la luz azul, fue superior en comparación con las plantas de control.

La aplicación de luz LED para la iluminación y determinación del crecimiento de las plantas se ha estudiado durante de más de dos décadas (Bula *et al.*, 1991; Cope y Bugbee, 2013). Los estudios iniciales incluyeron sólo LED rojos porque eran los más eficientes y emitían luz que coincide con la absorción máxima de

clorofila (660 nm). Sin embargo, se hizo evidente que era necesario implementar algo de luz azul para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas.

Se ha verificado que el incorporar luz a un sistema, se convierte en un factor importante para mejora de productividad del ecosistema, de igual manera el uso de luces LED afecta de manera diferenciada el metabolismo de las plantas y llega a originar cambios en la acumulación de azúcares en las hojas.

El uso de luz led para la iluminación fotosintética, es de interés comercial porque los sistemas de estanterías de alta densidad podrían permitir el cultivo en múltiples niveles, lo que puede aumentar la eficiencia del uso del suelo (Watanabe, 2011).

Está bien documentado que la calidad de la luz afecta el crecimiento y la morfogénesis de las plantas, la producción en invernadero requiere de iluminación artificial extensamente durante periodos con malas condiciones de luz natural (Smith, 1982; Mortensen y Strømme 1987).

La fisiología de las plantas y su desarrollo están fuertemente influenciadas por el espectro de luz en su entorno de crecimiento. La calidad de la luz regula desde la germinación hasta la inducción de flores y desarrollo de frutos.

Las longitudes de onda entre 300 y 900 nm son capaces de afectar el crecimiento y el desarrollo de los vegetales.

La radiación ultravioleta (UV) que llega a la estratósfera de nuestro planeta se divide en tres bandas: ultravioleta-A (320-400 nm), ultravioleta-B (280-320 nm) y ultravioleta-C (200-280 nm) (Karentz *et al.*, 199).

Las plantas poseen mecanismos fotoselectivos sofisticados para capturar energía lumínica, necesaria para la fotosíntesis (Jiao *et al.*, 2007).

Los cambios de calidad de la luz afectan considerablemente muchos parámetros anatómicos, fisiológicos, morfológicos y bioquímicos en las plantas (Haliapas *et al.*, 2008).

El efecto de la calidad de la luz ha sido motivo de investigación, con el objetivo de obtener beneficios del efecto fotomorfogénico inducido en los vegetales por las diferentes longitudes de onda de la luz incidente (Shahak *et al.*, 2008).

La tasa de crecimiento, el desarrollo de órganos vegetativos y reproductivos, la biomasa total y la distribución de fotoasimilados, son algunas características afectadas en las plantas por la calidad de luz (Bradburne *et al.*, 1989).

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) captada por una planta determina directamente la producción de fotosintatos, influyendo sobre el crecimiento, la productividad y la calidad de fruta (Ferree, 1980), la cual está comprendida en el rango 400-700nm de longitud de onda.

IV. LITERATURA CITADA

- Acquaah, G .M, W. Adams, and J. D. Kelly. 1991. Identification of effective indicators of erect plant architecture in dry Bean. *Crop Sci.* 31: 261-265.
- Adams, M. W. 1982. Plant development and crop productivity. *In: Rechcigl, M. (ed). CRC handbook of agricultural Productivity 1: 151-183.*
- Anders, K., Essen, L. O. 2015. The family of phytochrome-like photoreceptors: Diverse, complex and multi-colored, but very useful. *Current Opinion in Structural Biology* 35: 7-16.
- 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.*
- Bastida, T. A. 2017. Evolución y situación actual de la agricultura protegida en México. Universidad Autónoma Chapingo. Sexto congreso internacional de investigación en ciencias básicas y agronómicas. pp: 281- 292.
- Barrett, D. 2015. Future innovations in tomato processing. *Acta Horticulturae* 1081: 49-56.
- Bradburne, J. A.; Kasperbauer, M. J.; Mathis, J. N. 1989. Reflected Far-Red light effects on chlorophyll and light-harvesting chlorophyll protein (LHCII) contents under field conditions. *Plant Physiol.* 91(3): 800-803.
- Bula, R. J., R. C. Morrow, T. W. Tibbits, D. J. Barta, R.W. Ignatius and T. S. Martin. 1991. Light emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26: 203-205.
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of 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. 1991. Efectos del Despunte y la Densidad de Población sobre Dos Variedades de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en Hidroponia bajo Invernadero. *Revista Chapingo* 73-74: 26-30.
- Casierra-Posada, F., y Peña-Olmos, J. E. (2015). Modificaciones fotomorfogénicas inducidas por la calidad de la luz en plantas cultivadas. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales* 39: 84-92.

- Contreras, M., E.; Arroyo P., H.; Ayala A., J.; Sánchez Del C., F. y Moreno P., E. del C. 2013. Caracterización morfológica de la diferenciación floral en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 19: 59-70.
- Cope, K. R., and Bugbee, B. 2013. Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: Absolute versus relative amounts of blue light. HortScience 48 (4): 504-509.
- Ding, Y.; S. He, J.A. Teixeira da Silva, G. Li, y M. Tanaka, 2010. "Effects of a new light source (cold cathode fluorescent lamps) on the growth of tree peony plantlets in vitro". Scientia Horticulturae 125: 167-169.
- Esteban, R., Morán, J.F., Becerril, J.M., García-Plazaola, J. I. 2015. Versatility of carotenoids: An integrated view on diversity, evolution, functional roles and environmental interactions. Environmental and Experimental Botany 119: 63-75.
- Eurofresh Distribution (2016) Around the world: tomatoes. News September 2016. Available at: <https://www.eurofresh-distribution.com/news/around-world-tomatoes> (accessed March 2020).
- FAOSTAT. 2017. Food and agriculture data. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (accessed March 2020).
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama agroalimentario Tomate rojo. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310> (consultado en Marzo 2020).
- Ferree, D.C. (1980). Canopy Development and Yield Efficiency of Golden Delicious Apple Trees in Four Orchard Management Systems. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(3): 376-380.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2019. Panorama agroalimentario Tomate rojo. Disponible en: <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019.pdf> (consultado en Marzo 2020).
- Flores, D. (2015) México Tomato Annual. Disponible en: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Tomato%20Annual_Mexico%20City_Mexico_6-8-2015.pdf (consultado en Marzo 2020).
- Gardner, F. P., Pearce R. B., Mitchell R. L. (1985). Physiology of crop plants. Iowa State University Press. Ames. 327 p.

- Haliapas, S.; Yupsanis, T.A.; Syros, T.D.; Kofidis, G.; Economou, A.S. 2008. *Petunia x hybrida* during transition to flowering as affected by light intensity and quality treatments. *Acta Physiol. Plant.* 30: 807-815.
- Heuvelink, E. 2018. History of tomato breeding. *In: Heuvelink, E. (ed). Tomatoes 2nd Edition* Publishing Co. Wageningen, The Netherlands. pp: 38-39.
- Heuvelink, E. and Dorais, M. 2005. Plant growth and yield. *In: Heuvelink, E. (ed). Tomatoes.* CABI. Publishing Co. Wageningen, The Netherlands. pp: 85-144.
- Higuchi, Y., Sumitomo, K., Oda, A., Shimizu, H., and Hisamatsu, T. 2012. Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering. *Journal of Plant Physiology* 169: 1789-1796.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant growth Regulation* 2: 277-285.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *Journal of horticultural Science* 45: 19-27.
- Jiao, Y.; Lau, O.S.; Deng, X.W. 2007. Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nat. Rev. Genet.* 8: 217-230.
- Karentz D., MacIntyre S., Matlick H. A., Menzies D., Ondrusek M., Wan Z., Waters K. J. 1992. Ozone depletion: ultraviolet radiation and phytoplankton biology in Antarctic waters. *Science* 255: 952–959.
- Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W., Yang, C. M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Capitata). *Scientia Horticulturae* 150: 86-91.
- López, V. M.; Sánchez, Del C. F. y Contreras, M. E. 2002. Efecto del Cycocel y B-nueve sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos y altas densidades. *Revista Chapingo: Serie Horticultura* 8(2): 161-170.
- Méndez, G. T.; Sánchez, Del C. F.; Sahagún, C. J.; Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo, Serie horticultura* 11(1): 185-192.
- Mortensen, L. M. and Strømme, E. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* 33: 27-36.

- Nguy-Robertson, A., Suyker, A., Xiangming X. 2015. Modeling gross primary production of maize and soybean croplands using light quality, temperature, water stress, and phenology. *Agricultural and Forest Meteorology* 213: 160-172.
- Pardo, P., G.; Aguilar, H., C.; Martínez, R., F.; Pacheco, D., A.; Ortiz, M., E.; González, M., L. 2015. Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica* 40: 199-212.
- Peet, M. M. and Welles, G. 2005. Greenhouse tomato production, in *Tomatoes*, ed Heuvelink E. (Wallingford, UK: CABI. pp: 257-304.
- Picken, A. J. F.; Stewart, K. and Klapwijk. D. 1986. Germination and vegetative development. *In: The tomato crop*. Atherton, J. G. and J. Rudich (eds). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 110-166.
- Ponce, P.; Molina, A.; Cepeda, P.; Lugo, E. and MacCleery, B. 2014. *Greenhouse Design and Control*. CRC Press, Taylor and Francis Group Boca Raton London UK. ISBN: 9781138026292. Pp:354.
- Pressman, E., Huberman, M., Aloni, B. and Jaffe, M. J. 1983. Thigmomorphogenesis: the effect of mechanical perturbation and ethrel on stem pithiness in tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) plants. *Ann. Bot.* 52: 93-100.
- SAGARPA. 2017. Planeación agrícola nacional. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257077/Potencial-Jitomate.pdf> (consultado en Febrero 2020).
- 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 Ponce, O. J., 1998. Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4(2): 89-94.
- Sánchez, Del C. F. y E. Escalante R., 1988. *Hidroponía: un sistema de producción*. UACH. Chapingo, México (tercera edición).
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E.; Coatzín, R. R. Colinas, L. M. T. Peña, L. M. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 207-214.
- Sánchez, Del C. F. y Corona, S. T. 1994. Evaluación de Cuatro Variedades de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un Sistema Hidropónico de Producción a

- Base de Despunte y Altas Densidades. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 1(2): 109-114.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Pastor, Z. O.; Contreras M. E. 2017a. Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3): 333-340.
- Sánchez, Del Castillo, F.; Moreno Pérez E. Del C.; Vázquez Rodríguez, J. C.; González Núñez, M. A. 2017b. Densidades de población y niveles de despunte para variedades contrastantes de jitomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 23(3): 163-174.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., Magdaleno, V. J., Pineda, P. J., Martínez, D. T. y Vázquez R. J. C. 2015. Validación comercial de un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 26 p.
- Sánchez, Del Castillo, F.; Moreno Pérez, E. del C.; Pineda Pineda, J.; Osuna Rodríguez, J. M.; Rodríguez Pérez, J. E.; Osuna Encino, T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia* 48(2): 185-197.
- Sánchez, Del C. F., Moreno P. C., Contreras M. E. 2012. Development of alternative commercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Horticulturae* 947: 179-187.
- Sánchez, del C. F; Bastida A. O.; Moreno, P. E.; Contreras, M. E. y Sahagun, C. J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20 (3): 48-59.
- 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.
- Schmitz, G. and Theres, K. (1999) Genetic control of branching in Arabidopsis and tomato. *Current Opinion in Plant Biology* pp: 51-55.
- Schwalm, C. R., T. A. Black, B. D. Amiro. 2006. Photosynthetic light use efficiency of three biomes across an east–west continental-scale transect in Canada. *Agricultural and Forest Meteorology* 140: 269-286.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2017. Atlas Agroalimentario. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/videos/atlas-agroalimentario-2017-133699?idiom=es> (Consultado en Febrero 2020).
- Shahak, Y.; Gal, E.; Offir, Y.; Ben-yakir, D. 2008. Photosensitive Shade Netting Integrated with Greenhouse Technologies for Improved Performance of Vegetable and Ornamental Crops. *Acta Hort.* 797: 75-80.

- Smith, H., 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annu. Rev. Plant Physiology* 33: 481-518.
- Štroch, M., Materová, Z., Vrábl, D., Karlický, V., Šigut, L., Nezval, J., Špunda, V. 2015. Protective effect of UV-A radiation during acclimation of the photosynthetic apparatus to UV-B treatment. *Plant Physiology and Biochemistry*. 96: 90-96.
- Rendon-Poblete, E. 1980. Effect of soil water status on yield, quality and root development of several tomato genotypes. PhD dissertation, University of California, Davis, California.
- Rodríguez, R. R., Tabares, R. J. M. y Medina, S. J. J. A. 1997. Cultivo moderno del tomate. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 15, 23.
- Takahashi S., Badger M. R. 2012. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends Plant Sci*. 16: 53-60.
- USDA. 2016. Mexico Continues to Expand Greenhouse Tomato Production. Available at: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Tomato%20Annual_Mexico%20City_Mexico_6-1-2016.pdf (accessed March 2020).
- 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.
- Watanabe, H. 2011. Light-controlled plant cultivation system in Japan-Development of vegetable factory using LEDs as a light source for plants. *Acta Hort*. 907: 37-44.
- Xiaoying, L., Shirong G., Taotao C. Zhigang X., and Tezuka T. 2012. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology* 11: 6169-6177.

CAPÍTULO 1. EFECTOS DE VOLUMEN DE CONTENEDOR, DENSIDAD DE PLÁNTULAS Y LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA EN JITOMATE.

1.1. RESUMEN

En la Universidad Autónoma Chapingo se ha desarrollado un sistema de producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), que consiste en hacer el trasplante a los 45 días después de la siembra (dds), y manejo de las plantas en altas densidades de población con despunte del ápice al tercer racimo. El periodo de trasplante a fin de cosecha dura sólo cuatro meses, lo que permite obtener tres ciclos de cultivo al año, con rendimientos de 16 kg/m² de invernadero por ciclo, potencial de 500 t ha⁻¹ año⁻¹. Se piensa que es posible incrementar este rendimiento mediante dos estrategias: a) acortando el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días para obtener cuatro ciclos de cultivo por año, lo que daría un 25 % más de rendimiento anual, esto mediante el trasplante a los 60 dds, y b) promoviendo un mayor número de flores y frutos por inflorescencia sin disminución del peso medio por fruto, esto posiblemente con el manejo de baja densidad de plántulas y uso de luz suplementaria para la formación de más azúcares en el momento en que ocurre la diferenciación en primordios florales de las primeras inflorescencias. El objetivo fue evaluar el efecto del volumen de contenedor, densidad de plántulas y uso de luz led suplementaria en fase de semillero, sobre la calidad de plántula a los 60 dds y en la promoción de más flores y frutos de plantas de jitomate despuntadas al tercer racimo. Se utilizó el híbrido Bullseye de Jitomate tipo saladette, de crecimiento semideterminado. Se probaron diez tratamientos que combinaban densidades de plántulas y volumen de contenedor (1000, 750, 500, 500 + luz suplementaria y 250 plantas/m² creciendo en charolas con volumen de 25 ml por cavidad, y densidades de 300, 200, 200 + luz suplementaria, 150 y 75 plántulas/m² en charolas con volumen de 250 ml). El diseño fue bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. La luz suplementaria se suministró con lámparas LED de color blanco a 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de flujo fotónico fotosintético por 18 horas al día. En plántula se evaluó altura, diámetro de tallo, área foliar, peso seco y razón de área foliar. Posteriormente se evaluó el número de flores y frutos por planta, peso medio de fruto y rendimiento. Se hizo análisis de varianza y comparaciones de medias (Tukey, $P \leq 0.05$). La mejor calidad de plántula para el trasplante a los 60 días después de la siembra se obtuvo en contenedores de 250 ml de capacidad a una densidad de 75 plántulas/m². El volumen de contenedor, la densidad de población y la luz led suplementaria no influyeron en la formación de más flores y frutos por planta. Se concluye que con contenedores de 250 ml de volumen es posible lograr un ciclo de cultivo en menos de 90 días sin efectos en el rendimiento.

Palabras claves: *Solanum lycopersicum*, densidad de población, volumen de cavidad.

1.2. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de la agricultura, se han creado tecnologías que permiten incrementos muy importantes en los rendimientos de los cultivos. Particularmente el uso correcto de invernaderos ha dado por resultado un aumento de la productividad de casi cualquier cultivo y existen casos en los que se supera más de diez veces la producción respecto al mismo cultivo en campo abierto (Arreguín *et al.*, 2015).

En México, la producción de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) creció a una tasa promedio anual de 3.6 % entre 2007 y 2017, para ubicarse en un máximo histórico de 3.47 millones de toneladas. En ese mismo periodo, la superficie cultivada en campo abierto se redujo a una tasa promedio anual de 5.9 %, al pasar de 64,663 a 35,175 hectáreas, mientras que la superficie establecida con agricultura protegida (malla sombra e invernadero) pasó de 1,973 a 15,198 hectáreas, es decir, creció a una tasa promedio anual de 22.7 %. Así, la producción obtenida con el uso de estas últimas tecnologías pasó de 0.9 % del total en 2003 a 32.2 % en 2010, y hasta 63.3 % del volumen total en el 2017 (FIRA, 2017).

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 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 (Heuvelink y Dorais, 2005). 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 lo cual contribuye a un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2012). Aunado a estos problemas el periodo de cosecha es extenso y el precio de venta en los mercados a los cuales se pueden acceder es muy fluctuante, por lo cual se ve afectado el beneficio económico del productor.

Aprovechando la facilidad de manejo de esta especie, se han desarrollado prácticas culturales tales como podas, despuntes, tutoro y manejo de densidades de población, encaminadas a optimizar su producción en invernadero (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 2012). Sánchez *et al.* (2010), reportan que a través de investigación secuenciada, se han logrado desarrollar y validar comercialmente tecnologías alternativas de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero que se basan en acortar el ciclo de cultivo desde trasplante a fin de cosecha a menos de cuatro meses mediante el trasplante de plántulas a mayor edad combinando con el despunte temprano (remoción de la yema terminal) de las plantas para dejarles sólo los tres primeros racimos y una altura menor a 1 m. Comparado con un sistema convencional, el rendimiento por planta es mucho menor, pero por unidad de superficie se compensa parcialmente al utilizar mayor densidad de población (7 a 9 plantas/m²/ciclo), lo cual es posible debido a la menor área foliar que desarrollan las plantas despuntadas a dicha altura. De esta manera, el ciclo del cultivo de trasplante a cosecha se acorta tanto que se hace posible lograr tres o hasta cuatro ciclos de cultivo por año, y con ello obtener una productividad anual superior a la del sistema convencional (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2017).

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

Los rendimientos logrados en este sistema han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencial de 500 t/ha/año), esto sin necesidad de invernaderos de alta tecnología (Sánchez *et al.*, 2012). Sin embargo, se piensa que es posible incrementarlos mucho más mediante dos estrategias; una acortando el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días para obtener cuatro ciclos por año en vez de los tres que se manejan actualmente, y otra promoviendo la formación de mas flores y frutos por inflorescencia.

Si fuera posible alargar la edad de plántulas al trasplante hasta los 50 a 60 días sin efectos adversos en su crecimiento posterior y en el rendimiento final, potencialmente se podrían obtener cuatro ciclos por año en vez de tres, y el rendimiento anual sería un 25 % mayor.

La viabilidad técnica de retrasar el trasplante hasta los 60 días después de la siembra (dds) con el sistema de despuntes para dejar tres racimos por planta, ya se ha comprobado de manera experimental (López *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2014), e incluso ya se ha validado comercialmente con empresas productoras (Complejo Agrícola de Morelos, Industria Agropecuaria Junco, Rancho Cartujano, Hidroponía Tepetlaoxtoc). Se ha podido acortar el ciclo del cultivo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días manejando las plántulas en contenedores grandes con capacidad de 500 o más cm³ en los semilleros. Sin embargo, hace falta encontrar formas más prácticas y económicas, ya que a nivel comercial ha impactado negativamente el uso de mucho espacio en el semillero y un elevado costo de mano de obra para el trasplante debido a que se trabaja con altas densidades de población y plántulas con cepellones muy grandes que hacen difícil y laboriosa esta actividad.

Con respecto a la estrategia de formar más flores y frutos por inflorescencia, si se pudiera aumentar en el número de frutos producidos en cada racimo sin una disminución del peso medio por fruto, el rendimiento anual podría incrementarse significativamente (si se cosecharan cuatro ciclos por año con 8 plantas/m²/ciclo

y con tres racimos cada una, se tendrían 96 frutos más por año, y si se considera un peso medio de fruto de 150 g, supondría un incremento adicional de casi 15 kg/m²/año o 150 t/ha/año).

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 de dicho 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.* (1968), mencionan que el carácter de inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más flores por racimo que los racimos simples) 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.).

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).

Un mayor espaciamiento entre plántulas aunado a un mayor volumen de sustrato en cada plántula, permitirá mantener durante más tiempo a las plántulas en el semillero con menos efectos de competencia por luz o restricciones en el crecimiento de la raíz que afecten negativamente el crecimiento y desarrollo después del trasplante (Contreras, 2007).

La utilización del espacio disponible y el tiempo de ocupación del semillero son factores importantes en la eficiencia de la producción, por lo que la alternativa más frecuente es aumentar la cantidad de plantas por unidad de superficie, teniendo la utilización de bandejas con mayor número de cavidades y, por lo tanto, de menor tamaño individual (Dufault y Waters, 1985; Vavrina, 1996).

Estas condiciones de cultivo pueden generar mayor competencia entre las plantas que se encuentran creciendo a altas densidades, con una tendencia a desarrollarse en altura y producir plantas etioladas que resultan más débiles a la manipulación durante el trasplante y más susceptibles a daños mecánicos o a altos niveles de estrés (Ruff *et al.*, 1987; Wien, 1997).

Leskovar *et al.* (1991) consideran que, en tomate, las condiciones de la plántula al trasplante son influidas, entre otros factores, por el tamaño de contenedor en que ha sido producido y por su edad al momento de trasplante.

El tamaño de las cavidades y la densidad de población para manejar las plántulas en semillero influyen en su vigor, crecimiento y desarrollo (NeSmith y Duval, 1998; Sánchez *et al.*, 2012).

Ruff *et al.* (1987), mencionan que al trasplantar plántulas de jitomate a los 17 dds a contenedores de 450 y 1500 cm³ y colocando dos plántulas por cada maceta, se afectan en forma diferencial y significativamente a favor de las plántulas ubicadas en el contenedor de mayor volumen variables como altura de planta, número de nudos, área foliar, peso seco y relación peso seco de raíz/peso seco de tallo; también se altera el periodo para llegar a antesis y el peso fresco de fruto, lo cual es atribuido a que en el espacio restringido en el que crecen las raíces en los contenedores pequeños, la cantidad de agua y nutrientes que éstas envían a la parte aérea, es disminuida considerablemente.

El incremento en el volumen de la cavidad genera aumento en el crecimiento de las raíces, brotes apicales, acumulación de biomasa, tasa de fotosíntesis, contenido de clorofila en las hojas, absorción de nutrimentos, respiración y rendimiento de las plántulas (Cantliffe, 1993; Sánchez *et al.*, 2012).

Cooper *et al.* (2002) señalan que al aumentar el volumen de la cavidad se incrementa la precocidad en la floración y en la cosecha.

1.3. OBJETIVOS

1. Evaluar los efectos del volumen de contenedor, la densidad de plántulas y el uso de luz suplementaria en el semillero sobre indicadores del vigor y calidad, de plántulas a los 60 días después de la siembra.
2. Estudiar los efectos del volumen de contenedor, la densidad de plántulas y la luz suplementaria en el semillero sobre la promoción de más flores y frutos en los tres primeros racimos de cada planta y en el rendimiento final por planta.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Ubicación del experimento

La fase de semillero como el resto de la investigación se llevó a cabo en condiciones de invernadero, el cual se encuentra en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a una latitud de 19°29'35.3" N, longitud 98°52'21.1"W y altitud de 2250 m.

El invernadero utilizado en fase de semillero fue de tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico, de alta dispersión de luz y una superficie de 300 m². El control de las condiciones ambientales se logró 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) sistema de calefacción con un calefactor automático de gas a base de combustión directa, el cual ayudó a

controlar temperaturas bajas y altas humedades relativas; 3) sistema de muro húmedo y extractores que permitieron controlar ciertos niveles de temperatura y humedad relativa. El manejo después del trasplante se llevó a cabo en un invernadero con características similares con una superficie cubierta de 500 m², pero no contaba con 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 de 10 a 16 °C.

1.4.2. Material biológico

Se utilizó un híbrido de jitomate tipo saladette “Bulls eye”. Este híbrido es de la empresa Seminis®, son plantas determinadas de ciclo precoz (70-75 días a madurez), plantas vigorosas y con carga uniforme de frutos.

1.4.3. Descripción de los tratamientos

Se probaron 10 tratamientos que combinaban diferentes espaciamientos entre plantas y diferentes volúmenes de cavidad para el crecimiento de la raíz:

Tratamiento 1: densidad de 1000 plantas/m² en charolas de 200 cavidades con 30 ml de volumen por cavidad (Figura 1).

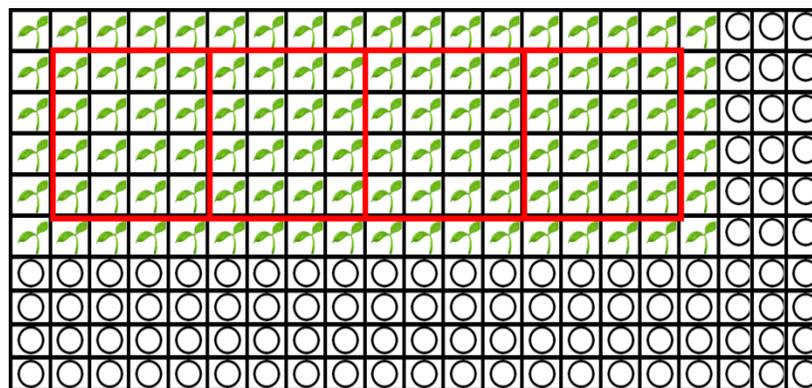


Figura 1. Arreglo de siembra del tratamiento 1 en charola de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 2: densidad de 750 plantas/m² en charolas de 200 cavidades con 30 ml de volumen por cavidad (se sembraron dos hileras de cavidades y una no) tal como se aprecia en la Figura 2.

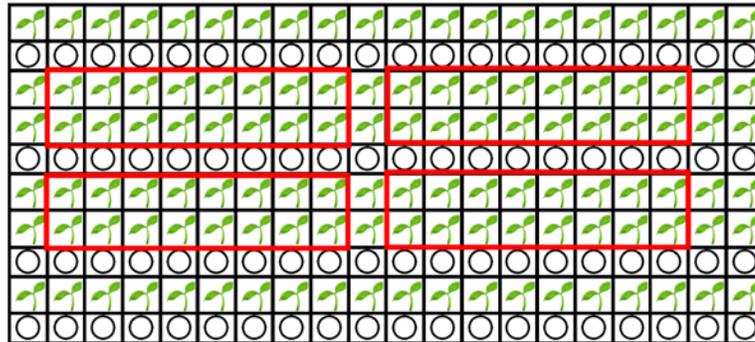


Figura 2. Arreglo de siembra del tratamiento 2 en charola de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 3: densidad de 500 plantas/m² en charolas de 200 cavidades con 30 ml de volumen por cavidad + luz lateral y superior suplementaria (se sembraron dos hileras de cavidades y una no). En las hileras libres de las charolas se colocaron lámparas led de luz blanca para dar iluminación suplementaria lateral y se complementó con superior, en ambos casos de aproximadamente 100 μ mol de fotones por 18 horas (Figura 3).

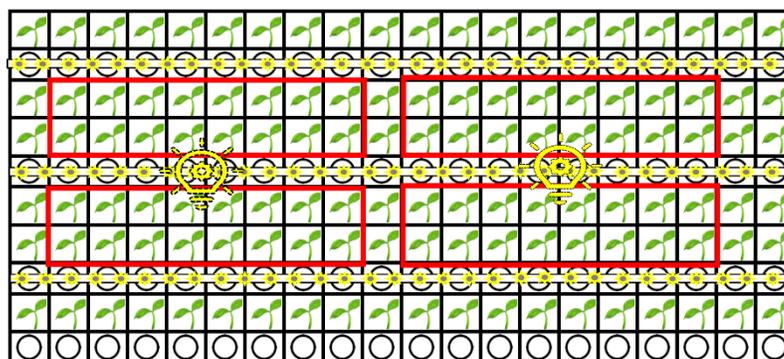


Figura 3. Arreglo de siembra del tratamiento 3 en charola de 200 cavidades, con luz suplementaria lateral y superior. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 4: densidad de 500 plantas/m² en charolas de 200 cavidades con 30 ml de volumen por cavidad (se sembró una hilera de cavidades y la otra no, como se observa en la Figura 4).



Figura 4. Arreglo de siembra del tratamiento 4 en charola de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 5: densidad de 250 plantas/m² en charolas de 200 cavidades con 30 ml de volumen por cavidad (se sembró una planta en una cavidad y en la contigua no dentro de la misma hilera y se sembró una hilera de cavidades y la otra no) (Figura 5).

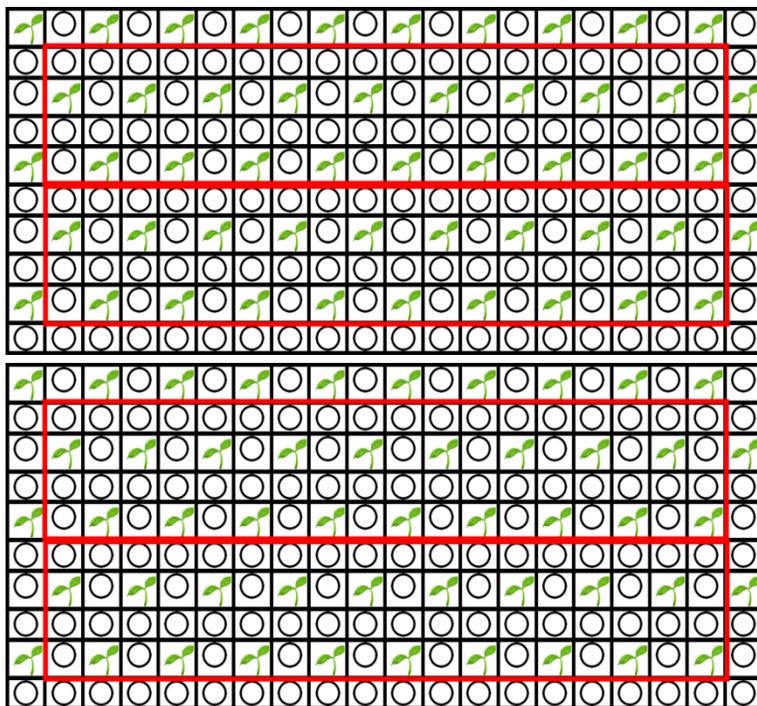


Figura 5. Arreglo de siembra del tratamiento 5 en dos charolas de 200 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 6: densidad de 300 plantas/m² en charolas de 60 cavidades con 250 ml de volumen por cavidad (Figura 6).

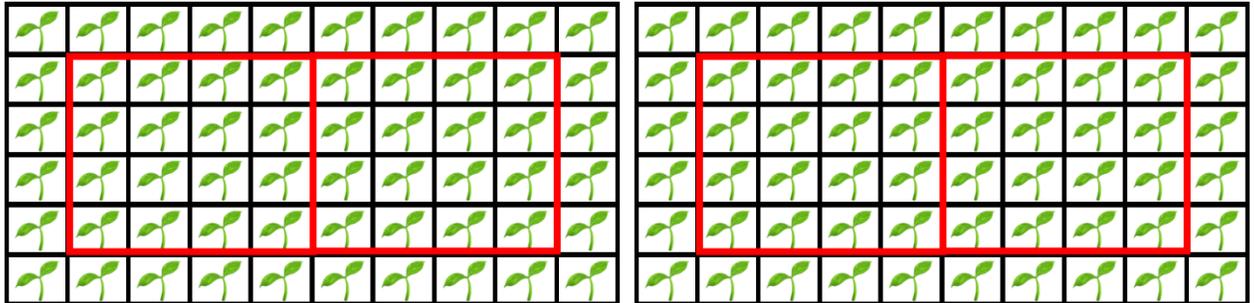


Figura 6. Arreglo de siembra del tratamiento 6 en dos charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 7: densidad de 200 plantas/m² en charolas de 60 cavidades con 250 ml de volumen por cavidad (se sembraron dos hileras de cavidades y una no) (Figura 7).

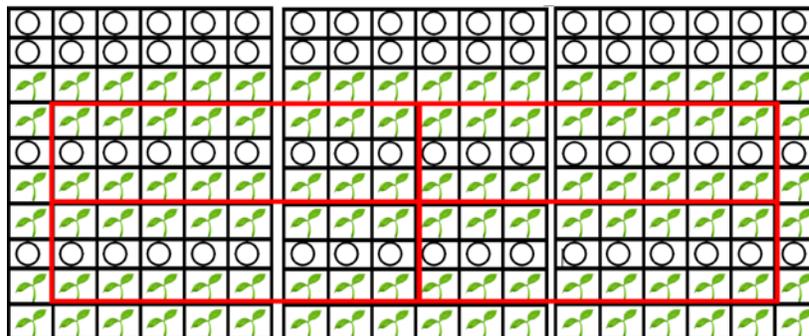


Figura 7. Arreglo de siembra del tratamiento 7 en tres charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 8: densidad de 200 plantas/m² en charolas de 60 cavidades con 250 ml de volumen por cavidad + luz suplementaria (se sembraron dos hileras de cavidades y una no). En el espacio libre se colocaron lámparas led de luz

suplementaria blanca para dar iluminación lateral completando con luz superior, en ambos casos de aproximadamente 100 μmol de fotones por 18 horas (Figura 8).

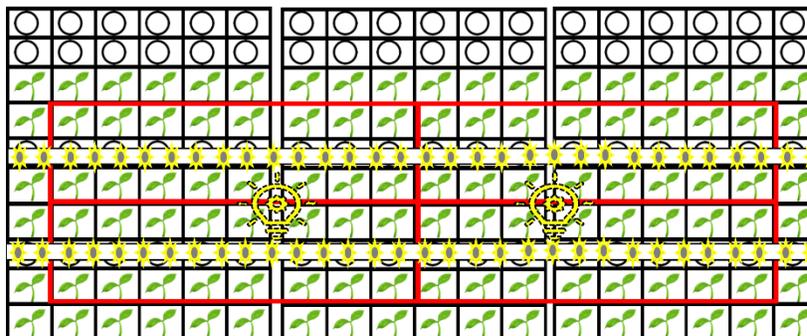


Figura 8. Arreglo de siembra del tratamiento 8 con tres charolas de 60 cavidades y luz suplementaria. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 9: densidad de 150 plantas/m² en charolas de 60 cavidades con 250 ml de volumen por cavidad (se sembró una columna de cavidades y otra no) (Figura 9).

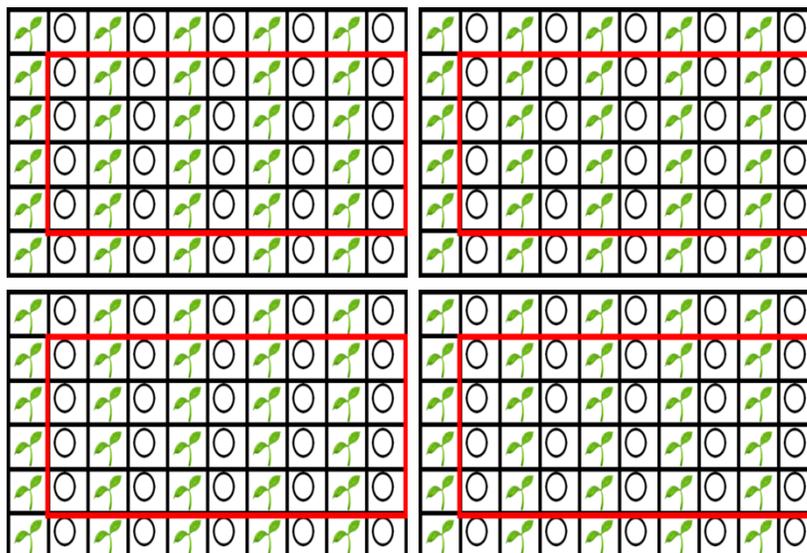


Figura 9. Arreglo de siembra del tratamiento 9 con cuatro charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

Tratamiento 10: densidad de 75 plantas/m² en charolas de 60 cavidades con 250 ml de volumen por cavidad (se sembró una planta en una cavidad y en la contigua no dentro de la misma hilera y se sembró una hilera de cavidades y la otra no) (Figura 10).

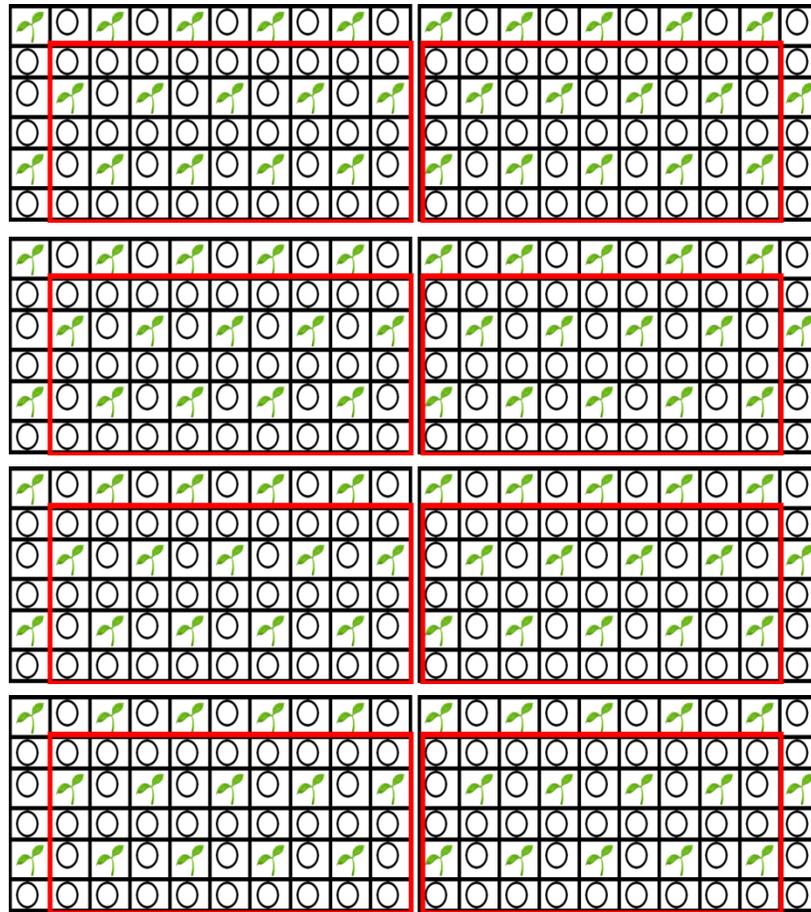


Figura 10. Arreglo de siembra del tratamiento 10 con ocho charolas de 60 cavidades. Las líneas rojas delimitan las unidades experimentales de las cuatro repeticiones.

1.4.4. Diseño experimental

Se trabajó con un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. En parcela grande se acomodaron los tratamientos según el número de cavidades de la charola (200 o 60). En las parcelas chicas se dispusieron los tratamientos de densidad definidos para cada tipo de charola. El tamaño de la unidad experimental en parcela chica fue de 15 plántulas.

1.4.5. Variables morfológicas

Altura de planta

Esta variable se midió a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds), para ello se utilizó una cinta métrica midiendo desde la base de la planta hasta el meristemo apical.

Diámetro del tallo

Esta variable se tomó a los 30, 45 y 60 dds con un vernier electrónico, en el entrenudo de la tercera y quinta hoja.

Área foliar

A los 30, 45 y 60 dds se tomaron dos plantas por cada tratamiento, las cuales fueron llevadas al laboratorio, se separaron por partes y se limpiaron para ingresarlas a un medidor de área foliar marca: LI-COR MODEL LI-3100.

Peso seco

Para obtener el peso seco se dispusieron las mismas plantas utilizadas para obtener el área foliar, se introdujeron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa de secado durante 24 horas.

1.4.6. Variables de rendimiento y sus componentes

1. Número de flores por racimo, en cada racimo y total
2. Número de frutos cosechados por racimo y por planta
3. Peso medio de frutos
4. Rendimiento por planta
5. Días del trasplante al primer corte
6. Días del trasplante al último corte

1.4.7. Conducción del experimento

La siembra de la semilla se realizó el 23 de julio del 2018, para ello se utilizaron dos tipos de charolas germinadoras: para los tratamientos 1,2,3,4 y 5 se manejaron charolas de 200 cavidades con capacidad de 30 ml, mientras que para los tratamientos 6,7,8,9 y 10 fueron charolas de 60 cavidades con capacidad de 250 ml por cavidad. Como sustrato en el semillero se utilizó una mezcla de peat-moss, perlita y arena fina de tezontle en proporción 1:1:1. Las plántulas fueron irrigadas desde la siembra con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de nutrimentos en mg/L: Nitrógeno, 200; Fósforo, 50; Potasio, 200; Calcio, 250; Magnesio, 50; Azufre, 150; Hierro, 2; Manganeso, 1; Boro, 0.5; Cobre, 0.1 y Zinc, 0.1. Durante los primeros 15 dds se aplicó a la mitad de su concentración, posteriormente y hasta fin de cosecha se utilizó la concentración completa. El trasplante en los tratamientos 1 al 5 se realizó a los 40 dds mientras que en los tratamientos 6 al 10 a los 60 dds.

Para todos los tratamientos, del trasplante en adelante, se utilizaron como contenedores camas rellenas con una capa de 25 cm de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. El ancho de las camas fue de 1 m y comprendió tres hileras de plantas a una distancia de 33 cm entre hileras y 25 cm entre plantas

para una densidad de 12 plantas/m² útil (8 plantas/m² de invernadero). Cada cama contaba con un sistema de riego a base de cintillas con goteros integrados a cada 20 cm.

En el Cuadro 1, se muestra las fechas en que se hicieron algunas de las actividades en la conducción del experimento, así como las fechas en que ocurrieron algunos eventos en las plantas.

A los 80 dds, ya formada la tercera inflorescencia, se despuntaron las plantas (eliminación de la yema terminal), dejando dos hojas por encima del tercer racimo de cada planta.

Cuadro 1. Fechas de desarrollo del cultivo.

| Desarrollo del cultivo | | |
|--|--------------|---|
| Etapa | Fecha | Días después de la siembra (dds) |
| Siembra | 23-jul-2018 | 0 |
| Trasplante en charolas de 200 cavidades | 27-ago-2018 | 35 |
| Trasplante en charolas de 60 cavidades | 20-sep-2018 | 60 |
| Antesis primera flor | 10-sep-2018 | 50 |
| Despunte | 10-oct-2018 | 80 |
| Inicio de cosecha | 13-nov-2018 | 114 |
| Fin de cosecha | 15-dic-2018 | 148 |
| Días de trasplante a fin de cosecha 200 cavidades | 15-dic-2018 | 110 |
| Días de trasplante a fin de cosecha 60 cavidades | 15-dic-2018 | 85 |

1.4.8. Análisis de datos

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

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1. Variables morfológicas

1.5.1.1. Aspectos generales

En el proceso productivo del jitomate es importante obtener plántulas vigorosas que garanticen un buen establecimiento sin efectos negativos posteriores en el rendimiento. En la introducción de este trabajo se destacó la importancia de encontrar formas de reducir el tiempo de trasplante a cosecha a menos de tres meses mediante el mantenimiento de plántulas vigorosas en el semillero hasta los 60 dds cuyo trasplante no implique un estrés que conduzca a un menor rendimiento al final del ciclo del cultivo.

El vigor de plántula se evalúa mediante indicadores fenotípicos como un mayor grosor de tallo, mayor crecimiento de raíz, un área foliar adecuada con mayor grosor de la lámina foliar y plántulas con mayor acumulación de materia seca (Sánchez *et al.*, 1999; Wien 1999). A esto habría que agregar que se busca también una altura de plántula relativamente menor para facilitar el manejo inmediatamente posterior al trasplante.

En el Cuadro 2, los análisis de varianza muestran que hubo diferencias altamente significativas entre volúmenes de contenedor para todas las variables morfológicas evaluadas (altura de plántula, grosor del tallo, peso seco total y razón de área foliar) a los 30 y 45 días después de la siembra (dds). Finalmente, a los 60 dds hubo diferencias altamente significativas para el área foliar y la razón de área foliar (RAF), y significativas para altura de plántula y diámetro de tallo. Para peso seco total de plántula no se encontraron diferencias.

Para las densidades dentro de cada volumen de contenedor, a los 30 dds se encontraron diferencias altamente significativas para altura de planta, área foliar y razón de área foliar y significativas para diámetro de tallo, no así para peso seco

de plántula. A los 45 y 60 dds sólo se encontraron diferencias altamente significativas para altura de plántula.

Cuadro 2. Cuadros medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo a diferentes volúmenes de contenedor y diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| FV | GL | Altura | Diámetro de tallo | Área foliar | Peso seco | Razón de áreafoliar |
|--------------------|-----------|--------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| 30 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 0.2 ^{NS} | 0.09 ^{NS} | 10.7 ^{NS} | 0.0006 ^{NS} | 6.59 ^{NS} |
| Volumen | 1 | 17.7 ^{**} | 7.3 ^{**} | 9697 ^{**} | 1.44 ^{**} | 1904 ^{**} |
| Densidad (Volumen) | 8 | 5.3 ^{**} | 0.2 [*] | 290 ^{**} | 0.02 ^{NS} | 379 ^{**} |
| Error | 27 | 0.1 | 0.07 | 42.3 | 0.02 | 50.01 |
| CV | | 4.1 | 8.70 | 15.9 | 22.6 | 11.55 |
| Media general | | 7.8 cm | 3.0 mm | 40 cm ² | 0.65 g | 61.22 |
| 45 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 0.4 ^{NS} | 0.07 ^{NS} | 607.0 ^{NS} | 0.05 ^{NS} | 47.51 ^{NS} |
| Volumen | 1 | 1719 ^{**} | 20.40 ^{**} | 81649 ^{**} | 8.1 ^{**} | 2607 ^{**} |
| Densidad (Volumen) | 8 | 176 ^{**} | 0.24 ^{NS} | 985.0 ^{NS} | 0.08 ^{NS} | 1086 [*] |
| Error | 27 | 2.6 | 0.18 | 674.0 | 0.06 | 265.82 |
| CV | | 6.5 | 8.20 | 15.01 | 18.6 | 12.32 |
| Media general | | 25.0 cm | 5.17 mm | 173 cm ² | 1.36 g | 132.3 |
| 60 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 36.8 ^{NS} | 1.08 [*] | 23694 ^{NS} | 1.5 ^{NS} | 70.63 ^{NS} |
| Volumen | 1 | 244 [*] | 2.90 [*] | 324288 ^{**} | 0.04 ^{NS} | 8239 ^{**} |
| Densidad (Volumen) | 8 | 176 ^{**} | 0.36 ^{NS} | 12238 ^{NS} | 1.6 ^{NS} | 290.95 ^{NS} |
| Error | 27 | 19.0 | 0.24 | 12873 | 1.16 | 192.5 |
| CV | | 9.7 | 8.16 | 20.65 | 18.94 | 14.25 |
| Media general | | 44.9 cm | 6.11 mm | 549 cm ² | 5.70 g | 97.3 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

1.5.1.2. Evaluación de volúmenes de contenedor

Las pruebas de comparación de medias a los 30 dds (Cuadro 3), destacan que las plántulas creciendo en contenedores con capacidad de 250 ml, estaban 1.4 cm más altas con tallos casi 1 mm más gruesos, plántulas con más del doble de área foliar, casi el doble de peso seco y con 14 cm² más de hoja por cada g de peso seco total, respecto a las plántulas manejadas en contenedores de 25 ml; diferencias que fueron significativas en todas las variables.

A los 45 dds estas diferencias se acentuaron. La altura de plántula en el contenedor de 250 ml era 14 cm mayor, el diámetro de tallo 1.43 mm más grueso, su área foliar con 90 cm² más de hoja y el doble de peso seco que las plántulas creciendo en contenedores de 25 ml; sin embargo, la razón de área foliar (RAF) fue 26 cm² menor en las que crecieron en cavidades de 250 ml.

A los 60 dds (20 días después de trasplantadas las plantas que crecieron en el semillero en las charolas con cavidades de 25 ml), todavía la altura de plántula en el contenedor de 250 ml era 4.9 cm mayor y el diámetro de tallo 0.54 mm más grueso, pero el área foliar por planta era menor en 180 cm². Para peso seco ya no se encontraron diferencias significativas y la RAF siguió siendo menor en plántulas creciendo en cavidades de 250 ml.

Cuadro 3. Comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en diferentes volúmenes de contenedor, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| Volumen (ml) | Altura (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm ²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm ² g ⁻¹) |
|---------------|-------------|------------------------|--------------------------------|---------------|---|
| 30 dds | | | | | |
| 25 | 7.14 b | 2.61 b | 25.14 b | 0.46 b | 54.3 b |
| 250 | 8.47 a | 3.47 a | 56.28 a | 0.84 a | 68.1 a |
| DMS | 0.2 | 0.17 | 4.2 | 0.09 | 4.58 |
| 45 dds | | | | | |

| | | | | | |
|---------------|---------|--------|----------|--------|---------|
| 25 | 18.46 b | 4.46 b | 117.72 b | 0.91 b | 140.4 a |
| 250 | 31.57 a | 5.89 a | 218.08 a | 1.81 a | 124.2 b |
| DMS | 1.05 | 0.27 | 16.84 | 0.16 | 10.57 |
| 60 dds | | | | | |
| 25 | 42.42 b | 5.84 b | 639.36 a | 5.73 a | 111.7 a |
| 250 | 47.36 a | 6.38 a | 459.28 b | 5.66 a | 83.0 b |
| DMS | 2.82 | 0.32 | 73.61 | 0.71 | 9.002 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

En las Figuras 11 a 15 se destacan las tendencias de crecimiento de las variables morfológicas de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 dds en función del volumen de contenedor donde crecieron las plántulas.

En ellas se observa que, con excepción del grosor del tallo, la velocidad de crecimiento de las plantas en contenedores de 25 ml fue mayor de los 45 a los 60 dds que de los 30 a los 45 dds, pero no sucedió así para las cultivadas en contenedores de 250 ml. La explicación es que las plántulas que crecieron en contenedores de 25 ml se trasplantaron a los 40 dds, por lo que, a partir de ese momento, les cambió favorablemente su densidad de población y volumen de sustrato por planta, acelerando el crecimiento. En cambio, las plántulas en charolas con contenedores de 250 ml crecieron en el semillero hasta los 60 dds, por lo que de los 45 a los 60 dds estaban en condiciones cada vez más restringidas de espacio por plántula.

Por ejemplo, a los 45 dds, las plántulas en contenedores de 250 ml tenían el doble de área foliar que las que se manejaron en contenedores de 25 ml, pero a los 60 dds, 20 días después del trasplante, el área foliar de estas últimas era ya un 50 % mayor a las que crecían en cavidades de 250 ml y permanecían aún en condiciones de semillero (Figura 13).

Algo similar, aunque en menor magnitud ocurrió con el peso seco, donde las plántulas en cavidades de 25 ml tenían la mitad del peso seco de las que crecían

en 250 ml, pero a los 60 dds (20 días después de trasplantadas) ya las habían alcanzado (Figura 14).

Estos resultados se deben a que probablemente en los tratamientos con volumen de contenedor de 250 ml, la raíz creció con menos limitaciones de oxígeno, agua y nutrientes que las plántulas creciendo en 25 ml de sustrato, como también lo han señalado Peterson *et al.* (1991) y Wien (1999) para el cultivo del jitomate. También hay que señalar que de acuerdo con Reghin *et al.* (2006) y Sakurai *et al.* (2007), que con densidades relativamente bajas, como las manejadas en el caso de las plántulas creciendo en volúmenes de 250 ml, se da una mayor intercepción de radiación solar por planta, que se traduce en una mayor tasa de producción de fotoasimilados y, en consecuencia, de materia seca acumulada que darán lugar a un mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas en relación a el manejo de densidades mayores como las evaluadas en plántulas que crecieron en cavidades de 25 ml.

En el caso particular del comportamiento de la RAF entre los 30 y 60 dds (Figura 15) llama la atención que, independientemente del volumen de contenedor en el que crecieron las plántulas, alrededor de los 45 dds, las plántulas de jitomate destinaron proporcionalmente más de su peso seco a la formación de área foliar que a los 30 o 60 dds. Posiblemente sea una consecuencia de la fenología particular de esta especie, pero no se encontraron estudios en la literatura que lo corroboren o desmientan.

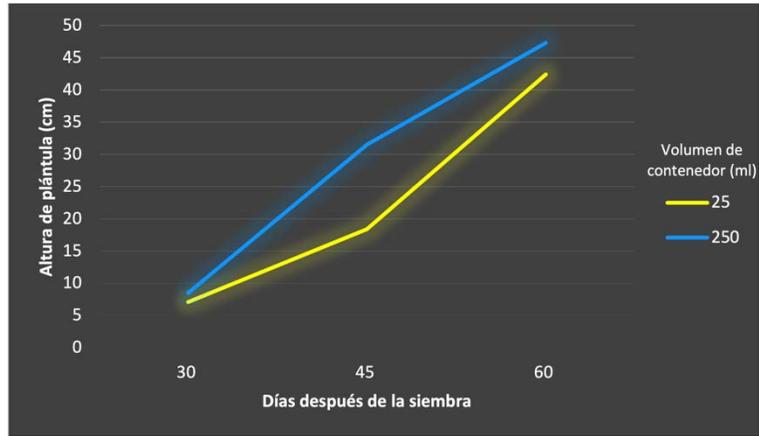


Figura 11. Tendencias del crecimiento en altura de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml.

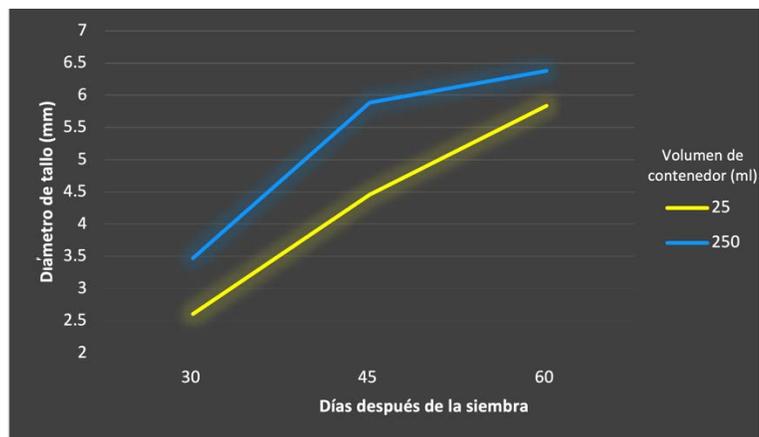


Figura 12. Tendencias del crecimiento del diámetro del tallo de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml.

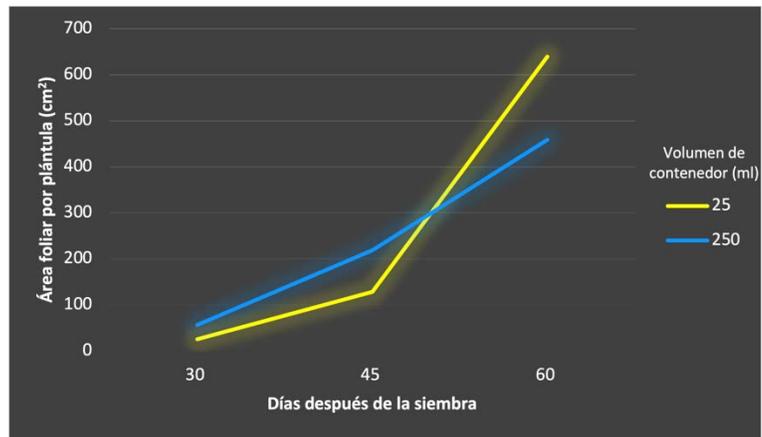


Figura 13. Tendencias del crecimiento del área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml.

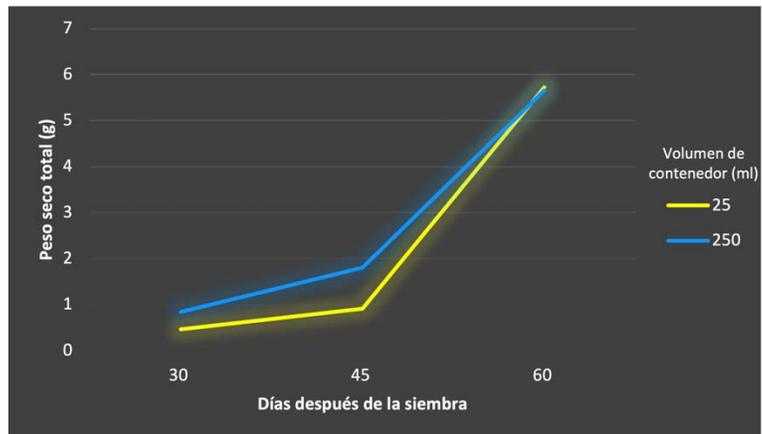


Figura 14. Tendencias del crecimiento en peso seco de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml.

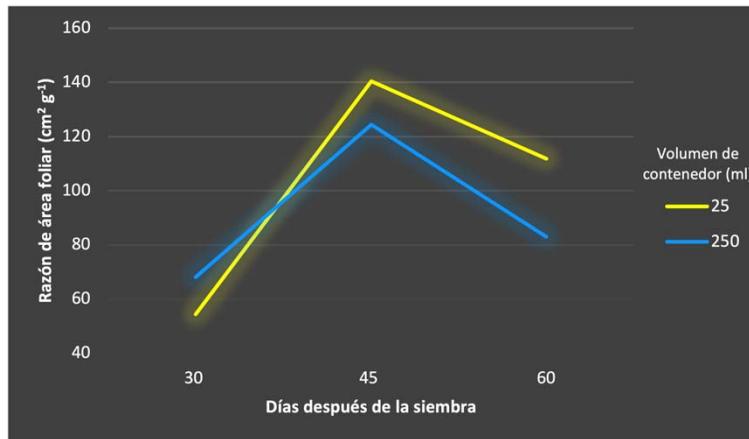


Figura 15. Tendencias del crecimiento o decremento en razón de área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para plántulas en contenedores de 25 y 250 ml.

1.5.1.3. Evaluación de densidades de población en plántulas con volumen de contenedor de 25 ml.

Los análisis de varianza con respecto a las densidades de población que se probaron (1000, 750, 750 con luz suplementaria, 500 y 250 plántulas/m²), para las plántulas que crecieron en los contenedores de 25 ml de capacidad muestran que, a los 30 dds había diferencias altamente significativas para altura de plántula y diferencias significativas en área foliar y peso seco; sin embargo, para diámetro de tallo no se encontraron diferencias significativas. A los 45 y 60 dds, todavía se encontraron diferencias significativas para altura de plántula, pero no para diámetro de tallo, área foliar y peso seco (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 25 ml y a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| FV | GL | Altura | Diámetro de tallo | Área foliar | Peso seco | Razón de área foliar |
|---------------|-----------|--------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|
| 30 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 0.07 ^{NS} | 0.01 ^{NS} | 2.16 ^{NS} | 0.001 ^{NS} | 19.35 ^{NS} |
| Densidad | 4 | 3.9 ^{**} | 0.17 ^{NS} | 162.63 [*] | 0.04 [*] | 275.92 ^{**} |
| Error | 12 | 0.1 | 0.07 | 30.77 | 0.01 | 26.04 |
| Media general | | 7.1 | 2.61 | 25.14 | 0.46 | 54.32 |
| CV | | 5.1 | 9.90 | 22.06 | 22.71 | 9.39 |
| 45 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 2.9 ^{NS} | 0.41 ^{NS} | 433.63 ^{NS} | 0.02 ^{NS} | 588 [*] |
| Densidad | 4 | 17.3 [*] | 0.20 ^{NS} | 654.70 ^{NS} | 0.03 ^{NS} | 140.42 ^{NS} |
| Error | 12 | 1.2 | 0.17 | 639.47 | 0.01 | 166.86 |
| Media general | | 18.4 | 4.46 | 127.72 | 0.91 | 140.38 |
| CV | | 5.8 | 9.27 | 19.79 | 15.06 | 9.2 |
| 60 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 108.5 [*] | 1.95 [*] | 50696 ^{NS} | 1.90 ^{NS} | 320.81 ^{NS} |
| Densidad | 4 | 35.0 [*] | 0.14 ^{NS} | 15173 ^{NS} | 1.30 ^{NS} | 19.20 ^{NS} |
| Error | 12 | 9.3 | 0.11 | 18563 | 1.60 | 191.56 |
| Media general | | 42.4 | 5.84 | 639.3 | 5.73 | 111.68 |
| CV | | 7.2 | 5.90 | 21.3 | 22.01 | 12.39 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

Las comparaciones de medias para las variables morfológicas de estos tratamientos se presentan en el Cuadro 5. Se observa que desde los 30 dds la altura de plántula fue significativamente menor a la menor densidad (250 plántulas/m²) respecto al testigo, que fue manejado con la mayor densidad (1000 plántulas/m²). La diferencia de altura entre ambos tratamientos fue de 2.4 cm. Llama la atención que, a esta edad, también el área foliar y el peso seco de las plántulas fueron estadísticamente menores que el testigo a la mayor densidad. A los 45 dds se acentúa la diferencia de altura entre los dos tratamientos mencionados (5.6 cm de diferencia); sin embargo, el área foliar y el peso seco por plántula se vuelven similares. A los 60 dds las plantas ya tenían 20 días de trasplantadas y aún así, las que habían crecido en el semillero a densidades de

250 plántulas/m² tenían 7.5 cm menos altura que las manejadas a 1000 plántulas/m².

Cuadro 5. Comparaciones de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 25 ml a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| Densidad (Plántulas/m ²) | Altura (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm ²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm ² g ⁻¹) |
|---|----------------|------------------------------|-----------------------------------|------------------|--|
| 30 dds | | | | | |
| 1000 | 7.9 a | 2.77 a | 34.3 a | 0.52 ab | 63.7 a |
| 750 | 7.8 ab | 2.52 a | 22.3 ab | 0.35 b | 62.1 a |
| 750 (con luz) | 7.1 b | 2.87 a | 27.8 ab | 0.60 a | 48.1 b |
| | | | | | 52.4 |
| 500 | 7.5 ab | 2.55 a | 24.3 ab | 0.45 ab | ab |
| 250 | 5.5 c | 2.35 a | 17.2 b | 0.37 b | 45.2 b |
| DMS | 0.8 | 0.58 | 12.5 | 0.23 | 11.15 |
| 45 dds | | | | | |
| 1000 | 20.8 a | 4.32 a | 134.1 a | 0.90 a | 146.7 a |
| 750 | 18.8 ab | 4.45 a | 116.4 a | 0.80 a | 145.1 a |
| 750 (con luz) | 17.9 b | 4.75 a | 146.5 a | 1.05 a | 141.4 a |
| 500 | 19.5 ab | 4.60 a | 125.2 a | 0.92 a | 135.6 a |
| 250 | 15.2 c | 4.17 a | 116.4 a | 0.90 a | 133.1 a |
| DMS | 2.4 | 0.93 | 56.9 | 0.31 | 29.1 |
| 60 dds | | | | | |
| 1000 | 45.2 a | 5.65 a | 696.4 a | 6.12 a | 113.9 a |
| 750 | 42.9 a | 5.62 a | 673.3 a | 6.12 a | 110.2 a |
| 750 (con luz) | 41.9 ab | 5.95 a | 682.1 a | 6.17 a | 111.3 a |
| 500 | 44.5 ab | 5.97 a | 573.3 a | 5.27 a | 109.1 a |
| 250 | 37.7 b | 6.02 a | 571.8 a | 4.97 a | 113.9 a |
| DMS | 6.9 | 0.77 | 307.1 | 2.84 | 31.19 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey (P≤0.05). DMS= Diferencia mínima significativa. (Luz): Se suministró luz suplementaria con lámparas LED de color blanco a un flujo de 100 μmol de fotones por 18 horas de los 20 a los 40 dds.

En las Figuras 16 a 20 se destacan las tendencias de crecimiento de las variables morfológicas de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 dds en función de las densidades de población de plántulas creciendo en contenedores de 25 ml de capacidad.

En todas las densidades el crecimiento en altura se acelera de los 45 a los 60 dds respecto a el periodo de los 30 a los 45 dds (Figura 16). Como ya se señaló, las plántulas que crecieron en estos contenedores se trasplantaron a los 40 dds, por lo que de ahí en adelante cambió favorablemente su densidad de población y volumen de sustrato por planta, acelerando el crecimiento. Cabe señalar que esta aceleración del crecimiento en altura no se da como un efecto de competencia por luz que produce etiolación (Gardner *et al.*, 1990), sino como consecuencia de una mayor intercepción de radiación solar y producción de asimilados por el cambio de condiciones hacia una menor densidad que propició el trasplante (Taiz y Zaiger, 2002). También se eliminaron las condiciones limitantes para la raíz al aumentar el espacio para su crecimiento (Wien, 1999).

Con respecto al diámetro del tallo (Figura 17) la tasa de crecimiento diario en semillero (30 a los 40 dds) es similar con respecto a dicha tasa en el periodo posterior al trasplante que va de los 45 a los 60 dds.

Con respecto al área foliar y al peso seco por plántula (Figuras 18 y 19), independientemente de la densidad de población, hay una aceleración muy marcada en el crecimiento entre la fase de semillero de los 30 a los 45 dds y la fase posterior al trasplante de los 45 a los 60 dds; aceleración que se explica, como ya se señaló con el cambio de condiciones ambientales que se propicia con el trasplante.

Respecto a la RAF (Figura 20), independientemente de la densidad de población, alrededor de los 45 dds, se detectó que las plántulas de jitomate destinaron proporcionalmente más de su peso seco a la formación de área foliar que a los 30 o 60 dds. Como ya se señaló, posiblemente sea una consecuencia de la fenología particular de esta especie.

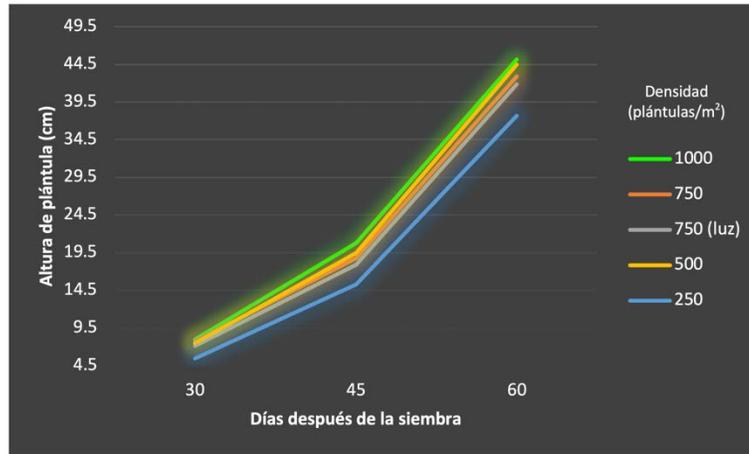


Figura 16. Tendencias del crecimiento en altura de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad.

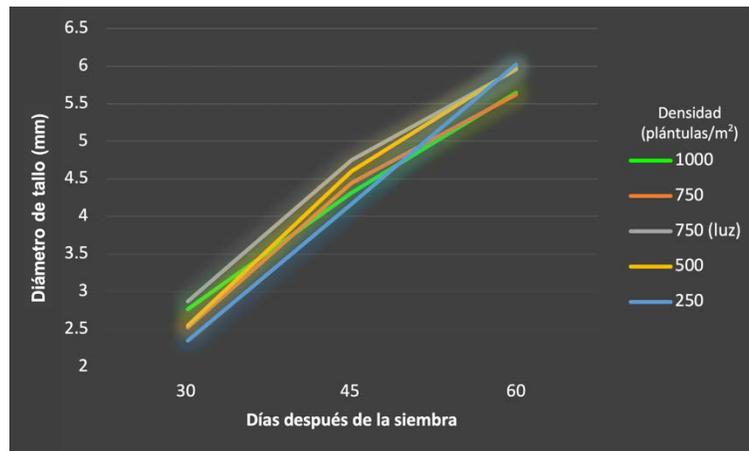


Figura 17. Tendencias del crecimiento del diámetro del tallo de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad.

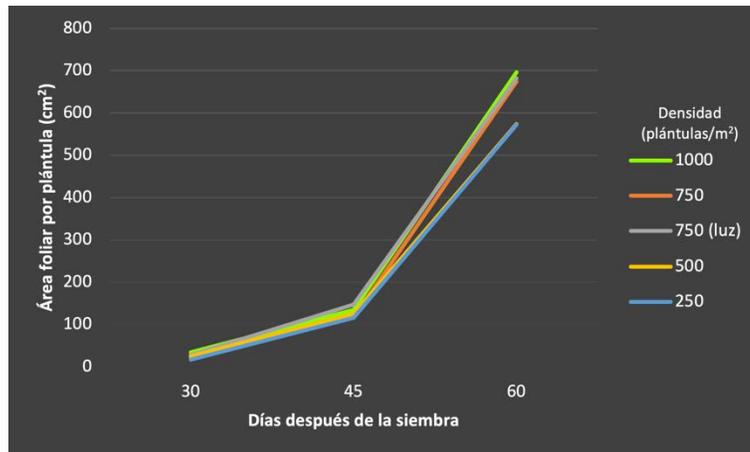


Figura 18. Tendencias del crecimiento del área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad.

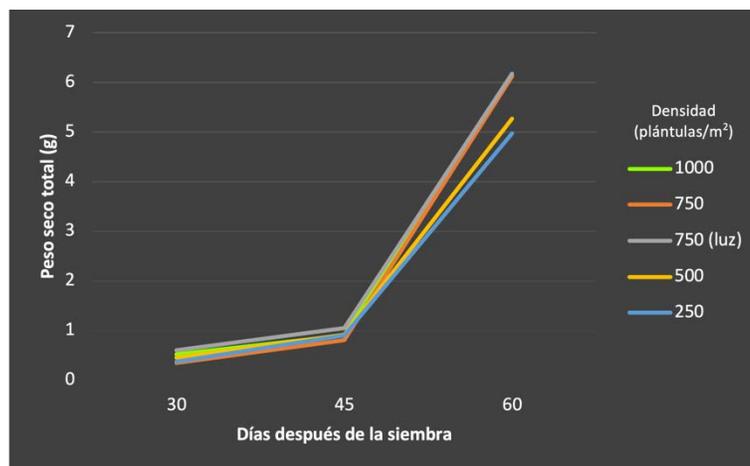


Figura 19. Tendencias del crecimiento del peso seco de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad.

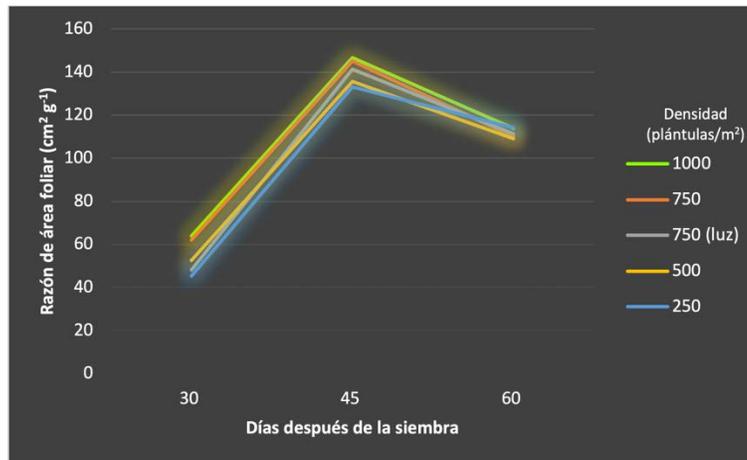


Figura 20. Tendencias del crecimiento o decremento de la razón de área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 25 ml de capacidad.

1.5.1.4. Evaluación de densidades de población en plántulas con volumen de contenedor de 250 ml.

Los análisis de varianza en relación a las densidades de población de plántulas cultivadas en semillero en contenedores de 250 ml de capacidad por 60 días muestran que a los 30 dds ya había diferencias altamente significativas para altura de plántula y diferencias significativas para diámetro de tallo y área foliar, no así para peso seco. A los 45 dds sólo había diferencias altamente significativas en altura de plántula. A los 60 dds se encontraron diferencias altamente significativas para altura y significativas para diámetro de tallo y área foliar, para peso seco no se detectaron diferencias significativas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| FV | GL | Altura | Diámetro de tallo | Área foliar | Peso seco | Razón de área foliar |
|---------------|----|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 30 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 0.12 ^{NS} | 0.14 ^{NS} | 32.30 ^{NS} | 0.004 ^{NS} | 55.6 ^{NS} |
| Densidad | 4 | 6.73 ^{**} | 0.24 [*] | 416875 [*] | 0.004 ^{NS} | 481.7 [*] |
| Error | 12 | 0.09 | 0.07 | 58.60 | 0.036 | 69.4 |
| Media general | | 8.47 | 3.47 | 56.28 | 0.84 | 68.1 |
| CV | | 3.62 | 7.8 | 13.6 | 22.74 | 12.2 |
| 45 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 3.86 ^{NS} | 0.26 ^{NS} | 301.41 ^{NS} | 0.12 ^{NS} | 323.3 ^{NS} |
| Densidad | 4 | 322.96 ^{**} | 0.29 ^{NS} | 1314.90 ^{NS} | 0.13 ^{NS} | 2032 [*] |
| Error | 12 | 3.20 | 0.09 | 844.26 | 0.10 | 215.2 |
| Media general | | 31.57 | 5.89 | 218.08 | 1.81 | 124.2 |
| CV | | 5.66 | 5.17 | 13.32 | 17.83 | 11.9 |
| 60 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 15.50 ^{NS} | 0.27 ^{NS} | 3588 ^{NS} | 0.73 ^{NS} | 75.4 ^{NS} |
| Densidad | 4 | 317.70 ^{**} | 0.58 [*] | 9303 [*] | 2.04 ^{NS} | 562.7 [*] |
| Error | 12 | 11.70 | 0.15 | 2754 | 0.75 | 160.1 |
| Media general | | 47.36 | 6.38 | 459.28 | 5.66 | 82.9 |
| CV | | 7.21 | 6.18 | 11.42 | 15.35 | 15.2 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

La comparación de medias para variables morfológicas de los tratamientos con contenedores de 250 ml a distintas densidades (300, 200, 200 con luz suplementaria, 150 y 75 plántulas/m²) se presenta en el Cuadro 7.

A los 30 dds se detectaron diferencias significativas para las variables altura y área foliar por plántula; en el primer caso fueron los tratamientos con mayor densidad (300 y 200 plántulas/m²) los que mostraron los valores más altos en ambas variables respecto al tratamiento con menor densidad (75 plántulas/m²). En relación al área foliar destacó la densidad de 200 plántulas/m² que alcanzó valores estadísticamente superiores a los demás tratamientos.

A los 45 dds sólo se observan diferencias significativas para la variable altura de planta, donde el tratamiento con 300 plantas/m² obtuvo el mayor valor (44.47 cm) en comparación al resto de los tratamientos; la mayor diferencia en altura (23.7 cm) se dio entre las plántulas de dicho tratamiento y las del de menor densidad (75 plántulas/m²).

A los 60 dds, se siguen observando diferencias significativas en altura, con la misma tendencia que a los 45 dds, de más de 20 cm de diferencia entre el tratamiento de mayor densidad respecto al de menor densidad. También se detectaron diferencias estadísticas en área foliar de planta, pero sólo entre el tratamiento de 200 plántulas/m² manejado sin luz suplementaria que alcanzó el mayor valor, respecto al tratamiento de 75 plántulas/m² que tuvo el menor.

Cuadro 7. Medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| Densidad (Plántulas/m ²) | Altura (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm ²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm ² g ⁻¹) |
|---|----------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------|--|
| 30 dds | | | | | |
| 300 | 10.6 a | 3.77 a | 59.45 ab | 0.82 a | 70.4 ab |
| 200 | 8.7 b | 3.47 a | 72.40 a | 0.87 a | 85.4 a |
| 200 (luz) | 8.1 bc | 3.65 a | 46.07 b | 0.82 a | 57.6 b |
| 150 | 7.5 cd | 3.30 a | 52.57 b | 0.80 a | 66.9 ab |
| 75 | 7.4 d | 3.17 a | 50.90 b | 0.87 a | 60.1 b |
| DMS | 0.69 | 0.61 | 17.25 | 0.43 | 18.77 |
| 45 dds | | | | | |
| 300 | 44.5 a | 6.05 a | 230.60 a | 1.52 a | 157.8 a |
| 200 | 35.9 b | 5.95 a | 239.39 a | 1.82 a | 129.8 ab |
| 200 (luz) | 28.1 c | 6.22 a | 212.80 a | 1.90 a | 113.8 bc |
| 150 | 28.7 c | 5.60 a | 215.48 a | 1.80 a | 123.1 bc |
| 75 | 20.8 d | 5.62 a | 192.18 a | 2.02 a | 96.6 c |
| DMS | 4.0 | 0.68 | 65.48 | 0.72 | 33.07 |
| 60 dds | | | | | |
| 300 | 58.1 a | 6.77 b | 428.00 ab | 4.85 a | 91.1 a |

| | | | | | |
|-----------|---------|---------|-----------|--------|--------|
| 200 | 54.9 a | 6.37 ab | 541.28 a | 5.90 a | 93.2 a |
| 200 (luz) | 45.2 b | 6.82 a | 449.55 ab | 6.67 a | 67.4 a |
| 150 | 42.2 bc | 6.42 ab | 457.05 ab | 5.12 a | 90.0 a |
| 75 | 36.6 c | 6.50 ab | 420.53 b | 5.77 a | 73.1 a |
| DMS | 7.7 | 0.88 | 118.29 | 1.96 | 28.52 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa. (Luz): Se suministro luz suplementaria con lámparas LED de color blanco a un flujo de 100 μmol de fotones por 18 horas.

En las Figuras 21 a 25 se muestran las tendencias de crecimiento de las variables morfológicas en condiciones de semillero de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 dds en función de las densidades de población de plántulas creciendo en contenedores de 250 ml de capacidad.

Respecto a la altura de planta (Figura 21), en el promedio de las densidades no se detecta un cambio importante en las tasas de crecimiento entre los 30 y 45 dds y entre los 45 y 60 dds, ya que estas plántulas estuvieron en semillero hasta los 60 dds. Sin embargo, las tasas de crecimiento de los 30 a los 45 dds son diferentes entre densidades, siendo la más alta la de mayor densidad evaluada (300 plántulas/m²) y la más baja la de menor densidad (75 plántulas/m²). De los 45 a los 60 dds las tasas de crecimiento en altura son similares en todas las densidades probadas.

La velocidad de crecimiento del tallo en todos los tratamientos de densidad es similar y se desacelera después de los 45 dds (Figura 22), tal vez porque la prioridad de las plántulas en ese momento es el crecimiento en altura y la formación y crecimiento de las hojas.

Respecto al área foliar las velocidades de crecimiento son similares entre las distintas densidades evaluadas (Figura 23). En el promedio se ve una ligera aceleración en la formación de área foliar de los 45 a los 60 dds, indicando que es prioridad en esas etapas fenológicas, la formación de más hojas.

En todas las densidades evaluadas, la tasa de crecimiento en peso seco de las plántulas sufre una marcada aceleración de los 45 a los 60 dds respecto al periodo que va de los 30 a los 45 dds (Figura 24). No obstante, de los 45 a los 60 dds hay un efecto diferencial de aceleración en función de la densidad, donde las que crecieron a una densidad de 200 plántulas/m² y tuvieron luz artificial, aumentaron más rápido su peso seco, posiblemente porque realizaron fotosíntesis por más horas al día acumulando más fotoasimilados que los demás tratamientos de manera similar a lo reportado por Contreras (2007).

Por último, respecto a la RAF en el promedio de las densidades probadas se encontró una aceleración en el área foliar formada por gramo de peso seco de los 30 a los 45 dds, mientras que de los 45 a 60 dds ocurrió lo contrario (Figura 25), reiterando que es alrededor de los 45 dds donde las plantas invierten proporcionalmente más en la formación y crecimiento de hojas. Destaca también que a esa edad son las plántulas bajo mayor densidad (300 plántulas/m²) las que más cm² de hoja forman por gramo de peso seco, en tanto que las que crecieron en menor densidad fueron las que proporcionalmente invirtieron menos en área foliar por gramo de peso seco total. Posiblemente en este último caso, por efecto de una mayor intercepción de luz por planta, el grosor de las hojas fue mayor (Taiz y Zaiger 2002), aunque no se midió directamente este parámetro.

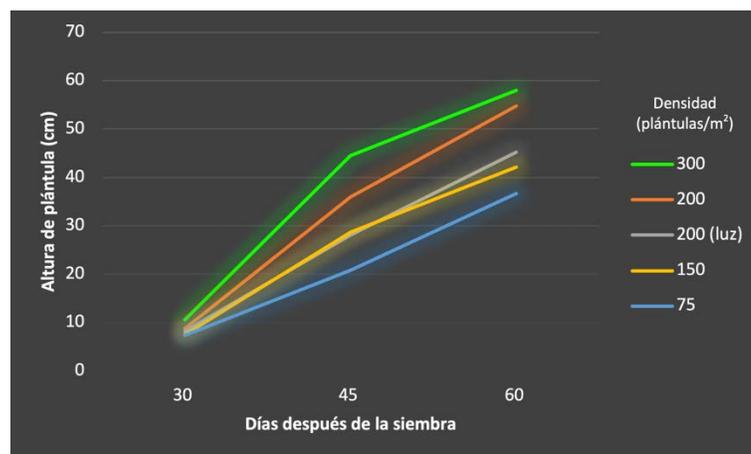


Figura 21. Tendencias del crecimiento en altura de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad.

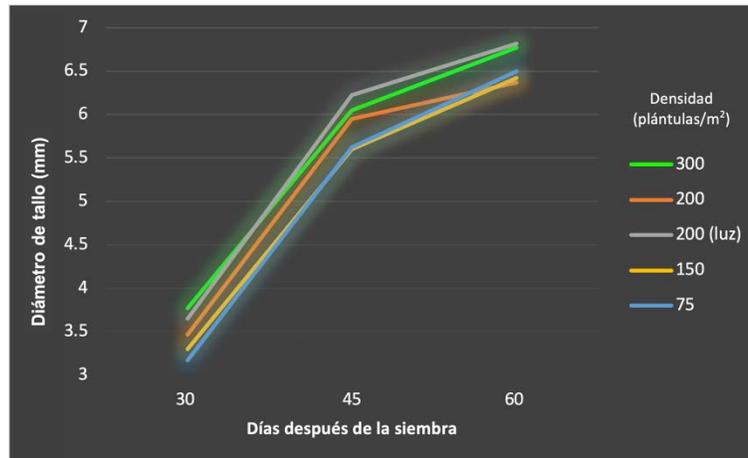


Figura 22. Tendencias del crecimiento del diámetro del tallo de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad.

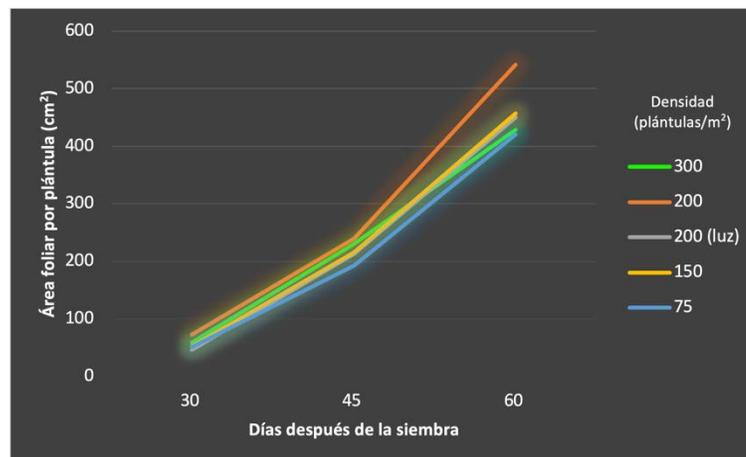


Figura 23. Tendencias del crecimiento del área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad.

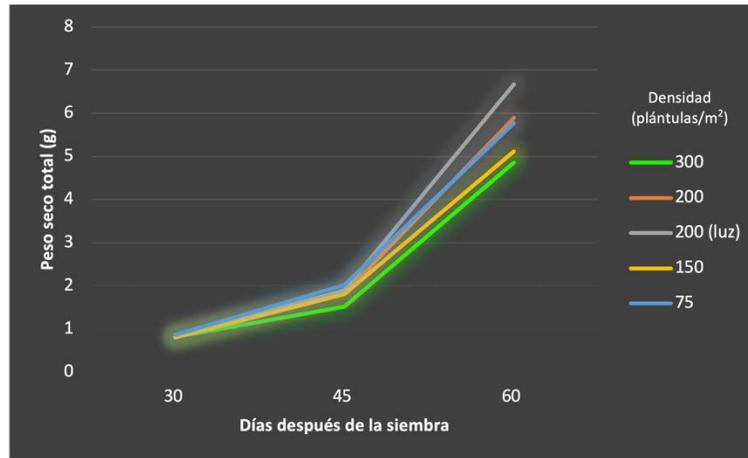


Figura 24. Tendencias del crecimiento del peso seco de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad.

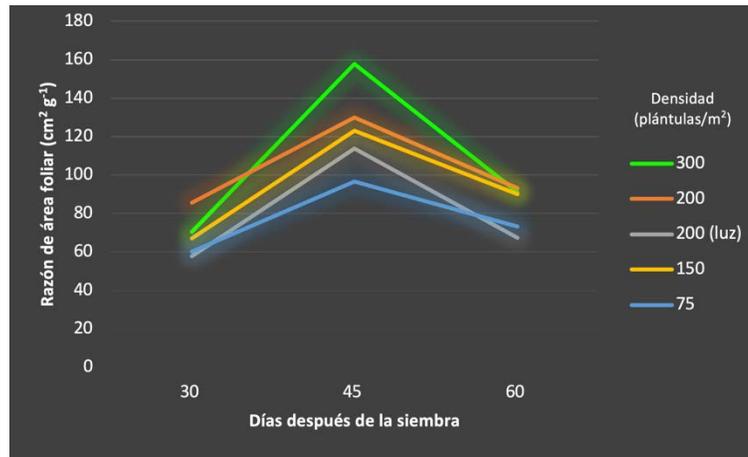


Figura 25. Tendencias del crecimiento o decremento de la razón de área foliar de los 30 a los 45 y de los 45 a los 60 días después de la siembra para distintas densidades de plántulas manejadas en contenedores de 250 ml de capacidad.

1.5.2. Rendimiento y sus componentes

De acuerdo con los Cuadros 8 y 9, no se encontraron diferencias estadísticas en rendimiento por planta, ni para ninguno de sus componentes, entre los dos volúmenes de contenedor estudiados. Esto significa que la prolongación del trasplante hasta los 60 dds, como sucedió en el presente experimento, permite acortar el ciclo de trasplante a fin de la cosecha a menos de 90 días, haciendo potencialmente posible la obtención de cuatro ciclos de cultivo al año de plantas manejadas a tres racimos.

Normalmente las plántulas creciendo en charolas con cavidades de 25 ml se trasplantan a los 30 dds, pero aún cuando, como en el presente experimento, se retrase el trasplante hasta los 40 dds, difícilmente se pueden alcanzar tres ciclos completos por año manejando despuntes a tres racimos por planta.

Cuatro ciclos por año con rendimientos de 2163 g/planta a una densidad de 8 plantas/m² de invernadero equivalen a 17 kg/m² o, a una escala comercial, a 170 t/ha/ciclo, potencialmente 680 t/ha/año en cuatro ciclos. Esto es el doble de lo que se generalmente se obtiene en un ciclo anual con un sistema de producción convencional bien manejado.

Rendimientos similares por ciclo para jitomate saladette a tres racimos por planta han sido reportados a nivel experimental (Sánchez *et al.*, 2014; González y Pablo, 2017; Sánchez *et al.*, 2017a; Sánchez *et al.*, 2017b) y un poco menores a escala comercial (Sánchez, 2016).

Cuadro 8. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 y 250 ml a diferentes densidades de población.

| FV | GL | Número de Flores | Número de Frutos | Peso de Frutos | Rendimiento |
|--------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Bloque | 3 | 0.3 ^{NS} | 3.1 ^{NS} | 254 ^{NS} | 137308 [*] |
| Volumen | 1 | 1.6 ^{NS} | 7.2 ^{NS} | 0.4 ^{NS} | 74563 ^{NS} |
| Densidad (Volumen) | 8 | 0.9 ^{NS} | 3.4 ^{NS} | 152 ^{NS} | 36909 ^{NS} |
| Error | 27 | 2.0 | 2.8 | 119 | 38905 |
| CV | | 7.54 | 9.72 | 8.63 | 8.94 |
| Media general | | 18.8 | 17.5 | 126.4 g | 2206 g |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

Cuadro 9. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 y 250 ml a diferentes densidades de población.

| Volumen (ml) | Número de Flores | Número de Frutos | Peso de Frutos | Rendimiento |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| 25 | 19 a | 18 a | 126 a | 2249 a |
| 250 | 19 a | 17 a | 127 a | 2163 a |
| DMS | 0.91 | 1.1 | 7.08 | 127.9 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey (P≤0.05). DMS= Diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 10, se muestran los análisis de varianza para las variables de rendimiento y sus componentes de plantas de jitomate que, en fase de semillero, permanecieron en charolas de 200 cavidades con un volumen de 25 ml por cavidad y fueron manejadas a diferentes densidades y trasplantadas a los 40 dds. Para peso medio de fruto se encontraron diferencias significativas, no así en las demás variables consideradas (número de flores por planta, número de frutos por planta y rendimiento por planta).

Cuadro 10. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 ml a diferentes densidades de población.

| FV | GL | Número de Flores | Número de Frutos | Peso de Frutos | Rendimiento |
|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Bloque | 3 | 2.9 ^{NS} | 3.6 ^{NS} | 122.3 ^{NS} | 50371 ^{NS} |
| Densidad | 4 | 1.3 ^{NS} | 2.9 ^{NS} | 247.7 [*] | 16198 ^{NS} |

| | | | | | |
|---------------|----|------|------|---------|--------|
| Error | 12 | 1.4 | 2.4 | 58.0 | 35323 |
| Media general | | 19.0 | 17.9 | 126.3 g | 2249 g |
| CV | | 6.3 | 8.7 | 6.0 | 8.35 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

En el Cuadro 11 se observa que el rendimiento por planta fue similar para todas las densidades de plántulas en semillero. También fueron similares el número de flores y frutos por planta. Sólo en peso de fruto destacó el tratamiento de densidad de 750 plántulas/m² con luz suplementaria de los 20 a los 40 dds, que tuvo un peso de fruto significativamente mayor al tratamiento manejado a 1000 plántulas/m² sin luz suplementaria, pero no respecto a los demás tratamientos.

Cuadro 11. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 25 ml a diferentes densidades de población.

| Volumen (ml) | Densidad | Número de Flores | Número de Frutos | Peso de Frutos (g) | Rendimiento (g/planta) |
|--------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| 25 | 1000 | 19 a | 19 a | 117 b | 2175 a |
| 25 | 750 | 19 a | 18 a | 128 ab | 2335 a |
| 25 | 750 (con luz) | 18 a | 17 a | 137 a | 2247 a |
| 25 | 500 | 20 a | 18 a | 129 ab | 2285 a |
| 25 | 250 | 19 a | 18 a | 120 ab | 2202 a |
| DMS | | 2.69 | 3.52 | 17.17 | 423.6 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey (P≤0.05). DMS= Diferencia mínima significativa. (Luz): se suministró luz suplementaria con lámparas LED de color blanco de 100 μmol de fotones por 18 horas.

Respecto a los análisis de varianza para las variables de rendimiento y sus componentes de plantas de jitomate que en fase de semillero crecieron en charolas de 60 cavidades con un volumen de 250 ml a diferentes densidades y fueron trasplantadas hasta los 60 dds, se encontraron diferencias significativas únicamente para rendimiento por planta (Cuadro 12).

Cuadro 12. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población.

| FV | GL | Número de Flores | Número de Frutos | Peso de Frutos | Rendimiento |
|---------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Bloque | 3 | 3.6 ^{NS} | 9.20 ^{**} | 547 [*] | 169639 ^{**} |
| Densidad | 4 | 0.4 ^{NS} | 3.17 ^{NS} | 56.2 ^{NS} | 35793 ^{NS} |
| Error | 12 | 1.5 | 1.07 | 106.5 | 14129 |
| Media general | | 18.5 | 17.20 | 126.5 | 2182 |
| CV | | 6.7 | 6.02 | 8.1 | 5.44 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 13) destaca que el mayor rendimiento por planta (2325 g) fue obtenido con el tratamiento de menor densidad en semillero (75 plántulas/m²), aunque sólo difirió estadísticamente del tratamiento de 200 plántulas/m² con luz suplementaria de los 20 a los 60 dds. Respecto a los componentes del rendimiento: número de flores, número de frutos y peso de frutos, no se detectaron diferencias significativas.

Cuadro 13. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero en contenedores de 250 ml a diferentes densidades de población.

| Volumen (ml) | Densidad | Número de Flores | Número de Frutos | Peso de Frutos (g) | Rendimiento (g) |
|---------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 250 | 300 | 19 a | 18 a | 124 a | 2231 a |
| 250 | 200 | 19 a | 16 a | 133 a | 2142 a |
| 250 | 200 (con luz) | 18 a | 17 a | 124 a | 2110 a |
| 250 | 150 | 19 a | 17 a | 127 a | 2104 a |
| 250 | 75 | 19 a | 18 a | 126 a | 2325 a |
| DMS | | 2.78 | 2.33 | 23.2 | 267.9 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey (P≤0.05). DMS= Diferencia mínima significativa. (Luz): se suministró luz suplementaria con lámparas LED de color blanco con un flujo de 100 μmol de fotones por 18 horas.

1.6. CONCLUSIONES

De acuerdo con estos resultados se puede concluir lo siguiente:

1. No hubo diferencias en rendimiento y calidad de frutos entre plantas que fueron manejadas en contenedores de 25 ml y que fueron trasplantadas a los 40 días después de la siembra (testigo) respecto a plantas que crecieron en semillero en contenedores de 250 ml de capacidad y que fueron trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.
2. Es posible realizar el trasplante hasta los 60 días después de la siembra sin efectos adversos posteriores en el rendimiento o calidad de frutos usando contenedores de 250 ml de capacidad. Esto acorta el periodo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, abriendo la posibilidad de obtener hasta cuatro ciclos al año con plantas despuntadas arriba del tercer racimo, lo que significa un incremento del orden de 25 % en rendimiento anual para este sistema de producción manejado a tres racimos por planta.
3. La mejor calidad de plántula para trasplantes exitosos a los 60 días después de la siembra en contenedores de 250 ml de capacidad, en términos de indicadores morfológicos, se obtuvo manejando una densidad de población baja (75 plántulas/m²). Fue el tratamiento con menor altura de planta al trasplante, combinado con un buen grosor del tallo, relativamente menos área foliar, pero con hojas más gruesas (menor razón de área foliar) y un alto peso seco si se considera en relación a su menor altura. Aunque fue uno de los tratamientos con mayor rendimiento por planta, es el que más espacio ocupó en semillero, lo que puede ser una consideración económica a tomar en cuenta a escala comercial.
4. Ni el incremento en el volumen de contenedor de plántulas en semillero de 25 a 250 ml, ni la disminución en la densidad de población por plántula

influyeron en la formación de más flores y/o frutos por planta, lo que no apoya la hipótesis planteada al inicio de este trabajo en el sentido de que un mayor espaciamiento de plántulas y un mayor volumen para el crecimiento de la raíz, favorecen la formación de más flores en las tres primeras inflorescencias. Se sugiere más investigación al respecto.

1.7. LITERATURA CITADA

- Adams, M. W. 1982. Plant development and crop productivity. *In*: Rechcigl, M. (ed). CRC handbook of agricultural Productivity. 1: 151-183.
- Arreguín, C. F. 2015. Estudio y desarrollo de tecnología modular para una agricultura protegida sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). pp:1-12.
- 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.
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of 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.
- Cantiffle D. J. (1993). Pre-and postharvest practices for improved vegetable transplant quality. *HortTechnology* 3: 415-417.
- Cooper, A. J. and R. G. Hurd. 2002. The influence of cultural factors on arrested development of the first inflorescence of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 43: 243-248.
- 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. 123 p.
- Dufault, R. J. and Waters, L. Jr. 1985. Interaction of nitrogen fertility and plant populations on transplanted broccoli and cauliflower yields. *HortScience*, USA. 128 p.

- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama agroalimentario Tomate rojo. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310> (consultado en Marzo 2020).
- González Espíritu, D. A. y Pablo Santiago, J. 2017. Evaluación del Rendimiento y sus Componentes en Dos Variedades de Jitomate, con Diferentes Arreglos de Plantas en Dosel en Forma de Escalera. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 63 p. (Tesis Profesional).
- Heuvelink, E. and Dorais, M. 2005. Plant growth and yield. *In*: Heuvelink, E. (ed). Tomatoes. CABI. Publishing Co. Wageningen, The Netherlands. pp: 85-144.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant growth Regulation* 2: 277-285.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *Journal of horticultural Science* 45: 19-27.
- Leskovar, D. I. and D. J. Cantliffe. 1991. Growth and yield of tomato plants in response to age of transplants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116 (3): 416-420.
- López, V. M.; Sánchez, Del C. F. y Contreras, M. E. 2002. Efecto del Cycocel y B-nueve sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos y altas densidades. *Revista Chapingo: Serie Horticultura* 8(2): 161-170.
- Méndez, G. T.; Sánchez, Del C. F.; Sahagún, C. J.; Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo, Serie horticultura* 11(1): 185-192.
- NeSmith, D.S. and Duval, J.R. (1998) The effect of container size. *HortTechnology* 8: 495-498.
- Picken, A. J. F.; Stewart, K. and Klapwijk. D. 1986. Germination and vegetative development. *In*: The tomato crop. Atherton, J. G. and J. Rudich (eds). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 110-166.
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M. and Inouye D. W. 1987. Restricted root zone volume: influence on growth and development of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 763-769.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E.; Coatzín, R. R. Colinas, L. M. T. Peña, L. M. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 16: 207-214.

- Sánchez, Del C. F. y Corona, S. T. 1994. Evaluación de Cuatro Variedades de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un Sistema Hidropónico de Producción a Base de Despunte y Altas Densidades. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 1(2): 109-114.
- Sánchez, Del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V. A. Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotecnia Mexicana* 21(1): 1-13.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Pastor, Z. O.; Contreras M. E. 2017. Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3): 333-340.
- Sánchez Del Castillo, F.; Moreno Pérez E. Del C.; Vázquez Rodríguez, J. C.; González Núñez, M. A. 2017b. Densidades de población y niveles de despunte para variedades contrastantes de jitomate en invernadero. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 23(3): 163-174.
- Sánchez Del Castillo, F. 2016. Validación Comercial de un Sistema de Producción de Jitomate Basado en la Formación de Doseles en Forma de Escalera. Informe Técnico de Proyecto de Transferencia de Tecnología 2015. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 26 p.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., Magdaleno, V. J., Pineda, P. J., Martínez, D. T. y Vázquez R. J. C. 2015. Validación comercial de un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 26 pp.
- Sánchez Del Castillo, F.; Moreno Pérez, E. del C.; Pineda Pineda, J.; Osuna Rodríguez, J. M.; Rodríguez Pérez, J. E.; Osuna Encino, T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia* 48(2): 185-197.
- Sánchez Del C. F., Moreno P. C., Contreras M. E. 2012. Development of alternative comercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Horticulturae* 947: 179-187. Doi: 10.17660/ActaHortic.2012.947.22.
- Sánchez, del C. F.; Bastida A. O.; Moreno, P. E.; Contreras, M. E. y Sahagun, C. J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 20 (3): 48-59.
- Vavrina, C. S., Olson, S. M., Gilreath, P. R. and Lamberts, M. L. 1996. Transplant depth influences tomato yield and maturity. *HortScience* 31: 190-192.
- Wien, H. C. 1997. Transplanting. *In: The physiology of vegetable crops*. H.C. Wien (ed). CABI Publishing. Department of Fruit and Vegetable Science, Cornell University, Ithaca, NY, USA. pp: 37-67.

CAPÍTULO 2. EFECTOS DE LUZ BLANCA SUPLEMENTARIA, SOBRE ASPECTOS MORFOGENÉTICOS, CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA EN JITOMATE.

2.1. RESUMEN

La radiación solar tiene dos funciones importantes en el desarrollo de las plantas; como fuente de energía para realizar la fotosíntesis y como señal que controla el crecimiento. Cuando se generan cambios en la calidad de luz, se producen modificaciones en la planta que afecta su anatomía y fisiología. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de suministrar luz suplementaria blanca durante la fase de semillero, sobre parámetros de calidad y vigor de plántulas para ser trasplantadas a los 60 días después de la siembra y en la promoción de más flores en las tres primeras inflorescencias de plantas despuntadas al tercer racimo. Como material vegetal se utilizó el híbrido Bullseye de Jitomate, que es de fruto tipo saladette y hábito de crecimiento semideterminado. Se probaron 10 tratamientos que resultaron de la combinación de tres ubicaciones de las lámparas de luz suplementaria (arriba del dosel, abajo del dosel y en ambas posiciones) y tres tiempos de aplicación (durante el día, durante la noche y tanto durante el día como por la noche), más un tratamiento testigo sin aplicación de luz suplementaria. Se usó un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones y 16 plántulas por unidad experimental. El arreglo de los tratamientos fue factorial con dos factores. La luz suplementaria se suministró con lámparas LED de color blanco de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de flujo fotónico fotosintético. En las plántulas se evaluaron altura, diámetro de tallo, área foliar, peso seco y razón de área foliar. Posteriormente se evaluaron el número de flores y rendimiento y sus componentes (número de frutos por planta y peso medio de fruto). A los datos obtenidos se les aplicó análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se encontró que la aplicación de luz suplementaria blanca, ocasionó una disminución importante en la altura de planta al momento del trasplante, y que la mayor duración de luz suplementaria al día (diurno + nocturno y del interior + exterior del dosel) dio por resultado plántulas con menos área foliar y menos razón de área foliar al momento del trasplante. La ubicación de las lámparas y la duración de aplicación de luz led suplementaria, no influyeron en el número de flores, ni en el rendimiento y sus componentes.

Palabras claves: *Solanum lycopersicum* L., Luz led, plántulas de jitomate

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

Autor: Lázaro Portillo Márquez

Director de tesis: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo.

2.2. INTRODUCCIÓN

En México, la producción de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) creció a una tasa promedio anual de 3.6 % entre 2007 y 2017, para ubicarse en un máximo histórico de 3.47 millones de toneladas. En ese mismo periodo, la superficie cultivada en campo abierto se redujo a una tasa promedio anual de 5.9 %, al pasar de 64,663 a 35,175 hectáreas, mientras que la superficie establecida con agricultura protegida (invernaderos y malla sombra) pasó de 1,973 a 15,198 hectáreas; es decir, creció a una tasa promedio anual de 22.7 %. Así, la producción obtenida con el uso de estas tecnologías pasó de 0.9 % en 2003 a 32.2 % en 2010, y hasta 63.3% del volumen total producido en el 2017 (FIRA, 2017).

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 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 (Heuvelink y Dorais, 2005). 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 lo cual contribuye a un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2012). Aunado a estos problemas, el periodo de cosecha es extenso y el precio de venta en los mercados a los cuales se pueden acceder es muy fluctuante, por lo cual se ve afectado el beneficio económico del productor.

Aprovechando la facilidad de manejo de esta especie, se han desarrollado prácticas culturales tales como podas, despuntes, tutoreo y manejo de densidades de población, encaminadas a optimizar su producción en invernadero (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 2012). Sánchez *et al.* (2010), reportan que a través de investigación secuenciada, se han logrado desarrollar y validar comercialmente tecnologías alternativas de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero que se basan en acortar el ciclo de cultivo desde trasplante a fin de cosecha a menos de cuatro meses mediante el trasplante de plántulas con mayor edad combinando con el despunte temprano (remoción de la yema terminal) de las plantas para dejarles sólo los tres primeros racimos y una altura menor a 1 m. Comparado con un sistema convencional, el rendimiento por planta es mucho menor, pero por unidad de superficie se compensa parcialmente al utilizar mayor densidad de población (7 a 9 plantas/m²/ciclo), lo cual es posible debido a la menor área foliar que desarrollan las plantas despuntadas a dicha altura. De esta manera, el ciclo del cultivo de trasplante a cosecha se acorta tanto que se hace posible lograr tres o hasta cuatro ciclos de cultivo por año, y con ello obtener una productividad anual superior a la del sistema convencional (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2017).

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

Los rendimientos logrados en este sistema han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencialmente 500 t/ha/año en tres ciclos); esto sin necesidad de invernaderos de alta tecnología (Sánchez *et al.*, 2012); sin embargo, se piensa que es posible incrementarlos mucho más mediante dos estrategias; una acortando el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días para obtener cuatro ciclos por año en vez de los tres que se manejan

actualmente, y otra promoviendo la formación de más flores y frutos por inflorescencia.

En climas templados como el de Chapingo, Texcoco, Estado de México, se podrían obtener cuatro ciclos por año si fuera posible alargar la edad de las plántulas al trasplante hasta los 50 a 60 días. Si esto se pudiera lograr sin efectos adversos en el crecimiento posterior, el rendimiento anual sería un 25 % mayor al sistema de tres ciclos de cultivo por año.

La viabilidad técnica de retrasar el trasplante hasta los 60 días después de la siembra (dds) con el sistema de despuntes para dejar tres racimos por planta, ya se ha comprobado de manera experimental (López *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2014), e incluso ya se ha validado comercialmente con empresas productoras (Complejo Agrícola de Morelos, Industria Agropecuaria Junco, Rancho Cartujano, Hidroponía Tepetlaoxtoc). Con ello se ha podido acortar el ciclo del cultivo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, pero con la necesidad de manejar las plántulas en contenedores muy grandes, con capacidad de 500 o más cm³ en los semilleros. Sin embargo, hace falta encontrar formas más prácticas y económicas ya que, a nivel comercial, ha impactado negativamente el uso de mucho espacio en el semillero y un elevado costo de mano de obra para el trasplante, debido a que se trabaja con altas densidades de población y plántulas con cepellones muy grandes que hacen difícil y laboriosa esta labor.

La utilización del espacio disponible y el tiempo de ocupación del semillero son factores importantes en la eficiencia de la producción, por lo que la alternativa más frecuente ha sido aumentar la cantidad de plantas por unidad de superficie mediante la utilización de bandejas o charolas con mayor número de cavidades por unidad de superficie (Dufault y Waters, 1985).

Estas condiciones de cultivo pueden generar mayor competencia entre las plantas que se encuentran creciendo en altas densidades, con una tendencia a

desarrollarse en altura y producir plantas elongadas que resultan más débiles a la manipulación durante y después del trasplante, y más susceptibles a daños mecánicos o a otras condiciones de estrés (Ruff *et al.*, 1987).

Indicadores de calidad para trasplantes tan tardíos como a los 60 días después de la siembra (dds), incluyen plántulas compactas con entrenudos cortos, tallo grueso, hojas más pequeñas, con mayor espesor y con elevada eficiencia fotosintética y mayor peso seco por unidad de altura (Sánchez *et al.*, 1998). Con este tipo de plántulas se busca evitar estrés al trasplante que conduzca eventualmente a un menor rendimiento al final del ciclo del cultivo.

La luz tiene dos funciones importantes en el crecimiento de las plantas; como fuente de energía para la fotosíntesis y como señal que controla el crecimiento, regula la floración y afecta la morfogénesis (Momokawa *et al.*, 2011).

Según Takahashi y Badger (2011), cuando se generan cambios en la calidad o en la intensidad de la radiación incidente, se producen modificaciones en la planta que afectan su anatomía y fisiología, así como su crecimiento y desarrollo.

Tomando en cuenta estas consideraciones, en el presente trabajo se plantea que el uso de luz led suplementaria blanca, ya sea aplicada durante el día, o durante las primeras horas de la noche, puede contribuir a formar plántulas más compactas al disminuir la elongación de los entrenudos por el sombreado mutuo provocado por las altas densidad de población que se manejan en el semillero; además, la fotosíntesis extra que otorga esta luz suplementaria puede contribuir a formar plántulas con un mayor grosor de tallo y peso seco, y la mayor intensidad de flujo fotónico, o el incremento de la integral diaria de radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente, pueden favorecer efectos morfogenéticos encaminados hacia hojas más gruesas y compactas (Taiz y Zeiger, 2002).

Cabe mencionar que el patrón de calidad de luz que se genera con luz blanca proveniente de abajo del dosel es diferente a cuando se aplica convencionalmente de arriba hacia abajo (Jishi, 2018), además de que, en el primer caso, se iluminan mejor las hojas de abajo del dosel que normalmente son las más desfavorecidas por la radiación natural (Tewolde *et al.*, 2018).

También la luz suplementaria puede ser aplicada durante el día o durante algunas horas de la noche, o incluso abarcar horas del día y horas de la noche, tres situaciones que pueden conducir a efectos diferentes.

Con respecto a la estrategia de formar más flores y frutos por inflorescencia, si se pudiera aumentar el número de frutos producidos en cada racimo sin una disminución significativa del peso medio por fruto, el rendimiento anual podría incrementarse significativamente (si se cosecharan cuatro ciclos por año con 8 plantas/m²/ciclo y con tres racimos cada planta, se tendrían 96 frutos más por año, y si se considera un peso medio de fruto de 150 g, supondría un incremento adicional de casi 15 kg/m²/año o 150 t/ha/año).

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 de dicho 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, dos aspectos que, tal vez, podrían modificarse favorablemente mediante la aplicación de luz suplementaria.

Hurd y Cooper (1970), Calvert (1973), Aung (1978) y Picken *et al.*, 1968), mencionan que el carácter de inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más flores por racimo que los racimos simples) o simplemente el

incremento en el número de flores formadas por inflorescencia, 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.). 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).

En el presente experimento se busca evaluar en particular si la luz suplementaria blanca aplicada en ese periodo sensitivo, ya sea durante el día o la noche y de arriba hacia abajo del dosel, o viceversa, pudiera tener un efecto positivo sobre la iniciación floral en las tres primeras inflorescencias.

2.3. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de aplicación luz suplementaria blanca en el semillero sobre parámetros de calidad y vigor de plántulas de jitomate para ser trasplantadas hasta los 60 días de edad, sin efectos adversos posteriores en rendimiento y calidad de frutos.
2. Estudiar los efectos de la aplicación de luz suplementaria blanca en semillero sobre la promoción de más flores en las tres primeras inflorescencias de jitomate.
3. Comparar si los efectos de aplicación de luz suplementaria según la ubicación de la fuente emisora (iluminación de arriba del dosel hacia abajo, de abajo hacia arriba o en ambas direcciones), o según las horas de aplicación (durante el día, durante la noche o durante parte del día y de la noche) son iguales o diferentes.

2.4. HIPÓTESIS

1. La luz suplementaria blanca, aplicada durante la fase de semillero, debido a una mayor fotosíntesis y a efectos morfogénéticos, favorecerá la expresión de indicadores de calidad de plántulas de jitomate creciendo en charolas a una densidad de 200 plántulas/m² para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.
2. La luz suplementaria blanca, aplicada en durante la fase de semillero, debido a una mayor fotosíntesis estimulará la iniciación y desarrollo de más flores por inflorescencia en plántulas de jitomate creciendo en charolas a una densidad de 200 plántulas/m² para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.
3. La aplicación de luz suplementaria aplicada en la fase de semillero de abajo hacia arriba durante el día, al cambiar el patrón de calidad de luz, provocará cambios morfogénéticos que se expresarán como plántulas más compactas y aptas para el trasplante hasta los 60 días después de la siembra (menos altura y más peso por unidad de altura) que las iluminadas por arriba en el mismo horario diurno.

2.5. MATERIALES Y MÉTODOS

2.5.1. Ubicación del experimento

La investigación se llevó a cabo en condiciones de invernadero, en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado geográficamente en las siguientes coordenadas: 19°29'35.3" N y 98°52'21.1" W, con una altitud de 2250 msnm.

El invernadero utilizado en fase de semillero fue de tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico, de alta dispersión de luz y contó con una superficie de 300 m². El control de las condiciones ambientales se logró 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 calefacción con calefactor automático de gas a base de combustión directa, el cual ayudó a controlar temperaturas bajas y altas humedades relativas; 3) un sistema de muro húmedo y extractores que permitieron controlar ciertos niveles de temperatura y humedad relativa.

El manejo después del trasplante se llevó a cabo en un invernadero con características similares con una superficie cubierta de 500 m².

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.

2.5.2. Material vegetal

Se utilizó una variedad de jitomate tipo saladette “Bulls eye”. Esta variedad es de la empresa Seminis®, y son plantas determinadas con ciclo precoz, plantas vigorosas y con carga uniforme de frutos de más de 160 gramos.

2.5.3. Conducción del experimento

La siembra de la semilla se realizó el 23 de julio de 2018; para ello se utilizaron charolas germinadoras de 60 cavidades con capacidad de 250 ml. Como sustrato se utilizó una mezcla de peat-moss, perlita y arena fina de tezontle en proporción 1:1:1. La densidad de población fue de 200 plántulas m⁻² y 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; Manganeso, 1; Boro, 0.5; Cobre, 0.1 y Zinc, 0.1. Durante los primeros 15 días esta solución se aplicó la mitad de su concentración, de ahí en adelante y hasta el final de la cosecha, se utilizó la concentración completa.

La luz suplementaria fue aplicada de los 20 a los 60 días después de la siembra (dds) según el tratamiento correspondiente (Figura 26).

A los 60 dds, las plantas fueron trasplantadas a camas de 1 m de ancho rellenas con una capa de 25 cm de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Se colocaron tres hileras de plantas por cama a una distancia de 33 cm entre hileras y 25 cm entre plantas. Cada cama contaba con un sistema de riego a base de cintillas con goteros integrados a cada 20 cm.

Desde los 50 dds se eliminaban los brotes laterales conforme iban apareciendo. A los 70 dds una vez ya formada la tercera inflorescencia se despuntaron las plantas (eliminación de la yema terminal), dejando dos hojas por encima del tercer racimo.

En el Cuadro 14, se muestra las fechas en que se hicieron algunas de las actividades en la conducción del experimento, así como las fechas en que ocurrieron algunos eventos en las plantas.

Cuadro 14. Fechas de desarrollo del cultivo.

| Desarrollo del cultivo | | |
|--|--------------|---|
| Etapa | Fecha | Días después de la siembra (dds) |
| Siembra | 23-jul-18 | 0 dds |
| Trasplante 200 cavidades | 27-ago-18 | 35 dds |
| Trasplante 60 cavidades | 20-sep-18 | 60 dds |
| Antesis primera flor | 10-sep-18 | 50 dds |
| Despunte | 10-oct-18 | 80 dds |
| Inicio de cosecha | 13-nov-18 | 114 dds |
| Fin de cosecha | 15-dic-18 | 148 dds |
| Días de trasplante a fin de cosecha 200 cavidades | 15-dic-18 | 110 dds |
| Días de trasplante a fin de cosecha 60 cavidades | 15-dic-18 | 85 dds |

2.5.4. Descripción de tratamientos

Se probaron 10 tratamientos que resultaron de la combinación de tres ubicaciones de las lámparas de luz suplementaria (arriba del dosel, abajo del dosel y en ambas posiciones) y tres horarios de aplicación (durante el día, durante la noche y tanto durante el día como por la noche), más un tratamiento testigo (sin aplicación de luz suplementaria).

La luz suplementaria diurna era proporcionada durante 12 horas (7 am a 7 pm), la nocturna durante seis horas (7 pm a 1 am) y la combinada durante 18 horas (7 am a 1 am del día siguiente), en todos los casos esto fue independientemente de la ubicación de las lámparas.

Las lámparas usadas fueron de la marca Megaluz[®], modelo LSS002, las cuales tienen un gasto energético de 36 W h^{-1} , son de 1.2 m de largo x 7 cm de ancho, producen una temperatura de color de luz de 5000 a 7000° K (luz fría) y un índice de producción de color (IRC) de 80. A 20 cm de distancia de las hojas, producían un flujo fotónico de $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sobre ellas.

Las lámparas para la iluminación superior estuvieron orientadas en dirección este-oeste, con ligera inclinación al lado norte; esto con el objetivo de disminuir el efecto directo de sombra de las lámparas sobre las plantas (Figura 27). Por otro lado, las lámparas para la iluminación de abajo hacia arriba fueron colocadas entre dos hileras de plántulas dentro de las charolas en la misma dirección este-oeste (Figura 28).



Figura 26. Tratamiento donde se muestran lámparas en ubicación tanto inferior como superior para iluminar completamente el dosel de arriba y abajo.



Figura 27. Tratamiento donde se muestran lámparas en ubicación superior para iluminar el dosel de arriba hacia abajo.



Figura 28. Tratamiento donde se muestran lámparas en ubicación inferior para iluminar el dosel de abajo hacia arriba.

A continuación, se describe cada tratamiento en particular:

Tratamiento 1: Sin luz suplementaria (testigo).

Tratamiento 2: Luz suplementaria superior diurna por 12 horas.

Tratamiento 3: Luz suplementaria superior nocturna por 6 horas.

Tratamiento 4: Luz suplementaria superior diurna + nocturna por 18 horas.

Tratamiento 5: Luz suplementaria inferior diurna por 12 horas.

Tratamiento 6: Luz suplementaria inferior nocturna por 6 horas.

Tratamiento 7: Luz suplementaria inferior diurna + nocturna por 18 horas.

Tratamiento 8: Luz suplementaria superior + inferior diurna por 12 horas (Figura 29).

Tratamiento 9: Luz suplementaria superior + inferior nocturna por 6 horas (Figura 30).

Tratamiento 10: Luz suplementaria superior + inferior diurna + nocturna por 18 horas (Figura 31).

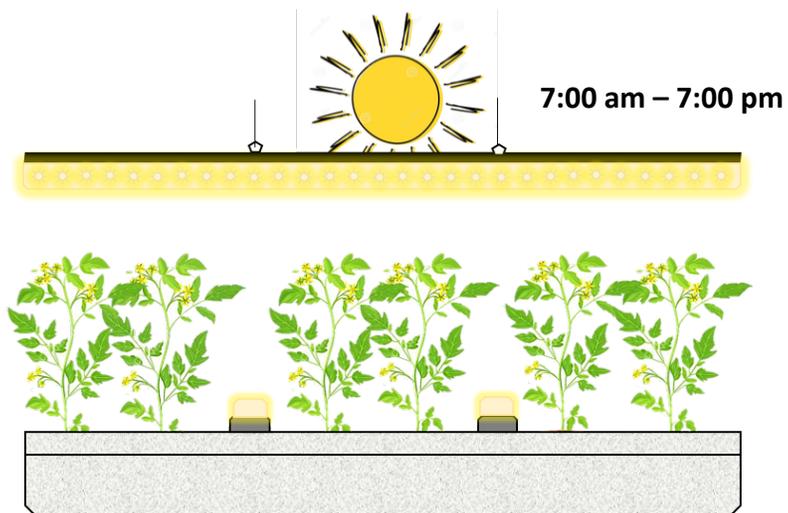


Figura 29. Tratamiento con aplicación de luz suplementaria diurna por 12 horas continuas.

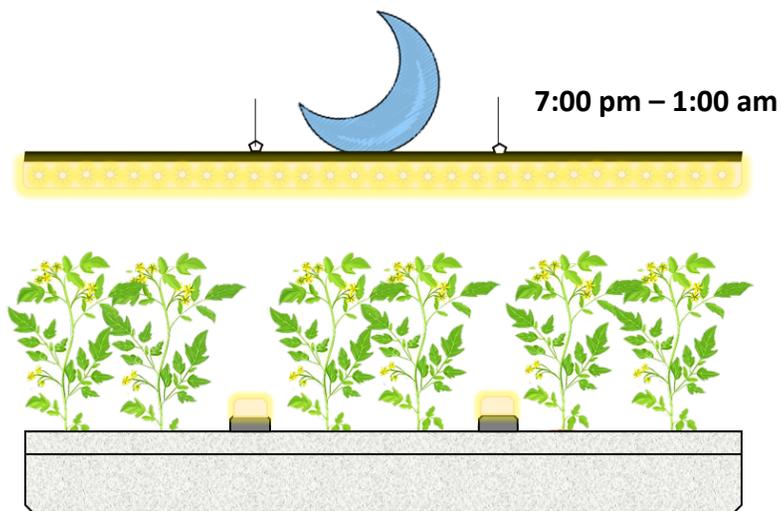


Figura 30. Tratamiento con aplicación de luz suplementaria nocturna por 6 horas continuas.

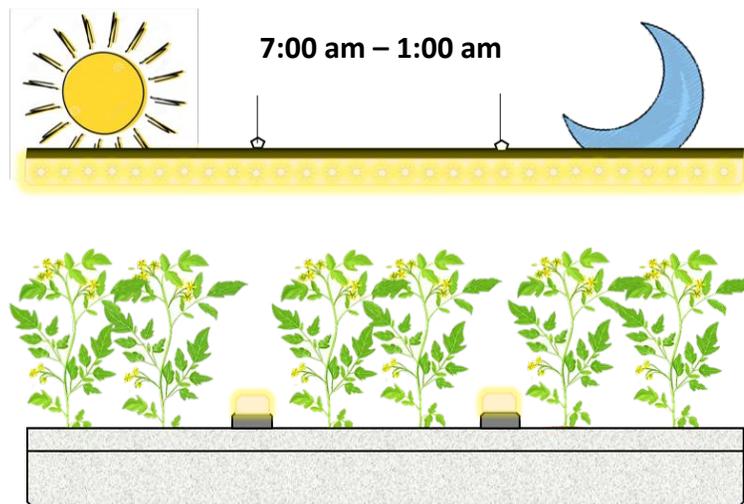


Figura 31. Tratamiento con aplicación de luz suplementaria diurna + nocturna por 18 horas continuas.

2.5.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques al azar de 10 tratamientos con cuatro repeticiones y 16 plántulas por unidad experimental, cada una con competencia completa.

El arreglo de los tratamientos fue factorial con dos factores (ubicación de la fuente de luz y periodos de iluminación) cada uno con tres niveles, más un testigo sin luz suplementaria. Los niveles para el factor ubicación fueron arriba del dosel, abajo del dosel, arriba + abajo del dosel. Para el factor periodos de iluminación los niveles fueron, luz suplementaria diurna, luz suplementaria nocturna y luz suplementaria diurna + nocturna.

2.5.6. Variables estudiadas en el semillero

Durante la etapa de semillero se midieron, a los 30, 45, y 60 dds, variables morfológicas relacionadas con la calidad de plántulas para el trasplante.

1. Altura de plántula (cm). Se utilizó una cinta métrica midiendo desde la base de la plántula hasta el meristemo apical.
2. Diámetro de tallo (mm). Se tomó con ayuda de un vernier electrónico, en el entrenudo de la tercera y cuarta hoja.
3. Área foliar (cm²). Se tomaron dos plantas por cada tratamiento en cada repetición, las cuales fueron llevadas al laboratorio, se separaron sus hojas y se midió su área con un integrador de área foliar (LI-COR MODEL LI-3100).
4. Peso seco (g). Se dispusieron las mismas plantas utilizadas para obtener el área foliar, se introdujeron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa de secado a 70 °C hasta obtener peso constante.
5. Razón de área foliar (cm² de hoja/g de peso seco total de la plántula).

2.5.7. Variables de rendimiento y sus componentes

Respecto a variables relacionadas con el rendimiento y sus componentes se consideraron las siguientes:

1. Número de flores por racimo, en cada racimo y total.
2. Peso medio de frutos por planta (g).
3. Rendimiento por racimo y por planta (g).
4. Días transcurridos del trasplante al primer corte.
5. Días transcurridos del trasplante al último corte.

2.5.8 Análisis de datos

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

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1. Variables estudiadas en el semillero

En el Cuadro 15 se muestran los cuadrados medios y los niveles de significancia para las variables morfológicas utilizadas como indicadores de la calidad de plántulas medidas a los 30, 45 y 60 dds.

A los 30 dds se detectaron diferencias altamente significativas entre tratamientos de periodos de aplicación de luz suplementaria para las variables de área foliar, peso seco y razón de área foliar; también las hubo entre tratamientos de posición de lámparas para altura de plántula, peso seco y razón de área foliar. En el caso de diámetro de tallo las diferencias fueron significativas. Para altura de plántula se encontraron diferencias altamente significativas para la interacción de periodo de aplicación y posición de lámparas.

A los 45 dds las diferencias fueron altamente significativas entre tratamientos de periodos de aplicación para altura de plántula, área foliar y razón de área foliar, pero no para diámetro de tallo y peso seco. Las interacciones entre periodos de aplicación y posiciones de lámparas también fueron altamente significativas para las mismas variables de altura de plántula, área foliar y razón de área foliar. Entre tratamientos de posición de lámparas se encontraron diferencias altamente significativas para esas tres variables y significativa para peso seco.

Por último, a los 60 dds, se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos, tanto de periodos de aplicación como de posiciones de lámparas

para altura de plántula, área foliar y razón de área foliar. Las interacciones resultaron altamente significativas para altura de plántula, diámetro de tallo y razón de área foliar.

Cuadro 15. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| FV | GL | Altura de plántula (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm²/g) |
|------------------------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| 30 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 1.23 ** | 0.17 ** | 369 ** | 0.25 ** | 624.9 ** |
| Periodo de aplicación de luz | 3 | 0.46 NS | 0.02 NS | 302 ** | 0.09 ** | 378.5 ** |
| Posición de lámparas | 3 | 1.15 ** | 0.09 * | 93.7 ^{NS} | 0.18 ** | 537.7 ** |
| Periodo*Posición | 9 | 0.94 ** | 0.02 NS | 113 NS | 0.03 ^{NS} | 167.9 NS |
| Error | 45 | 0.19 | 0.03 | 60.5 | 0.02 | 86.1 |
| CV | | 5.22 | 5.17 | 12.2 | 15.7 | 13.4 |
| Media general | | 8.5 | 3.4 | 64 | 0.94 | 69.2 |
| 45 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 3.4 NS | 0.07 NS | 559 NS | 0.03 ^{NS} | 386.81 * |
| Periodo de aplicación de luz | 3 | 113.4 ** | 0.04 NS | 1911** | 0.04 NS | 570.80 ** |
| Posición de lámparas | 3 | 233.2 ** | 0.07 NS | 1582** | 0.19 * | 561.72 ** |
| Periodo*Posición | 9 | 35.1 ** | 0.03 NS | 1043** | 0.05 ^{NS} | 304.40 ** |
| Error | 45 | 2.5 | 0.03 | 312 | 0.05 | 102.7 |
| CV | | 5.0 | 3.17 | 8.6 | 12.4 | 9.28 |
| Media general | | 31.7 | 5.52 | 206 | 1.9 | 109 |
| 60 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 5.9 NS | 0.20 NS | 2661 ^{NS} | 0.26 ^{NS} | 8.3 NS |
| Periodo de aplicación de luz | 3 | 176.2 ** | 0.08 NS | 6315 ** | 0.04 ^{NS} | 192.5 ** |
| Posición de lámparas | 3 | 294.5 ** | 0.01 NS | 8139 ** | 0.25 ^{NS} | 179.7 ** |
| Periodo*Posición | 9 | 72.8 ** | 0.25 ** | 1672 ^{NS} | 0.28 ^{NS} | 80.4 ** |
| Error | 45 | 8.3 | 0.07 | 1060 | 0.19 | 15.4 |
| CV | | 5.7 | 4.49 | 7.39 | 8.1 | 4.8 |
| Media general | | 50.4 | 6.22 | 440 | 5.41 g | 81.4 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

En las pruebas de comparación de medias de variables medidas a los 30 dds, para tratamientos de periodos de aplicación de luz, en el promedio de tratamientos de ubicación de lámparas (Cuadro 16) destacan los siguientes resultados:

- 1) En área foliar, los tres tratamientos de luz suplementaria fueron similares al testigo; sin embargo, el tratamiento de luz suplementaria diurna + nocturna dio por resultado hojas significativamente más pequeñas que la aplicación nocturna.
- 2) La razón de área foliar fue menor al testigo en el tratamiento de luz suplementaria diurna + nocturna, lo que sugiere hojas más pequeñas y más gruesas en este último tratamiento.
- 3) La aplicación de luz suplementaria nocturna, iniciando a los 20 dds, produjo plántulas con mayor peso seco que el testigo.

En el mismo Cuadro 16 se muestran los resultados de las comparaciones de medias a los 30 dds para los tratamientos de ubicación de lámparas en el promedio de periodos de aplicación de luz suplementaria, destacando lo siguiente:

- 1) En los tratamientos de luz suplementaria desde la parte inferior y simultáneamente desde la parte superior e inferior, las plántulas disminuyeron significativamente su altura respecto al testigo y al tratamiento de aplicación de iluminación de la parte superior hacia abajo.
- 2) No hubo efectos significativos para grosor de tallo o área foliar entre tratamientos.
- 3) El peso seco de plántula fue superior con la aplicación simultanea de luz superior + inferior respecto a los demás tratamientos.
- 4) En ese mismo tratamiento la razón de área foliar fue estadísticamente menor al testigo y al tratamiento de luz superior.

Cuadro 16. Pruebas de comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 30 días después de la siembra.

| Tratamiento | Altura de plántula (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm ²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm ² /g) |
|---|-------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------|---|
| Periodo de aplicación de luz suplementaria | | | | | |
| Testigo sin aplicación | 8.5 a | 3.37 a | 63.3 ab | 0.86 b | 76 a |
| Diurno | 8.3 a | 3.41 a | 62.3 ab | 0.9 ab | 68 ab |
| Nocturno | 8.7 a | 3.47 a | 69.5 a | 1.0 a | 69 ab |
| Diurno + nocturno | 8.6 a | 3.41 a | 59.1 b | 0.9 ab | 64 b |
| DMS | 0.41 | 0.17 | 7.33 | 0.14 | 8.75 |
| Ubicación de las lámparas | | | | | |
| Testigo sin aplicación | 8.5 a | 3.37 a | 63 a | 0.86 b | 76 a |
| Superior | 8.9 a | 3.51 a | 64 a | 0.93 b | 71 a |
| Inferior | 8.3 b | 3.35 a | 61 a | 0.90 b | 69 ab |
| Superior + inferior | 8.4 b | 3.44 a | 66 a | 1.10 a | 62 b |
| DMS | 0.41 | 0.17 | 7.33 | 0.14 | 8.75 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales, Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

A los 45 dds los resultados más destacados respecto a los periodos de aplicación fueron en relación a altura, donde las plántulas de los tres tratamientos con aplicación de luz suplementaria fueron de menor altura que las del testigo sin adición de luz (Cuadro 17). También los tratamientos de aplicación de luz nocturna y diurna + nocturna resultaron en plántulas con menor área foliar que el testigo. El tratamiento de luz diurna + nocturna presentó la menor razón de área foliar difiriendo estadísticamente del testigo y del tratamiento de aplicación diurna. Por último, no se dieron diferencias significativas ni en grosor de tallo ni en peso seco de plántula.

Respecto a los resultados de la comparación de tratamientos de ubicación de lámparas a los 45 dds, se encontró que las plántulas de los tratamientos donde la luz suplementaria provenía sólo de la parte inferior o simultáneamente de la parte inferior + superior, tuvieron significativamente menor altura que las del testigo sin luz y las del tratamiento donde la luz suplementaria era proporcionada

desde arriba (Cuadro 17). Algo similar ocurrió con el área foliar, donde las plántulas de los tratamientos donde la luz suplementaria procedía de la parte inferior o superior + inferior tuvieron menos área que el testigo. Por otro lado, el peso seco de las plántulas iluminadas desde la parte superior del dosel, resultó en un peso seco significativamente mayor y una razón de área foliar significativamente menor a las iluminadas desde el interior del dosel.

Cuadro 17. Medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 45 días después de la siembra.

| Tratamiento | Altura de plántula (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm ²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm ² /g) |
|---|-------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------|---|
| Periodo de aplicación de luz suplementaria | | | | | |
| Testigo sin aplicación | 35.3 a | 5.5 a | 221 a | 1.9 a | 114 a |
| Diurno | 29.3 c | 5.5 a | 208 ab | 1.8 a | 113 a |
| Nocturno | 32.1 b | 5.4 a | 202 b | 1.9 a | 106 ab |
| Diurno + nocturno | 30.0 c | 5.5 a | 195 b | 1.9 a | 102 b |
| DMS | 1.48 | 0.16 | 16.65 | 0.22 | 9.55 |
| Ubicación de las lámparas | | | | | |
| Testigo sin aplicación | 35.3 a | 5.5 a | 221 a | 1.9 ab | 114 ab |
| Superior | 34.7 a | 5.5 a | 205 ab | 2.0 a | 103 c |
| Inferior | 29.0 b | 5.4 a | 200 b | 1.7 b | 115 a |
| Superior + inferior | 27.8 b | 5.5 a | 199 b | 1.9 ab | 105 bc |
| DMS | 1.48 | 0.16 | 16.65 | 0.22 | 9.55 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales, Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

A los 60 dds los resultados son muy similares a los encontrados a los 45 dds:

1. La altura de plántula disminuye significativamente cuando la luz suplementaria es aplicada durante el periodo diurno o diurno + nocturno, pero no cuando se aplica sólo en el periodo nocturno. También disminuye significativamente cuando la luz suplementaria proviene del interior del dosel, pero no cuando es proporcionada sólo desde arriba hacia abajo.
2. El área foliar por plántula y la razón de área foliar fueron significativamente menores al testigo en los tratamientos que incluyeron la aplicación de luz suplementaria nocturna, pero no la exclusivamente diurna. También

fueron significativamente menores cuando la luz suplementaria provenía de la parte inferior del dosel, pero no cuando se aplicaba desde arriba.

No se encontraron diferencias significativas para el diámetro del tallo ni en el peso seco por plántula, independientemente de los periodos de aplicación o de la orientación de la fuente de luz.

Cuadro 18. Medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo en contenedores de 250 ml con luz suplementaria en diferentes ubicaciones y periodos de aplicación medidas a los 60 días después de la siembra.

| Tratamiento | Altura de plántula (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm²/g) |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| Periodo de aplicación | | | | | |
| Testigo sin aplicación | 54.1 a | 6.2 a | 462 a | 5.39 a | 86 a |
| Diurno | 47.0 b | 6.3 a | 451 ab | 5.49 a | 82 ab |
| Nocturno | 52.2 a | 6.2 a | 431 bc | 5.38 a | 80 bc |
| Diurno + nocturno | 48.4 b | 6.1 a | 417 c | 5.40 a | 77 c |
| DMS | 2.72 | 0.26 | 30.7 | 0.41 | 3.7 |
| Ubicación de las lámparas | | | | | |
| Testigo sin ubicación | 54.1 a | 6.2 a | 462 a | 5.39 a | 86 a |
| Superior | 54.2 a | 6.2 a | 456 ab | 5.60 a | 82 b |
| Inferior | 46.7 b | 6.2 a | 428 bc | 5.34 a | 80 bc |
| Superior + inferior | 46.8 b | 6.2 a | 415 c | 5.33 a | 77 c |
| DMS | 2.72 | 0.26 | 30.7 | 0.41 | 3.7 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

2.6.2 Interpretación gráfica de las interacciones significativas a los 60 días después de la siembra.

A continuación se presenta un análisis gráfico de las interacciones significativas para las variables morfológicas medidas a los 60 dds.

Como se aprecia en la Figura 32, la interacción significativa para altura de plántula entre periodos de aplicación de luz suplementaria y la ubicación de las lámparas puede ser explicada porque en el tratamiento con iluminación superior

y en el testigo, no hubo cambios en altura para los distintos tratamientos de periodos de aplicación de la luz suplementaria; en cambio, para los tratamientos de ubicación de lámparas inferior y simultáneamente superior + inferior, sí hubo importantes cambios en altura, donde los menores valores correspondieron a los tratamientos donde se aplicó luz diurna sola o simultáneamente luz diurna + nocturna. Es decir, los tratamientos que más redujeron su altura fueron los que combinaron luz suplementaria diurna aplicada desde la parte inferior del dosel, independientemente si se completó con luz nocturna o con luz proveniente de lámparas en la parte superior del dosel.

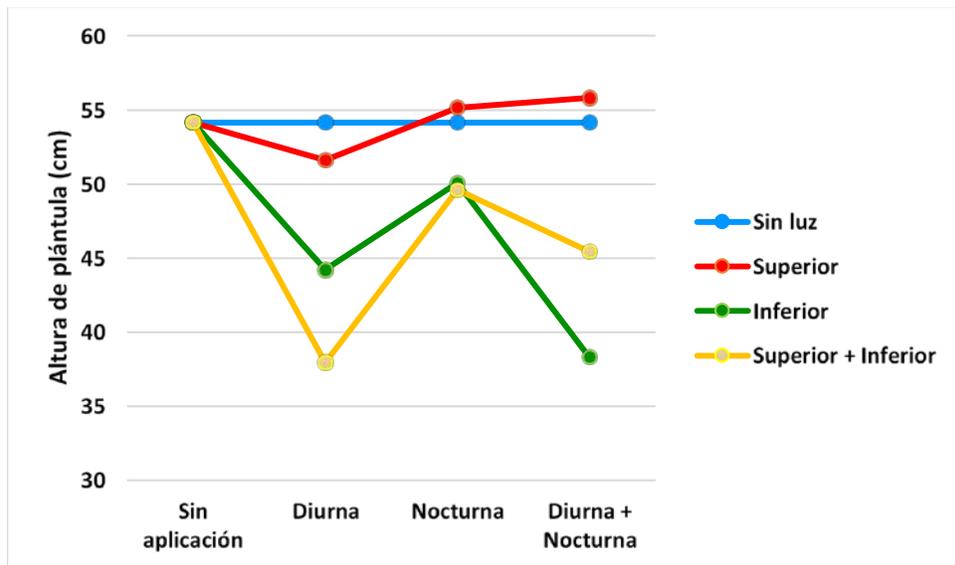


Figura 32. Representación gráfica de la interacción entre periodos de aplicación y ubicación de lámparas para altura de plántula a los 60 días después de la siembra.

Por otro lado, la interacción significativa para diámetro de tallo se debió a que el tratamiento de orientación superior + inferior se comportó diferente a los otros tres tratamientos de ubicación de lámparas, pues con luz suplementaria diurna las plántulas incrementaron su diámetro de tallo y con luz nocturna lo disminuyeron, mientras que los otros tres tratamientos se mantuvieron más o menos estables en ese parámetro, independientemente de los periodos de aplicación (Figura 33).

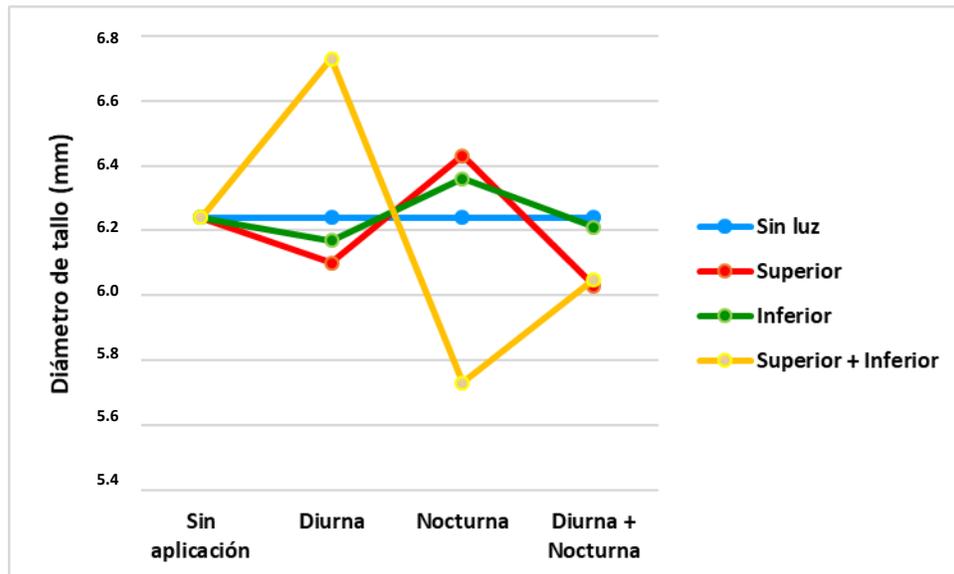


Figura 33. Representación gráfica de la interacción entre periodos de aplicación y ubicación de lámparas para diámetro de tallo a los 60 días después de la siembra.

Por último, la interacción significativa entre los factores periodo de aplicación por ubicación de lámparas para la razón de área foliar se puede explicar porque en presencia de luz suplementaria de luz diurna sola, la razón de área foliar disminuyó con la luz aplicada tanto en la parte superior como superior más inferior respecto al testigo, mientras que con el tratamiento de luz superior se incrementó dicha variable. (Figura 34).

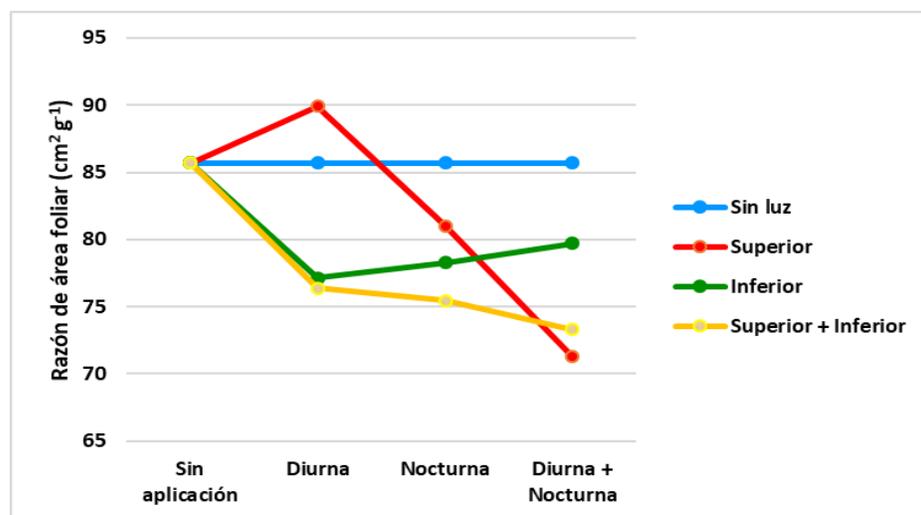


Figura 34. Representación gráfica de la interacción entre periodos de aplicación y ubicación de lámparas para la razón de área foliar a los 60 días después de la siembra.

De acuerdo con varios autores (Frankland y Letendre, 1978; Morgan y Smith, 1981; Taiz y Zeiger, 2002; Hopkins y Hüner, 2009; Jishi, 2018), en condiciones naturales dentro de un dosel donde las plantas se alcanzan a sombrear mutuamente, la radiación es muy deficiente en luz azul y roja, porque estas longitudes de onda son absorbidas en las hojas superiores por la clorofila, no así la luz verde y la radiación en el rojo lejano que son reflejadas por ellas y penetran más en el dosel. Las plantas usan los fitocromos y el criptocromo para detectar estos cambios en cantidad y de calidad de luz provocando respuestas morfogénicas como la elongación de los entrenudos, la exacerbación de la dominancia apical, aumentos en área foliar y/o en la razón de área foliar.

Craver y López (2015), mencionan que lámparas de luz led blanca de 5000° K, como las usadas en el presente experimento, emiten aproximadamente el 23 % de su radiación en azul, 44 % en verde, 33 % en rojo y sólo 4.5 % en rojo lejano.

En condiciones de baja irradiancia en el interior del dosel, cuando la luz azul se combina con luz roja, o cuando la proporción de luz roja en relación a roja lejana es alta se reduce la elongación de los entrenudos disminuyendo la altura de las plántulas (Craver y Lopez, 2016).

Desde los 30 y hasta los 60 dds, cuando la luz suplementaria fue aplicada sólo durante el periodo diurno o diurno + nocturno, las plántulas redujeron su altura. Lo mismo pasó cuando la luz suplementaria fue aplicada sólo en el interior del dosel o combinada también con luz superior.

Seguramente la luz suplementaria blanca, aplicada durante el día y desde el interior del dosel, cambio la calidad de luz percibida por las hojas interiores (más rojo y azul en relación al rojo lejano), evitando la elongación de los entrenudos y disminuyendo la razón de área foliar respecto al testigo sin luz artificial suplementaria o el tratamiento de aplicación sólo desde arriba del dosel.

De manera similar, por estos cambios diferenciales en calidad provocados por la luz suplementaria, el área foliar por plántula disminuyó respecto al testigo cuando la luz suplementaria blanca fue aplicada en el periodo nocturno desde el interior del dosel.

Se puede decir que entre mayor fue el periodo y en consecuencia, la cantidad de radiación fotosintéticamente activa suplementaria proporcionada, menor fue la razón de área foliar de las plántulas. Este resultado concuerda con Taiz y Zeiger (2002), quienes señalan que un efecto morfogénico de las hojas en respuesta a la intensidad de luz, es un aumento en su grosor y una reducción en su área foliar.

La reducción en altura y en área foliar son aspectos que pueden resultar útiles para evitar efectos adversos cuando se busca realizar trasplantes de mayor edad, como en el presente caso, donde se busca realizar los trasplantes hasta los 60 dds sin efectos adversos en rendimiento y calidad a fin de reducir el ciclo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, para hacer posible el logro de cuatro ciclos en un año, lo que otorgaría incrementos en el rendimiento de hasta un 25 % más al año respecto a lo logrado hasta ahora con el sistema de producción de jitomate a tres racimos (Sánchez *et al.*, 2017; Ruiz, 2018). Como lo expresa Kosai (2016), la excesiva elongación del tallo puede disminuir el valor de los trasplantes dado que tallos largos y delgados son fácilmente dañados por estreses ambientales y por el manejo de los trasplantes.

2.6.3. Variables relacionadas con el rendimiento y sus componentes

Como se aprecia en el Cuadro 19, la prueba de análisis de varianza para las variables de rendimiento y sus componentes muestra que hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos de posición de lámparas para el número de flores por planta y significativas para número de frutos. No hubo diferencias estadísticas para ninguna de las variables consideradas entre

tratamientos de periodos de aplicación de luz, ni para las interacciones de periodos de aplicación x posición de lámparas.

Cuadro 19. Cuadrados medios y niveles de significancia de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate manejadas en semillero con contenedores de 250 ml y luz suplementaria proveniente de diferentes ubicaciones y periodos de aplicación de los 20 a los 60 días después de la siembra.

| FV | GL | Número de flores | Número de frutos | Peso de frutos(g) | Rendimiento (g/planta) |
|------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Bloque | 3 | 1.02 ^{NS} | 4.66 ^{**} | 281 [*] | 96052 ^{**} |
| Periodo de aplicación de luz | 3 | 0.35 ^{NS} | 0.12 ^{NS} | 93.8 ^{NS} | 15749 ^{NS} |
| Posición de lámparas | 3 | 3.72 ^{**} | 2.45 [*] | 57.6 ^{NS} | 28256 ^{NS} |
| Periodo*Posición | 9 | 1.52 ^{NS} | 0.83 ^{NS} | 98.4 ^{NS} | 29377 ^{NS} |
| Error | 45 | 0.75 | 0.90 | 89.6 | 21952 |
| CV | | 5.19 | 6.24 | 8.18 | 8.46 |
| Media general | | 16.7 | 15.2 | 116 g | 1751 g |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

Respecto a la prueba de comparación de medias (Cuadro 20), no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos de periodos de aplicación para ninguna de las variables consideradas. Respecto a la de ubicación de lámparas, la iluminación suplementaria desde arriba del dosel, produjo más flores y frutos por planta que la iluminación desde abajo, pero dicha diferencia fue de poca magnitud, por lo que no se alcanzó a reflejar en un mayor rendimiento, ni tampoco se alteró el peso medio de fruto.

En todo caso, puede ser que existan otros factores no determinados que pueden interferir con la respuesta esperada en número de flores a la aplicación de luz suplementaria, como pudiera ser que se estimuló más el crecimiento vegetativo desviando más fotosimilados a los hojas tallos y raíces, o que la temperatura al momento de la iniciación floral fuera relativamente alta, exigiendo más fotoasimilados para la respiración necesaria para la iniciación floral, ocasionando que un mayor porcentaje de primordios de flor abortaran (Atherton y Harris, 1986). Por ejemplo, en un experimento similar al presente, Contreras (1997), sí

encontró un efecto importante en número de flores aplicando luz suplementaria nocturna con una temperatura nocturna constante de 16° C en la fase de semillero.

Aunque en el presente experimento hubo cierto efecto sobre el número de flores, los resultados no parecen lo suficientemente contundentes ni consistentes como para avalar la hipótesis planteada en el sentido de que la luz suplementaria blanca, aplicada en durante la fase de semillero, debido a una mayor fotosíntesis estimularía la iniciación y desarrollo de más flores por inflorescencia en plántulas de jitomate creciendo en charolas a una densidad de 200 plántulas m⁻² para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.

Cuadro 20. Pruebas de comparación de medias de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate manejadas inicialmente en semillero con contenedores de 250 ml y luz suplementaria proveniente de diferentes ubicaciones y periodos de aplicación desde los 20 hasta los 60 días después de la siembra.

| Tratamiento | Número de flores | Número de frutos | Peso de frutos (g) | Rendimiento (g/planta) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Periodo de aplicación | | | | |
| Testigo sin aplicación | 16.75 a | 15.25 a | 113.00 a | 1719 a |
| Diurno | 16.81 a | 15.18 a | 114.43 a | 1735 a |
| Nocturno | 16.81 a | 15.25 a | 117.18 a | 1791 a |
| Diurno + nocturno | 16.50 a | 15.06 a | 118.25 a | 1759 a |
| DMS | 0.81 | 0.89 | 8.92 | 139.7 |
| Ubicación de las lámparas | | | | |
| Testigo sin ubicación | 16.7 ab | 15.25 ab | 113 a | 1719 a |
| Superior | 17.3 a | 15.68 a | 116 a | 1809 a |
| Inferior | 16.5 b | 14.75 b | 117 a | 1721 a |
| Superior + inferior | 16.2 b | 15.06 ab | 117 a | 1755 a |
| DMS | 0.81 | 0.89 | 8.9 | 140 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey (P≤0.05). DMS= Diferencia mínima significativa.

2.7. CONCLUSIONES

La aplicación de luz suplementaria blanca en plántulas de jitomate en el semillero, ocasionó una disminución importante en la altura de planta al momento del trasplante (60 días después de la siembra) cuando la ubicación de las lámparas fue en el interior del dosel y la luz se aplicó durante el día. También los tratamientos de 18 horas de luz suplementaria al día (diurno + nocturno) y del interior + exterior del dosel dieron por resultado plántulas al trasplante con menos área foliar y con menos razón de área foliar, cambios que favorecen el trasplante tan tardío como 60 días después de la siembra.

Aunque el tratamiento de aplicación de luz suplementaria en semillero, desde la parte superior del dosel, tuvo un efecto significativo en el número de flores y frutos formados por planta, el efecto no fue tan importante como para influir en el rendimiento por planta.

2.8. LITERATURA CITADA

- Adams, M. W. 1982. Plant development and crop productivity. *in*: Rechcigl, M. (ed). CRC handbook of agricultural Productivity 1: 151-183.
- Atherton, J. G. and Harris, G. P. 1986. Flowering. *In*: Atherton, J. G. and Rudich, (eds). The Tomato Crop. Chapman and Hall, London, England. 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.
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of 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.
- Craver, J. K. and López, R. G. 2016. Control of morphology by manipulating light quality and daily light integral using LEDs. *In: Kozai, T.; Fujiwara, K.; Runle, E. S. (eds). Led Lighting for Urban Agriculture*. Springer. Singapore, Singapore. pp: 203-217.
- Dufault, R. J. and Waters, L. Jr. 1985. Interaction of nitrogen fertility and plant populations on transplanted broccoli and cauliflower yields. *HortScience, USA*. 128 p.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama agroalimentario Tomate rojo. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310> (consultado en Marzo 2020).
- Frankland, B. and Letendre, R. J. 1978. Phytochrome and effects of shading on growth of woodland plants. *Photochemistry and Photobiology* 27: 223-230.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant growth Regulation* 2: 277-285.
- Hopkins, W. G. and Hüner, N. P. A. 2009. *Introduction to Plant Physiology* (Fourth edition). John Wiley and Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 503 p.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *Journal of horticultural Science* 45: 19-27.
- Jishi, T. 2018. Led lighting technique to control plant growth and morphology. *In: Kosai, T. (ed). Smart Plant Factory*. Springer. Singapore, Singapore. pp: 11-222.
- Kosai, T. 2016. Transplant production in closed systems. *In: Kozai, T.; Niu, G.; Takagaki, M. (eds). Plant Factory*. Elsevier. San Diego, California, USA. pp: 237-250.
- López, V. M.; Sánchez, Del C. F. y Contreras, M. E. 2002. Efecto del Cycocel y B-nueve sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos y altas densidades. *Revista Chapingo: Serie Horticultura* 8(2): 161-170.
- Méndez, G. T.; Sánchez, Del C. F.; Sahagún, C. J.; Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 11(1): 185-192.

- Momokawa, N.; Kadono, Y. and Kudoh H. 2011. Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, *Rotala hippuris*. *Annals of Botany* 108: 1299-1306.
- Morgan, D. C. and Smith, H. 1981. Non-photosynthetic responses to light quality. In: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B.; Ziegler, H. *Physiological Plant Ecology I: Responses to the Physical Environment*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. pp: 109-134.
- Picken, A. J. F.; Stewart, K. and Klapwijk. D. 1986. Germination and vegetative development. *In: The tomato crop*. Atherton, J. G. and J. Rudich (eds). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp: 110-166.
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M. and Inouye D. W. 1987. Restricted root zone volume: influence on growth and development of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 763-769.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Vázquez, R. J. C.; González, N. M. A. 2007. Densidades de población y niveles de despunte para variedades contrastantes de jitomate en invernadero. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 23(3): 163-174.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E.; Coatzín, R. R. Colinas, L. M. T. Peña, L. M. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 16: 207-214.
- Sánchez, Del C. F. y Corona, S. T. 1994. Evaluación de Cuatro Variedades de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un Sistema Hidropónico de Producción a Base de Despuntos y Altas Densidades. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 1(2):109-114.
- Sánchez, Del C. F; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V. A. Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotecnia Mexicana* 21(1): 1-13.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Pastor, Z. O.; Contreras M. E. 2017. Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3): 333-340.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., Magdaleno, V. J., Pineda, P. J., Martínez, D. T. y Vázquez R. J. C. 2015. Validación comercial de un sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 26 p.

- Sánchez Del C. F., Moreno P. C., Contreras M. E. 2012. Development of alternative comercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Horticulturae* 947 179-187.
- Sánchez, del C. F; Bastida A. O.; Moreno, P. E.; Contreras, M. E. y Sahagun, C. J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 20 (3): 48-59.
- Takahashi S., Badger M. R. (2011). Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends Plant Sci.* 16: 53-60.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*, third edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 690 p.
- Tewolde, F. T.; Shiina, K.; Maruo, T.; Takagaki, M.; Kozai, T.; Yamori, W. 2018. Supplemental LED inter-lighting compensates for a shortage of light for plant growth and yield under the lack of sunshine. *PLoS ONE* 13(11): 1-14.

CAPÍTULO 3. EFECTOS DE LA CALIDAD DE LUZ SUPLEMENTARIA EN PLÁNTULAS DE JITOMATE SOBRE ASPECTOS MORFOGENÉTICOS, CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA

3.1. RESUMEN

Cuando se generan cambios en la calidad o proporciones de colores de la radiación solar incidente, se producen modificaciones en la planta que afectan su anatomía y fisiología, así como su crecimiento y desarrollo. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de aplicar luz suplementaria de distintas longitudes de onda durante la fase de semillero, sobre parámetros de calidad y vigor de plántulas de jitomate a los 60 días después de la siembra y sobre la promoción de más flores en las tres primeras inflorescencias por planta. Se utilizó el híbrido Bullseye de jitomate, que es tipo saladette y plantas de crecimiento semideterminadas. Se evaluaron seis tratamientos que surgieron de utilizar cinco calidades de luz suplementaria (100 % luz azul, 100 % luz roja, 100 % luz blanca, 50 % luz roja + 50% luz azul y 67% luz roja + 33% luz azul), más un testigo (sin luz suplementaria). Para proporcionar la luz suplementaria se utilizaron lámparas LED, variando su color según el tratamiento. Las plántulas fueron iluminadas tanto desde la parte superior del dosel (de arriba hacia abajo), como desde el interior del mismo (de abajo hacia arriba) con una intensidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante 18 horas, de los 20 a los 60 días después de la siembra. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, usando 16 plántulas por unidad experimental. Las plantas fueron despuntadas al tercer racimo y conducidas a un solo tallo por planta. Las variables evaluadas en etapa de plántula fueron: altura, diámetro de tallo, área foliar, peso seco y razón de área foliar. Posteriormente se evaluaron: número de flores por inflorescencia y el rendimiento y sus componentes (número de frutos por planta y peso medio de fruto). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se encontró que la luz suplementaria azul y la luz suplementaria blanca, que combina longitudes de onda, azul, roja y verde, produjeron plántulas de menor altura y con menos área foliar, características que se consideran favorables para trasplantes exitosos a los 60 días después de la siembra. Sin embargo, ninguno de los tratamientos de luz suplementaria estimuló la producción de más flores por inflorescencia, y tampoco hubo efectos en el rendimiento y sus componentes.

Palabras claves: *Solanum lycopersicum* L., trasplante tardío, longitudes de onda.

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

Autor: Lázaro Portillo Márquez

Director de tesis: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo.

3.2. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de la agricultura se han creado tecnologías que permiten incrementos muy importantes en los rendimientos de los cultivos. Particularmente el uso combinado de invernaderos y sistemas hidropónicos ha dado por resultado un aumento de la productividad de casi cualquier cultivo y existen casos en los que se supera más de diez veces la producción respecto al mismo cultivo en campo abierto (Arreguín *et al.*, 2015; Sánchez *et al.*, 2017).

En México, la producción de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) creció a una tasa promedio anual de 3.6 % entre 2007 y 2017, para ubicarse en un máximo histórico de 3.47 millones de toneladas. En ese mismo periodo, la superficie cultivada en campo abierto se redujo a una tasa promedio anual de 5.9 %, al pasar de 64,663 a 35,175 hectáreas, mientras que la superficie establecida con agricultura protegida (malla sombra e invernadero) pasó de 1,973 a 15,198 hectáreas, es decir, creció a una tasa promedio anual de 22.7 %. Así, la producción obtenida con el uso de estas últimas tecnologías pasó de 0.9 % en 2003 a 32.2 % en 2010, y hasta 63.3 % del volumen total de producción en el 2017 (FIRA, 2017).

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 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 (Heuvelink y Dorais, 2005). 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 lo cual contribuye a

un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2012). Aunado a estos problemas, el periodo de cosecha es extenso y el precio de venta en los mercados a los cuales la mayoría de los pequeños y medianos productores de invernadero acceden es muy fluctuante, por lo cual se ve afectado su beneficio económico.

Aprovechando la facilidad de manejo de esta especie, se han desarrollado prácticas culturales tales como podas, despuntes, tutoro y manejo de densidades de población, encaminadas a optimizar su producción en invernadero (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 2012). Sánchez *et al.* (2010), reportan que a través de investigación secuenciada, se han logrado desarrollar y validar comercialmente tecnologías alternativas de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero que se basan en acortar el ciclo de cultivo desde trasplante a fin de cosecha a menos de cuatro meses mediante el trasplante de plántulas a mayor edad combinando con el despunte temprano (remoción de la yema terminal) de las plantas para dejarles solo los tres primeros racimos y una altura menor a 1 m. Comparado con un sistema convencional, el rendimiento por planta es mucho menor, pero por unidad de superficie se compensa parcialmente al utilizar mayor densidad de población (7 a 9 plantas/m²/ciclo), lo cual es posible debido a la menor área foliar que desarrollan las plantas despuntadas a dicha altura (Sánchez *et al.*, 1998). De esta manera, el ciclo del cultivo de trasplante a cosecha se acorta tanto que se hace posible lograr tres o hasta cuatro ciclos de cultivo por año, y con ello obtener una productividad anual superior a la del sistema convencional (Sánchez *et al.*, 2017).

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

Los rendimientos logrados en este sistema han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de cultivo de 3.5 meses (potencialmente 500 t/ha/año), esto sin

necesidad de invernaderos de alta tecnología (Sánchez *et al.*, 2012). Sin embargo, se piensa que es posible incrementarlos mucho más mediante dos estrategias; una acortando el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días para obtener cuatro ciclos por año en vez de los tres que se manejan actualmente, y otra promoviendo la formación de mas flores y frutos por inflorescencia.

Si se alargara la edad de plántulas al trasplante hasta los 50 a 60 días sin efectos adversos en su crecimiento posterior y en el rendimiento final, potencialmente se podrían obtener cuatro ciclos por año en vez de tres, y el rendimiento anual seria un 25 % mayor.

La viabilidad técnica de retrasar el trasplante hasta los 60 días después de la siembra (dds) con el sistema de despuntes para dejar tres racimos por planta, ya se ha comprobado de manera experimental (López *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2014), e incluso ya se ha validado comercialmente con empresas productoras (Complejo Agrícola de Morelos, Industria Agropecuaria Junco, Rancho Cartujano, Hidroponía Tepetlaoxtoc). Así se ha podido acortar el ciclo del cultivo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días manejando las plántulas en contenedores grandes con capacidad de 500 o más cm³ de sustrato en los semilleros; sin embargo, hace falta encontrar formas más prácticas y económicas, ya que a nivel comercial ha impactado negativamente el uso de mucho espacio en el semillero y un elevado costo de mano de obra para el trasplante debido a que se trabaja con altas densidades de población y plántulas con cepellones muy grandes que hacen difícil y laboriosa esta labor.

La utilización económica del espacio disponible y el tiempo de ocupación del semillero son factores importantes en la eficiencia de la producción, por lo que la alternativa más frecuente ha sido aumentar la cantidad de plántulas por unidad de superficie mediante la utilización de bandejas o charolas con mayor número de cavidades por unidad de superficie (Dufault y Waters, 1985; Vavrina, 2000).

Sin embargo, estas condiciones de cultivo pueden generar mayor competencia entre las plántulas que se encuentran creciendo en altas densidades, con una tendencia a desarrollarse en altura y producir plantas elongadas que resultan más débiles a la manipulación durante y después del trasplante, y más susceptibles a daños mecánicos o a otras condiciones de estrés (Ruff *et al.*, 1987; Wien, 1999).

Indicadores de calidad para trasplantes tan tardíos como a los 60 días después de la siembra (dds), incluyen plántulas compactas con entrenudos cortos, tallo grueso, hojas más pequeñas, con mayor espesor y con elevada eficiencia fotosintética y mayor peso seco por unidad de altura (Sánchez *et al.*, 1999; Wien, 1997). Con este tipo de plántulas se busca evitar un estrés al trasplante que conduzca eventualmente a un menor rendimiento al final del ciclo del cultivo.

La luz tiene dos funciones importantes en el crecimiento de las plantas; como fuente de energía para la fotosíntesis y como señal que controla el crecimiento, regula la floración y afecta la morfogénesis (Momokawa *et al.*, 2011; Higuchi *et al.*, 2012).

Según Takahashi *et al.* (2012), cuando se generan cambios en la calidad o proporciones de colores de la radiación incidente, se producen modificaciones en la planta que afectan su anatomía y fisiología, así como su crecimiento y desarrollo.

Cuando se incrementa la proporción de luz roja respecto a la roja lejana en el interior de un dosel; por ejemplo, como resultado de aplicar luz suplementaria con alta proporción de luz roja, se reduce la longitud de los entrenudos y, en consecuencia la altura de las plantas (Taiz y Zeiger, 2002; Hopkins y Hüner, 2009). La aplicación de luz suplementaria azul con un poco de luz roja en el interior del dosel inhibe la síntesis de auxinas, reduciendo aún más la longitud de los entrenudos (Cosgrove, 1981).

Según Frechilla *et al.* (2000), la luz azul estimula la apertura de los estomas y aumenta la tasa fotosintética hasta en un 30 % dependiendo de la especie. Asimismo, puede aumentar la biomasa aérea por superficie y estimular la formación de clorofila.

Tomando en cuenta estas consideraciones, en el presente trabajo se plantea que el uso de luz led suplementaria donde predomine la luz azul combinada con luz roja, puede contribuir a formar plántulas más compactas al disminuir la elongación de los entrenudos por el sombreado mutuo provocado por las altas densidad de población que se manejan en el semillero; además, la fotosíntesis extra que otorga la luz suplementaria puede contribuir a formar plántulas con un mayor grosor de tallo y peso seco, y la mayor intensidad de flujo fotónico, o el incremento de la integral diaria de radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente, pueden favorecer efectos morfogenéticos encaminados hacia hojas más gruesas y compactas (Taiz y Zeiger, 2002).

Con respecto a la estrategia de formar más flores y frutos por inflorescencia, si se pudiera aumentar en el número de frutos producidos en cada racimo sin una disminución significativa del peso medio por fruto, el rendimiento anual podría incrementarse significativamente (Por ejemplo, si se cosecharan cuatro ciclos por año con 8 plantas/m²/ciclo y con tres racimos cada una, se tendrían 96 frutos más por año, y si se considera un peso medio de fruto de 150 g, supondría un incremento adicional de casi 15 kg/m²/año o 150 t/ha/año que es el equivalente a lo que se lograría con un ciclo de cultivo más por año).

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 de dicho meristemo, es resultado de la frecuencia de la división y de la expansión celular

que tiene lugar en la interfase 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.* (1968), mencionan que el carácter de inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más flores por racimo que los racimos simples) 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 respecto Contreras (2007), reporta un incremento en el número de flores por planta con tratamientos de aplicación de luz suplementaria en plántulas bajo condición de semillero.

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).

En el presente experimento se busca estudiar el efecto que la luz suplementaria con diferentes longitudes de onda, aplicada en ese periodo sensitivo, pudiera tener sobre el número de flores que se pueden formar durante el periodo de iniciación floral en las tres primeras inflorescencias.

3.3. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de aplicación de luz suplementaria de distintas longitudes de onda en el semillero, sobre parámetros de calidad y vigor de plántulas

de jitomate para ser trasplantadas hasta los 60 días de edad sin efectos adversos posteriores en rendimiento y calidad de frutos.

2. Estudiar los efectos de la aplicación de luz suplementaria de distintas longitudes de onda en el semillero, sobre la promoción de más flores en las tres primeras inflorescencias de jitomate.
3. Comparar si los efectos de aplicación de luz suplementaria según la longitud de onda de la fuente emisora (roja, azul, blanca, o azul y roja combinadas) son iguales o diferentes.

3.4. HIPÓTESIS

1. La luz suplementaria aplicada durante la fase de semillero, sobre todo en colores rojo y azul combinados, debido a efectos morfogenéticos, favorecerá la expresión de indicadores de calidad de plántulas de jitomate creciendo en charolas a una densidad de 200 plántulas/m² para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.
2. La luz suplementaria blanca aplicada durante la fase de semillero en relación a otros colores (rojo, azul o rojo y azul combinados), debido a una mayor fotosíntesis, estimulará la iniciación y desarrollo de más flores por inflorescencia en plántulas de jitomate creciendo en charolas a una densidad de 200 plántulas/m² para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.

3.5. MATERIALES Y MÉTODOS

3.5.1. Ubicación del experimento

Tanto la fase de semillero, como el resto del ciclo de cultivo, se llevaron a cabo en condiciones de invernadero en el campo experimental de la Universidad

Autónoma Chapingo, ubicado geográficamente en las siguientes coordenadas: 19°29'35.3" N y 98°52'21.1" W, con una altitud de 2250 m.

El invernadero utilizado en fase de semillero fue de tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico, de alta dispersión de luz y cuenta con una superficie de 300 m². El control de las condiciones ambientales se logro 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) sistema de calefacción con un calefactor automático de gas a base de combustión directa, el cual ayudó a controlar temperaturas bajas y altas humedades relativas; 3) sistema de muro húmedo y extractores que permitieron controlar niveles altos de temperatura y bajos en humedad relativa.

El manejo después del trasplante se llevó a cabo en un invernadero con características similares, pero que no contaba con 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 de 10 a 16 °C.

3.5.2. Conducción del experimento

La siembra de la semilla se realizó el 23 de julio de 2018; para ello se utilizaron charolas germinadoras de 60 cavidades con capacidad de 250 ml. Como sustrato se utilizó una mezcla de peat-moss, perlita y arena fina de tezontle en proporción 1:1:1. La densidad de población fue de 200 plántulas m⁻² y fueron irrigadas desde la siembra con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de nutrientes en mg L⁻¹: Nitrógeno, 200; Fósforo, 50; Potasio, 200; Calcio, 250; Magnesio, 50; Azufre, 150; Hierro, 2; Manganeso, 1; Boro, 0.5; Cobre, 0.1 y Zinc, 0.1. Durante los primeros 15 días esta solución se aplicó la mitad de su concentración, de ahí en adelante y hasta el final de la cosecha, se utilizó la concentración completa.

La luz suplementaria fue aplicada de los 20 a los 60 dds según el tratamiento correspondiente.

A los 60 dds, las plantas fueron trasplantadas a camas de 1 m de ancho rellenas con una capa de 25 cm de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Se colocaron tres hileras de plantas por cama a una distancia de 33 cm entre hileras y 25 cm entre plantas. Cada cama contaba con un sistema de riego a base de cintillas con goteros integrados a cada 20 cm.

Desde los 50 dds se eliminaron los brotes laterales conforme iban apareciendo. Entre los 70 y 75 dds, una vez ya formada la tercera inflorescencia, se despuntaron las plantas (eliminación de la yema terminal), dejando dos hojas por encima del tercer racimo de las plantas.

En el Cuadro 21, se muestra las fechas en que se hicieron algunas de las actividades en la conducción del experimento, así como las fechas en que ocurrieron algunos eventos en las plantas.

Cuadro 21. Fechas de desarrollo del cultivo.

| Desarrollo del cultivo | | |
|--|--------------|---|
| Etapas | Fecha | Días después de la siembra (dds) |
| Siembra | 23-jul-18 | 0 dds |
| Trasplante 200 cavidades | 27-ago-18 | 35 dds |
| Trasplante 60 cavidades | 20-sep-18 | 60 dds |
| Antesis primera flor | 10-sep-18 | 50 dds |
| Despunte | 10-oct-18 | 80 dds |
| Inicio de cosecha | 13-nov-18 | 114 dds |
| Fin de cosecha | 15-dic-18 | 148 dds |
| Días de trasplante a fin de cosecha 200 cavidades | 15-dic-18 | 110 dds |
| Días de trasplante a fin de cosecha 60 cavidades | 15-dic-18 | 85 dds |

3.5.3. Material biológico

Se utilizó el híbrido de jitomate tipo saladette “Bulls eye”. Es de la empresa Seminis®, son plantas determinadas con ciclo precoz (70-75 días a madurez), plantas vigorosas y con carga uniforme de frutos que alcanzan a pesar más de 160 gramos.

3.5.4. Descripción de tratamientos

Se evaluaron seis tratamientos que surgieron de cinco calidades de luz suplementaria (100 % luz azul, 100 % luz roja, 100 % luz blanca, 50 % luz roja + 50% luz azul y 67% luz roja + 33% luz azul), más un testigo sin luz suplementaria.

Para proporcionar la luz suplementaria se utilizaron lámparas led, variando su color según el tratamiento. Las plántulas fueron iluminadas tanto desde la parte superior del dosel (de arriba hacia abajo), como desde el interior del mismo (de abajo hacia arriba) con una intensidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a una distancia de 20 cm de las lámparas. El periodo de aplicación fue de 18 horas (de 7:00 am a 1:00 am del siguiente día).

A continuación, se esquematizan los seis tratamientos en semillero:

Tratamiento 1: Sin luz suplementaria como tratamiento testigo (Figura 35).



Figura 35. Arreglo de siembra del tratamiento 1 (Testigo). Sin luz suplementaria.

Tratamiento 2: Luz suplementaria azul (Figura 36).

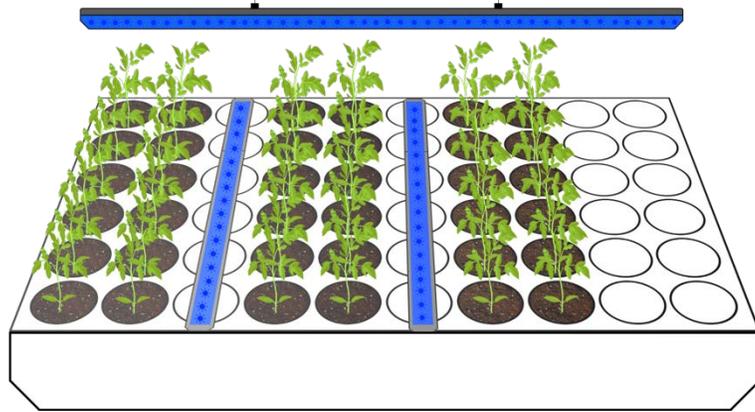


Figura 36. Arreglo de siembra del tratamiento 2, con luz suplementaria azul.

Tratamiento 3: Luz suplementaria roja (Figura 37).

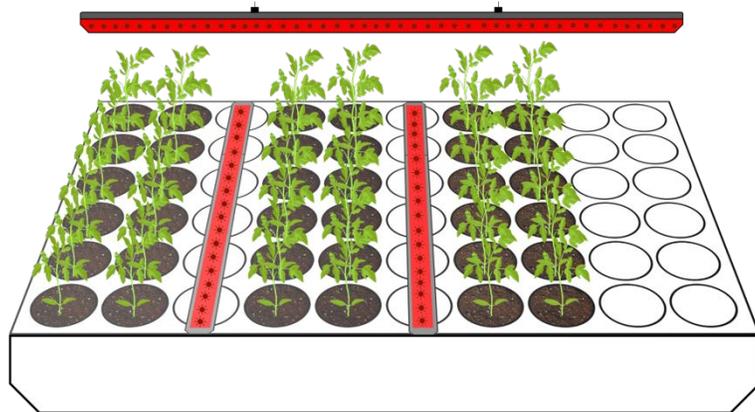


Figura 37. Arreglo de siembra del tratamiento 3, con luz suplementaria roja.

Tratamiento 4. Luz suplementaria blanca (Figura 38).

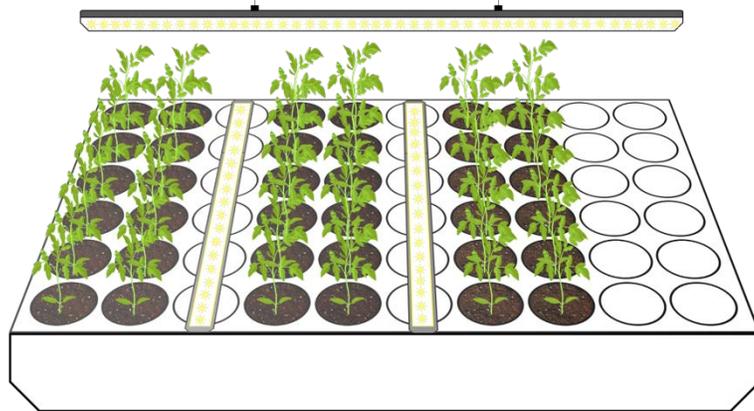


Figura 38. Arreglo de siembra del tratamiento 4, con luz suplementaria blanca.

Tratamiento 5: Luz suplementaria 50 % roja y 50 % azul (Figura 39).

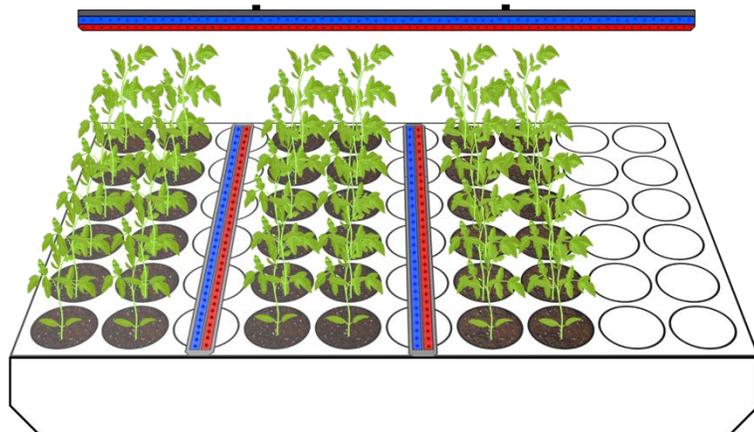


Figura 39. Arreglo de siembra del tratamiento 5, con luz suplementaria 50 % roja y 50 % azul.

Tratamiento 6: Luz suplementaria 67 % roja y 33 % azul (Figura 40).

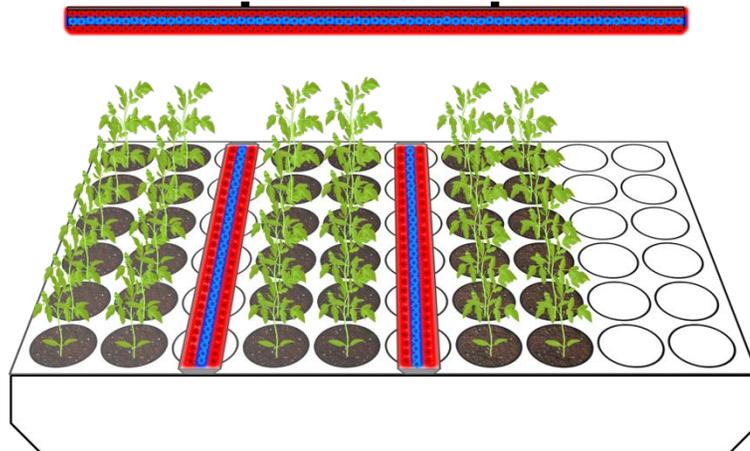


Figura 40. Arreglo de siembra del tratamiento 6, con luz suplementaria 67 % roja y 33 % azul.

3.5.5. Diseño experimental

Se trabajó con un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones y 16 plántulas por unidad experimental.

3.5.6. Variables morfológicas estudiadas en el semillero

1. Altura de plántula (cm). Se midió a los 30, 45 y 60 dds, para ello se utilizó una cinta métrica midiendo desde la base de la planta hasta el meristemo apical.
2. Diámetro de tallo (mm). Se tomó a los 30, 45 y 60 dds con ayuda de un vernier electrónico, en el entrenudo entre la cuarta y quinta hojas.
3. Área foliar (cm²). A los 30, 45 y 60 dds se tomaron dos plantas por cada tratamiento, las cuales fueron llevadas al laboratorio, donde las hojas fueron pasadas por un integrador de área foliar (LI-COR MODEL LI-3100).

4. Peso seco (g). Para obtener el peso seco se dispusieron las mismas plantas utilizadas para obtener el área foliar, se introdujeron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa de secado durante 24 horas.
5. Razón de área foliar (cm² de hoja/g de peso seco total de la plántula). Se calculó con los datos de peso seco y área foliar.

3.5.7. Variables de rendimiento y sus componentes

1. Número de flores por racimo, en cada racimo y total
2. Número de frutos cosechados por racimo y por planta
3. Peso medio de frutos
4. Rendimiento por planta y por racimo
5. Días del trasplante al primer corte
6. Días del trasplante al último corte

3.5.8. Análisis de datos

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

3.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.6.1. Variables estudiadas en el semillero

En el Cuadro 22 se muestran los cuadrados medios y los niveles de significancia para las variables morfológicas utilizadas como indicadores de la calidad de plántulas medidas a los 30, 45 y 60 dds.

A los 30 dds, hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos para altura de plántula, área foliar y peso seco, y significativas para diámetro de tallo.

No se encontraron diferencias estadísticas para la razón de área foliar. A los 45 dds, los resultados son similares, sólo que para diámetro de tallo las diferencias se tornan altamente significativas, mientras que para área foliar son significativas. Por último, a los 60 dds, se encuentran diferencias altamente significativas para altura de plántula y área foliar, significativas para razón de área foliar y no significativas para grosor del tallo y peso seco.

Respecto a las comparaciones de medias a los 30 dds (Cuadro 23.) destaca lo siguiente:

1. Ya se detectan diferencias significativas entre tratamientos de calidad de luz para la altura de plántula. Es el tratamiento testigo sin luz suplementaria con el que se alcanza la mayor altura, difiriendo estadísticamente de los tres tratamientos que involucraron luz suplementaria azul en distintas proporciones (100, 50 y 33 %).
2. En cuanto a diámetro de tallo, ningún tratamiento difiere estadísticamente del testigo.
3. El testigo es el tratamiento con menos área foliar, mientras que los tratamientos con 33 % azul + 67 % roja y el de luz blanca fueron los que presentaron la mayor área.
4. Seguramente como consecuencia de la menor área foliar, también el testigo tuvo el menor peso seco, mientras que los tratamientos 33 % azul + 67 % roja y el de luz blanca tuvieron el mayor peso seco.

A los 45 dds la situación era la siguiente:

1. El tratamiento con 100 % luz suplementaria roja alcanzó la mayor altura de plántula difiriendo estadísticamente de todos los tratamientos, incluyendo al testigo. Los tratamientos de luz blanca, luz 100 % azul y 50 % azul + 50 % roja fueron los que tuvieron la menor altura, difiriendo estadísticamente de los demás tratamientos, incluyendo al testigo.

2. Con 33 % luz azul + 67 % luz roja, el grosor del tallo fue superior a los demás tratamientos, incluyendo al testigo sin luz suplementaria.
3. En área foliar y peso seco por plántula, sólo el tratamiento de luz roja al 100 % sobrepasó estadísticamente al testigo.

Cuadro 22. Cuadrados medios y niveles de significancia de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes calidades de luz suplementaria, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra.

| FV | GL | Altura (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm²/g) |
|---------------|-----------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| 30 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 0.4 ^{NS} | 0.09 ^{NS} | 80.6 ^{NS} | 0.05 ^{NS} | 107.38 ^{NS} |
| Tratamiento | 5 | 2.7 ^{**} | 0.49 [*] | 604.36 ^{**} | 0.17 ^{**} | 171.35 ^{NS} |
| Error | 15 | 0.25 | 0.13 | 84.18 | 0.02 | 81.44 |
| CV | | 5.79 | 9.82 | 15.62 | 20.34 | 12.55 |
| Media general | | 8.63 | 3.74 | 58.70 | 0.83 | 72.0 |
| 45 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 4.3 ^{NS} | 0.22 ^{NS} | 917.4 ^{NS} | 0.24 ^{NS} | 535.76 ^{NS} |
| Tratamiento | 5 | 157 ^{**} | 0.69 ^{**} | 7711 [*] | 0.30 ^{**} | 540.77 ^{NS} |
| Error | 15 | 3.01 | 0.06 | 2202 | 0.06 | 473.59 |
| CV | | 4.97 | 4.48 | 21.16 | 13.12 | 19.6 |
| Media general | | 34.8 | 5.83 | 221.8 | 2.0 | 111.0 |
| 60 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 7.1 ^{NS} | 0.01 ^{NS} | 2882 ^{NS} | 0.53 ^{NS} | 68.52 ^{NS} |
| Tratamiento | 5 | 166 ^{**} | 0.27 ^{NS} | 9286 ^{**} | 0.24 ^{NS} | 295.65 [*] |
| Error | 15 | 9.96 | 0.19 | 1228 | 0.56 | 75.84 |
| CV | | 6.0 | 7.04 | 7.17 | 11.86 | 11.16 |
| Media general | | 52.6 | 6.33 | 489 | 6.32 | 78.0 |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

Finalmente, a los 60 dds, destacan los siguientes resultados:

- I. Los tratamientos con luz 100 % azul y 100 % blanca alcanzaron la menor altura de plántula, difiriendo estadísticamente del testigo. Las diferencias en altura fueron de 12 y 8 cm menos con luz 100 % azul y 100 % blanca, respectivamente. Por otro lado, los tratamientos de luz 100 % roja y 33 % azul + 67 % roja presentaron la mayor altura de plántula, aunque no alcanzaron a diferir estadísticamente del testigo sin luz suplementaria.
- II. Respecto a área foliar, sólo el tratamiento de luz azul difirió del testigo, siendo significativamente menor (89 cm² menos que el testigo por plántula).
- III. Todos los tratamientos de luz suplementaria mantuvieron un peso seco similar al testigo.
- IV. La razón de área foliar fue estadísticamente superior al testigo con los tratamientos de luz 100 % roja y 33 % azul + 67 % roja.

Cuadro 23. Comparaciones de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes calidades de luz suplementaria, medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra.

| Tratamiento | Altura (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm ²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm ² g ⁻¹) |
|-----------------------------|-------------|------------------------|--------------------------------|---------------|---|
| 30 dds | | | | | |
| Sin luz | 9.7 a | 3.41 ab | 41 c | 0.51 b | 82.38 a |
| 100% Luz azul | 8.4 bc | 4.13 a | 45 bc | 0.67 ab | 66.47 a |
| 100% Luz roja | 9.2 ab | 4.03 ab | 64 ab | 0.82 ab | 77.76 a |
| 100% Luz blanca | 8.9 ab | 3.90 ab | 68 a | 1.02 a | 68.12 a |
| 50% Luz azul + 50% Luz roja | 7.3 c | 3.24 b | 64 ab | 0.94 a | 68.20 a |
| 33% Luz azul + 67% Luz roja | 8.2 bc | 3.71 ab | 70 a | 1.05 a | 68.36 a |
| DMS | 1.14 | 0.84 | 21 | 0.39 | 20.73 |
| 45 dds | | | | | |

| | | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|--------|---------|----------|
| Sin luz | 38 b | 5.39 b | 185 b | 1.57 b | 118.07 a |
| 100% Luz azul | 30 c | 5.84 b | 197 ab | 1.83 ab | 106.76 a |
| 100% Luz roja | 44 a | 5.86 b | 302 a | 2.37 a | 128.14 a |
| 100% Luz blanca | 29 c | 5.55 b | 197 ab | 2.11 ab | 95.26 a |
| 50% Luz azul + 50% Luz roja | 30 c | 5.70 b | 209 ab | 2.02 ab | 103.51 a |
| 33% Luz azul + 67% Luz roja | 38 b | 6.59 a | 241 ab | 2.14 ab | 114.23 a |
| DMS | 3.98 | 0.6 | 108 | 0.6 | 49.99 |
| 60 dds | | | | | |
| Sin luz | 56 ab | 6.24 a | 491 a | 6.28 a | 78 ab |
| 100% Luz azul | 44 c | 6.17 a | 402 b | 6.12 a | 66 b |
| 100% Luz roja | 59 a | 6.15 a | 538 a | 6.19 a | 88 a |
| 100% Luz blanca | 48 c | 6.12 a | 475 ab | 6.53 a | 73 ab |
| 50% Luz azul + 50% Luz roja | 49 bc | 6.48 a | 503 a | 6.70 a | 75 ab |
| 33% Luz azul + 67% Luz roja | 60 a | 6.79 a | 523 a | 6.08 a | 88 a |
| DMS | 7.25 | 1.02 | 80.5 | 1.72 | 20 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

En las siguientes figuras se presentan de manera gráfica las tendencias de crecimiento de las plántulas durante los 60 días que estuvieron en el semillero para los distintos tratamientos a los que fueron sometidos.

Destaca el crecimiento acelerado en altura, área foliar y razón de área foliar de los 30 a los 45 dds en el tratamiento de luz suplementaria 100 % roja, seguido del tratamiento 33 % azul + 67 % roja respecto a los demás tratamientos.

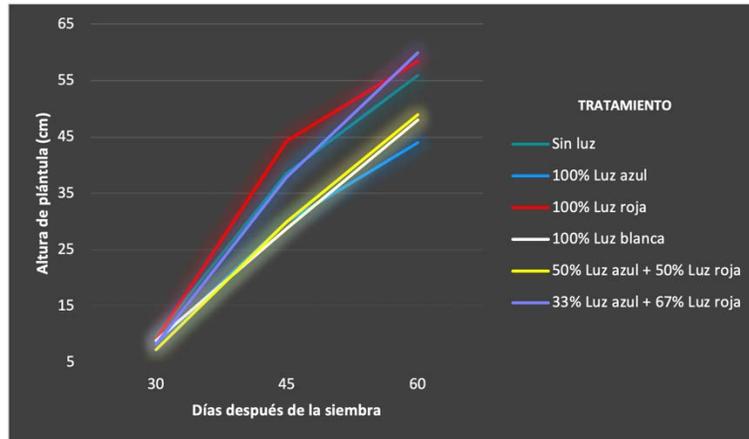


Figura 41. Tendencias del crecimiento en altura de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria.

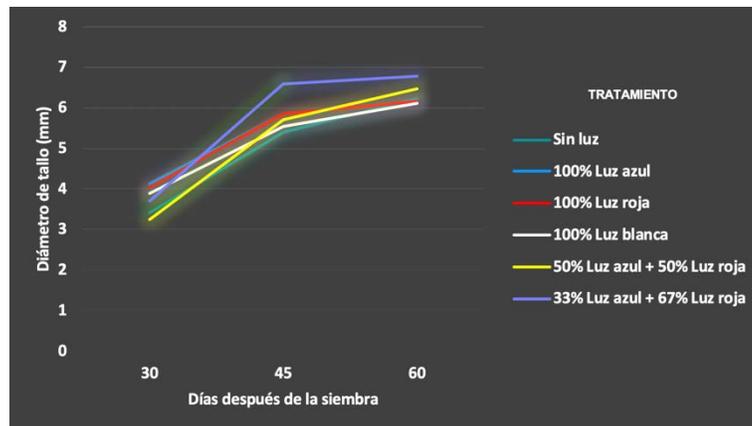


Figura 42. Tendencias del crecimiento en diámetro de tallo de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria.

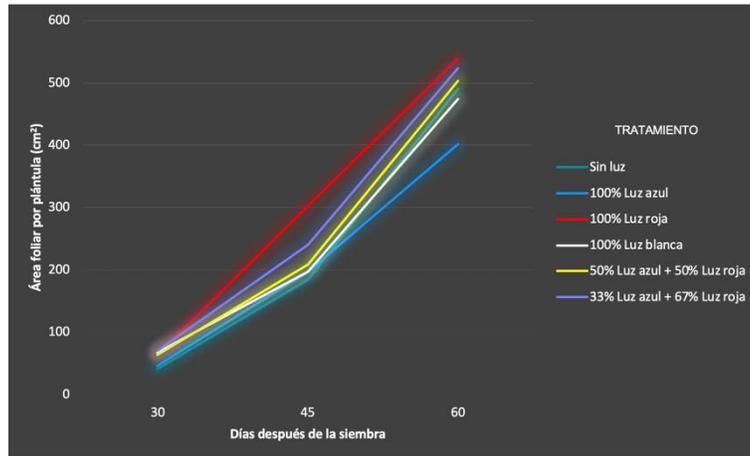


Figura 43. Tendencias del crecimiento en área foliar de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria.

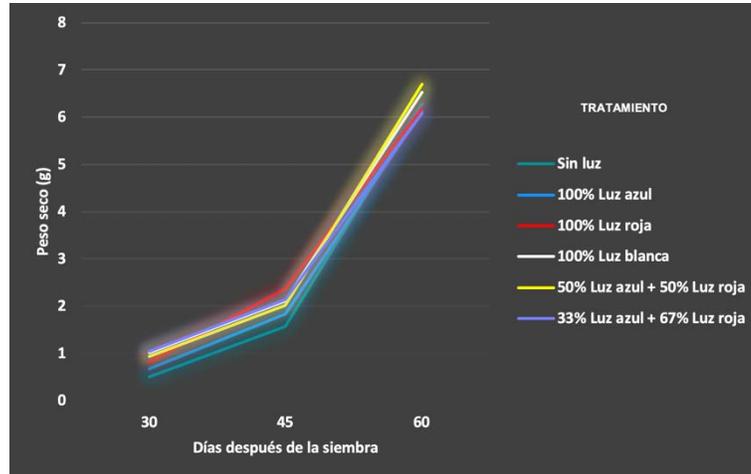


Figura 44. Tendencias del crecimiento en peso seco de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria.

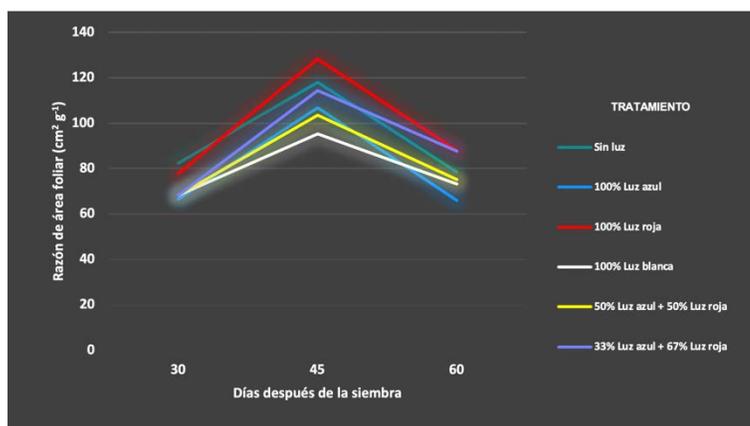


Figura 45. comportamiento de la razón de área foliar en plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra para distintos tratamientos de calidad de luz suplementaria.

La radiación solar, a medida que penetra a través de un dosel de plantas, se va haciendo marcadamente deficiente en luz roja y azul porque estas longitudes de onda son grandemente absorbidas por la clorofila; en contraste, la clorofila es transparente al rojo lejano ya que esta longitud de onda sólo es atenuada por reflexión (Hopkins, 2009). Las plantas usan los fitocromos y el criptocromo para detectar estas diferencias en composición estimulando sistemas de transducción de señales para cambiar la morfología de las plantas (Ward *et al.*, 2005).

Dentro de las respuestas morfogénicas más comúnmente reportadas (Runkle y Heins, 2001; Taiz y Zeiger, 2002; Ménard *et al.*, 2006; Xiaoying *et al.*, 2012; Craver y López, 2016) están la reducción de la longitud de los entrenudos con la luz azul o con la combinación de luz roja y azul en el interior del dosel, tal y como ocurrió en el presente trabajo.

Como lo destaca Kozai (2016), el crecimiento excesivo de los tallos de las plántulas en semillero, como consecuencia de la presión de densidad a la que están sometidas, es perjudicial, sobre todo en el trasplante, o después de él, debido a que las hace más susceptibles a daños incluso por pequeños estreses ambientales.

La luz azul a los 60 dds, provocó una reducción en área foliar y en razón de área foliar mayores al testigo sin luz suplementaria. Efectos morfogénicos parecidos han sido

reportados por Mortensen y Strømme (1987). El reducir el efecto de competencia entre plantas por luz, por la menor área foliar formada por planta, puede ser favorable cuando se manejan plantas en alta densidad como en la etapa de semillero, o posterior al trasplante en el caso particular del sistema de producción de jitomate a tres racimos en alta densidad que se propone en el presente trabajo.

El tratamiento con luz suplementaria blanca de 5000 °K, que incluye una combinación de longitudes de onda rojo, verde y azul en proporciones aproximadas de 30, 43 y 27 % respectivamente (Sager *et al.*, 1988, citado por Goto, 2016), también produjo plántulas con calidad al trasplante, ya que a los 60 dds estaban compactas y con relativamente poca área foliar por plántula.

3.6.2. Variables de rendimiento y sus componentes

En los Cuadros 24 y 25 se puede apreciar que, a pesar de que hubo diferencias significativas entre tratamientos de aplicación de luz suplementaria de distintas calidades sobre variables morfológicas medidas en plántulas de jitomate, no se tradujeron posteriormente en diferencias de rendimiento o de alguno de sus componentes como el número de frutos por planta o el peso medio por fruto.

Finalmente, los cambios morfogenéticos ocasionados por la luz suplementaria en la fase de semillero, no produjeron ninguna afectación en el número de flores formadas por planta. Tampoco se observó una mayor ganancia de peso seco por efecto de la luz suplementaria a los 60 dds que sugiriera una mayor tasa de fotosíntesis.

En ese sentido, en el presente experimento no se encontraron resultados como para sostener la hipótesis de que la luz suplementaria blanca aplicada durante la fase de semillero estimula la iniciación y desarrollo de más flores por inflorescencia en plantas de jitomate en relación a otros colores (rojo, azul o rojo y azul combinados), debido a una mayor fotosíntesis.

Cuadro 24. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento por planta y sus componentes en jitomate manejado en semillero con diferentes calidades de luz suplementaria.

| FV | GL | Número de flores | Número de frutos | Peso de frutos (g) | Rendimiento (g) |
|---------------|-----------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| Bloque | 3 | 0.33 ^{NS} | 2.72 ^{NS} | 38.11 ^{NS} | 103648 ^{NS} |
| Tratamiento | 5 | 2.66 ^{NS} | 1.66 ^{NS} | 93.86 ^{NS} | 56014 ^{NS} |
| Error | 15 | 1.13 | 2.62 | 96.24 | 64885 |
| CV | | 6.51 | 11.23 | 8.26 | 14.9 |
| Media general | | 16.33 | 14.41 | 118.66 g | 1708 g |

*: Significativo $\alpha= 0.05$. **: Altamente significativo $\alpha= 0.01$. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad.

Cuadro 25. Medias de rendimiento y sus componentes en jitomate manejado en semillero con diferentes calidades de luz suplementaria.

| Tratamiento | Número de flores | Número de frutos | Peso de frutos (g) | Rendimiento (g/planta) |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Sin luz | 17.5 a | 14.5 a | 117 a | 1674 a |
| 100% Luz azul | 15.5 a | 13.8 a | 110 a | 1532 a |
| 100% Luz roja | 17.0 a | 15.0 a | 121 a | 1815 a |
| 100% Luz blanca | 15.5 a | 14.8 a | 118 a | 1747 a |
| 50% Luz azul + 50% Luz roja | 16.0 a | 13.5 a | 121 a | 1634 a |
| 33% Luz azul + 67% Luz roja | 16.5 a | 15.0 a | 124 a | 1848 a |
| DMS | 2.44 | 3.72 | 22.5 | 585 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

3.8. CONCLUSIONES

La luz suplementaria azul y la luz suplementaria blanca, que combina longitudes de onda, azul, roja y verde, aplicadas de los 20 a los 60 días después de la siembra produjeron plántulas de menor altura y con menos área foliar, características que se consideran favorables para trasplantes a mayor edad.

Ninguno de los tratamientos de luz suplementaria estimuló la producción de más flores por inflorescencia, ni se tradujo en mayor rendimiento por planta en relación con el testigo.

3.7. LITERATURA CITADA.

Adams, M. W. 1982. Plant development and crop productivity. *In*: Rechcigl, M. (editor). CRC handbook of agricultural Productivity 1:151-183.

Arreguín, C. F. 2015. Estudio y desarrollo de tecnología modular para una agricultura protegida sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). pp: 1-12.

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.

Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of 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.

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. 123 p.

Cosgrove, D.J. 1981. Rapid suppression of growth by blue light. *Plant Physiol*. 67:584–590.

Craver, J. K. and López, R. G. 2016. Control of morphology by manipulating light quality and daily light integral using LEDs. *In*: Kozai, T.; Fujiwara, K.; Runle, E. S. (Editors). *Led Lighting for Urban Agriculture*. Springer. Singapore, Singapore. pp: 203-217.

Dufault, R. J. and Waters, L. Jr. 1985. Interaction of nitrogen fertility and plant populations on transplanted broccoli and cauliflower yields. *HortScience*, USA. 128 p.

- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama agroalimentario Tomate rojo. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310> (consultado en Marzo 2020).
- Frechilla, S., L.D. Talbott, R.A. Bogomolni, and E. Zeiger. 2000. Reversal of blue light-stimulated stomatal opening by green light. *Plant Cell Physiol.* 41:171–176.
- Goto, E. 2016. Measurement of photonmetric and radiometric characteristics of LEDs for plant cultivation. *In*: Kosai, T.; Fujiwara, K.; Runkle, E. S. (editors). *LED Lighting for Urban Agriculture*. Springer Nature. Singapore, Singapore. pp. 395-402.
- Heuvelink, E. and Dorais, M. 2005. Plant growth and yield. *In*: Heuvelink, E. (ed.). *Tomatoes*. CABI. Publishing Co. Wageningen, The Netherlands. pp: 85-144.
- Higuchi, Y., Sumitomo, K., Oda, A., Shimizu, H., & Hisamatsu, T. 2012. Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering. *Journal of Plant Physiology* 169: 1789-1796.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant growth Regulation* 2:277-285.
- Hopkins, W. G. and Hüner, N. P. A. 2009. *Introduction to Plant Physiology* (Fourth edition). John Wiley and Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 503 p.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *Journal of horticultural Science* 45: 19-27.
- López, V. M.; Sánchez, Del C. F. y Contreras, M. E. 2002. Efecto del Cycocel y B-nueve sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos y altas densidades. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 8(2): 161-170.
- Kosai, T. 2016. Transplant production in closed systems. *In*: Kozai, T.; Niu, G.; Takagaki, M. (Editors). *Plant Factory*. Elsevier. San Diego, California, USA. pp: 237-250.
- Ménard, C.; Dorais, M.; Hovi, T.; Gosselin, A. 2006. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. *Acta Horticulturae* 711:291-296.

- Méndez, G. T.; Sánchez, Del C. F.; Sahagún, C. J.; Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 11(1): 185-192.
- Momokawa, N.; Kadono, Y. and Kudoh H. 2011. Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, *Rotala hippuris*. *Annals of Botany* 108: 1299-1306.
- Mortensen, L. M. and Strømme, E. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* 33:27-36.
- Picken, A. J. F.; Stewart, K. and Klapwijk. D. 1986. Germination and vegetative development. *In: The tomato crop*. Atherton, J. G. and J. Rudich (editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 110-166.
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M. and Inouye D. W. 1987. Restricted root zone volume: influence on growth and development of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 763-769.
- Runkle, E. S. and R. D. Heins. 2001. Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:275–282.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E.; Coatzín, R. R. Colinas, L. M. T. Peña, L. M. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16: 207-214.
- Sánchez, Del C. F. y Corona, S. T. 1994. Evaluación de Cuatro Variedades de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un Sistema Hidropónico de Producción a Base de Despuntos y Altas Densidades. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 1(2):109-114.
- Sánchez, Del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V. A. Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotecnia Mexicana* 21(1):1-13.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Pastor, Z. O.; Contreras M. E. 2017. Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3):333-340.
- Sánchez, Del C. F., Moreno, P. E. del C., Magdaleno, V. J., Pineda, P. J., Martínez, D. T. y Vázquez R. J. C. 2015. Validación comercial de un

sistema de producción de jitomate basado en la formación de doseles en forma de escalera (Memoria Técnica). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México 26 pp.

- Sánchez Del C. F., Moreno P. C., Contreras M. E. (2012). Development of alternative comercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Horticulturae* 947, 179-187.
- Sánchez Del C., F.; Ortíz 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.; Bastida A. O.; Moreno, P. E.; Contreras, M. E. y Sahagun, C. J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20 (3): 48-59.
- Takahashi S., Badger M. R. (2012). Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends Plant Sci.* 16: 53–60.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*, third edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 690 p.
- Vavrina, C.S., Olson, S.M., Gilreath, P.R. and Lamberts, M.L. (1996) Transplant depth influences tomato yield and maturity. *HortScience* 31, 190–192.
- Ward, J. M.; Cufu, C. A.; Denzel, M. A. 2005. The D of transcription factor OBP3 modulates phytochrome and cryptochrome signaling in Arabidopsis. *Plant Cell* 17: 475-485.
- Wien, H. C. 1997. Transplanting: *In*: The physiology of vegetable crops. H.C. Wien Editor. CABI Publishing. Department of Fruit and Vegetable Science, Cornell University, Ithaca, NY, USA. pp: 37-67.
- Xiaoying L., Shirong G., Taotao C. Zhigang X., and Tezuka T. 2012. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology*. 11: 6169-6177.

CAPÍTULO 4. EFECTOS DE INTENSIDAD DE FLUJO FOTÓNICO FOTOSINTÉTICO E INTEGRAL DIARIA DE LUZ SUPLEMENTARIA SOBRE ASPECTOS MORFOGENÉTICOS, CALIDAD AL TRASPLANTE Y NÚMERO DE FLORES POR INFLORESCENCIA EN JITOMATE.

4.1. RESUMEN

La luz suplementaria en las plantas ha demostrado ser un factor importante para aumentar la fotosíntesis. Su uso en etapa de semillero permite que las plántulas reciban una mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa, lo que ayuda a que se acelere el crecimiento y desarrollo. En jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), la diferenciación de los primordios florales en las primeras inflorescencias ocurre alrededor de tres o cuatro semanas después de la siembra. Debido a la competencia por azúcares entre el crecimiento vegetativo y reproductivo en esa etapa del crecimiento, muchos primordios florales abortan por falta de azúcares, por lo que solamente pocas flores llegan a antesis. La aplicación de luz suplementaria, podría ayudar a que las plántulas hagan más fotosíntesis y eventualmente dispongan de una mayor cantidad de azúcares para que más primordios florales amarren. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de diferentes intensidades de luz blanca suplementaria en la fase de semillero, sobre parámetros de calidad y vigor de plántulas para ser trasplantadas a los 60 días después de la siembra y sobre la promoción de más flores en las tres primeras inflorescencias de plantas despuntadas al tercer racimo. Se utilizó el híbrido Bullseye de Jitomate tipo saladette y hábito de crecimiento semideterminado. Se probaron siete tratamientos de aplicación de luz suplementaria que resultaron de la combinación de tres intensidades de flujo fotónico fotosintético (100, 200 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y dos intervalos de duración (10 y 20 horas), más un testigo sin aplicación de luz suplementaria. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, con un diseño de tratamientos factorial 3x2. En plántula, las variables evaluadas fueron: altura, diámetro de tallo, área foliar, peso seco total y razón de área foliar. Posteriormente se evaluó el número de flores por racimo y el rendimiento y sus componentes (número de frutos por planta y peso medio de fruto). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se encontró que la aplicación de luz suplementaria blanca, redujo la altura de plántula y la razón de área foliar al momento del trasplante. El peso seco por plántula fue mayor a los 60 días después de la siembra con el tratamiento de mayor densidad de flujo fotónico fotosintético (300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), combinado con la mayor duración del periodo de luz suplementaria diaria (20 horas). La intensidad de flujo fotónico fotosintético y los intervalos de duración probados, no influyeron en el número de flores por inflorescencia, ni en el rendimiento y sus componentes.

Palabras claves: Luz suplementaria, Flujo fotónico, Plántulas de jitomate.

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

Autor: Lázaro Portillo Márquez

Director de tesis: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

4.2. INTRODUCCIÓN

En México, la producción de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) creció a una tasa promedio anual de 3.6 % entre 2007 y 2017, para ubicarse en un máximo histórico de 3.47 millones de toneladas. En ese mismo periodo, la superficie cultivada en campo abierto se redujo a una tasa promedio anual de 5.9 %, al pasar de 64,663 a 35,175 hectáreas, mientras que la superficie establecida con agricultura protegida (invernaderos y malla sombra) pasó de 1,973 a 15,198 hectáreas; es decir, creció a una tasa promedio anual de 22.7 %. Así, la producción obtenida con el uso de estas tecnologías pasó de 0.9 % en 2003 a 32.2 % en 2010, y hasta 63.3 % del volumen total producido en el 2017 (FIRA, 2017).

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 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 (Heuvelink y Dorais, 2005). 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 lo cual contribuye a un alto costo de producción (Méndez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2012). Aunado a estos problemas, el periodo de cosecha es extenso y el precio de venta en los mercados a los cuales se pueden acceder es muy fluctuante, por lo cual se ve afectado el beneficio económico del productor.

Aprovechando la facilidad de manejo de esta especie, se han desarrollado prácticas culturales tales como podas, despuntes, tutoreo y manejo de

densidades de población, encaminadas a optimizar su producción en invernadero (Sánchez *et al.*, 2012). Sánchez *et al.* (2010), reportan que a través de investigación secuenciada, se han logrado desarrollar y validar comercialmente tecnologías alternativas de producción de jitomate en hidroponía bajo invernadero, que se basan en acortar el ciclo de cultivo desde trasplante a fin de cosecha a menos de cuatro meses mediante el trasplante de plántulas a mayor edad combinando con el despunte temprano (remoción de la yema terminal) de las plantas para dejarles solo los tres primeros racimos y una altura menor a 1 m. Comparado con un sistema convencional, el rendimiento por planta es mucho menor, pero por unidad de superficie se compensa parcialmente al utilizar mayor densidad de población (7 a 9 plantas/m²/ciclo), lo cual es posible debido a la menor área foliar que desarrollan las plantas despuntadas a dicha altura. De esta manera, el ciclo del cultivo de trasplante a cosecha se acorta tanto que se hace posible lograr tres o hasta cuatro ciclos de cultivo por año, y con ello obtener una productividad anual superior a la del sistema convencional (Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 2017).

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

Los rendimientos logrados en este sistema han sido altos, con promedio de 16 kg m⁻² por ciclo de 3.5 meses (potencialmente 500 t/ha/año en tres ciclos); esto sin necesidad de invernaderos de alta tecnología (Sánchez *et al.*, 2012); sin embargo, se piensa que es posible incrementarlos mucho más mediante dos estrategias; una acortando el tiempo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días para obtener cuatro ciclos por año en vez de los tres que se manejan actualmente, y otra promoviendo la formación de más flores y frutos por inflorescencia.

En climas templados como el de Chapingo, Estado de México, se podrían obtener cuatro ciclos por año si fuera posible alargar la edad de plántulas al trasplante hasta los 50 a 60 días. Si esto se pudiera lograr sin efectos adversos en el crecimiento posterior, el rendimiento anual sería un 25 % mayor al sistema de tres ciclos de cultivo por año.

La viabilidad técnica de retrasar el trasplante hasta los 60 días después de la siembra (dds) con el sistema de despuntes para dejar tres racimos por planta, ya se ha comprobado de manera experimental (López *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2014), e incluso ya se ha validado comercialmente con empresas productoras (Complejo Agrícola de Morelos, Industria Agropecuaria Junco, Rancho Cartujano, Hidroponía Tepetlaoxtoc, Estado de México). Con ello se ha podido acortar el ciclo del cultivo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, pero con la necesidad de manejar las plántulas en contenedores muy grandes, con capacidad de 500 o más cm³ en los semilleros. Sin embargo, hace falta encontrar formas más prácticas y económicas ya que, a nivel comercial, ha impactado negativamente el uso de mucho espacio en el semillero y un elevado costo de mano de obra para el trasplante debido a que se trabaja con altas densidades de población y plántulas con cepellones muy grandes que hacen difícil y laboriosa esta labor.

La utilización económica del espacio disponible y el tiempo de ocupación del semillero son factores importantes en la eficiencia de la producción, por lo que la alternativa más frecuente ha sido aumentar la cantidad de plántulas por unidad de superficie mediante la utilización de bandejas o charolas con mayor número de cavidades por unidad de superficie (Dufault y Waters, 1985).

Sin embargo, estas condiciones de cultivo pueden generar mayor competencia entre las plántulas que se encuentran creciendo en altas densidades, con una tendencia a desarrollarse en altura y producir plantas elongadas que resultan más débiles a la manipulación durante y después del trasplante, y más

susceptibles a daños mecánicos o a otras condiciones de estrés (Ruff *et al.*, 1987; Wien, 1999). El síndrome de adaptación a la sombra es una consecuencia natural de tal competencia, por la cual las plantas crecen más alto en un esfuerzo por superar a las plantas vecinas por un tiempo limitado (Higuchi *et al.*, 2012).

Indicadores de calidad para trasplantes tan tardíos como a los 60 días después de la siembra (dds), incluyen plántulas compactas con entrenudos cortos, tallo grueso, hojas más pequeñas, con mayor espesor y con elevada eficiencia fotosintética y mayor peso seco por unidad de altura (Sánchez *et al.*, 1999; Wien, 1999). Con este tipo de plántulas se busca evitar un estrés al trasplante que conduzca eventualmente a un menor rendimiento al final del ciclo del cultivo.

La luz tiene dos funciones importantes en el crecimiento de las plantas; como fuente de energía para la fotosíntesis y como señal que controla el crecimiento, regula la floración y afecta la morfogénesis (Momokawa *et al.*, 2011; Higuchi *et al.*, 2012).

Según Takahashi y Badger (2011), cuando se generan cambios en la calidad o en la intensidad de la radiación incidente, se producen modificaciones en la planta que afectan su anatomía y fisiología, así como su crecimiento y desarrollo.

La luz suplementaria puede ser aplicada desde arriba del dosel hacia abajo, pero también las lámparas pueden ser colocadas debajo del dosel e iluminar las hojas de abajo hacia arriba. Una iluminación más uniforme se puede obtener combinando ambas ubicaciones. Cabe mencionar que el patrón de calidad de luz que se genera con luz blanca proveniente de abajo del dosel es diferente a cuando se aplica convencionalmente de arriba hacia abajo (Jishi, 2018), además de que, en el primer caso, se iluminan mejor las hojas de abajo del dosel que normalmente son las más desfavorecidas por la radiación natural (Tewolde *et al.*, 2018).

Tomando en cuenta estas consideraciones, en el presente trabajo se plantea que el uso de luz led suplementaria blanca, ya sea aplicada durante el día, durante las primeras horas de la noche, o en ambas situaciones, puede contribuir a formar plántulas más compactas al disminuir la elongación de los entrenudos por el sombreado mutuo provocado por las altas densidad de población que se manejan en el semillero; además, la fotosíntesis extra que otorga esta luz suplementaria puede contribuir a formar plántulas con un mayor grosor de tallo y peso seco, y la mayor intensidad de flujo fotónico, o el incremento de la integral diaria de radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente, pueden favorecer efectos morfogenéticos encaminados hacia hojas más gruesas y compactas (Taiz y Zeiger, 2002). Todo ello resultaría en plántulas con mejores características morfológicas para ser trasplantadas tan tarde como 60 días después de la siembra (dds) y posibilitar la obtención de cuatro ciclos de cultivo al año.

Con respecto a la estrategia de formar más flores y frutos por inflorescencia, si se pudiera aumentar en el número de frutos producidos en cada racimo sin una disminución significativa del peso medio de fruto, el rendimiento anual podría incrementarse significativamente (por ejemplo, si se cosecharan cuatro ciclos por año con 8 plantas/m²/ciclo y con tres racimos cada planta, se tendrían 96 frutos/m² más por año, y si se considera un peso medio de fruto de 150 g, supondría un incremento adicional de casi 15 kg/m²/año equivalentes a 150 t/ha/año adicionales).

Adams (1982) muestra con ejemplos en varias especies de plantas cultivadas, que el tamaño que alcanza el meristemo apical antes de la inclinación 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 de dicho 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, dos

aspectos que, tal vez, podrían modificarse favorablemente mediante la aplicación de luz suplementaria.

Hurd y Cooper (1970), Calvert (1973), Aung (1978) y Picken *et al.* (1986), mencionan que el carácter de inflorescencia bifurcada (que puede producir el doble o más flores por racimo que los racimos simples) o simplemente el incremento en el número de flores formadas por inflorescencia, 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.). 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).

En el presente experimento se busca evaluar en particular qué integral diaria de luz suplementaria, definida por diferentes densidades de flujo fotónico fotosintético (100, 200 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y distinta duración (10 ó 20 horas diarias), aplicada en la etapa de semillero, pudiera tener un mayor efecto sobre el número de flores que alcanzan antesis en las tres primeras inflorescencias.

4.3. OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de aplicación de diferentes densidades de flujo fotónico fotosintético de luz suplementaria blanca en el semillero, sobre parámetros de calidad y vigor de plántulas de jitomate para ser trasplantadas hasta los 55 a 60 días de edad sin efectos adversos posteriores en rendimiento y calidad de frutos.

2. Estudiar los efectos de la aplicación de diferentes densidades de flujo fotónico fotosintético de luz suplementaria blanca en el semillero, sobre la promoción de más flores en las tres primeras inflorescencias de jitomate.
3. Comparar si los efectos de aplicación de luz suplementaria a distintas densidades de flujo fotónico fotosintético, pero con una misma integral diaria de luz (producto de diferente duración del periodo de aplicación) son iguales o diferentes.

4.4. HIPÓTESIS

1. La luz suplementaria de más alta densidad de flujo fotónico fotosintético y mayor integral diaria de luz, aplicada durante la fase de semillero, favorecerá la expresión de indicadores morfológicos de calidad de plántulas de jitomate creciendo en charolas a una densidad de 200 plántulas/m² para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.
2. La luz suplementaria de más alta densidad de flujo fotónico fotosintético y mayor integral diaria de luz, aplicada durante la fase de semillero, debido a una mayor fotosíntesis, estimulará la iniciación y desarrollo de más flores por inflorescencia en plántulas de jitomate creciendo en charolas a una densidad de 200 plántulas/m² para ser trasplantadas hasta los 60 días después de la siembra.

4.5. MATERIALES Y MÉTODOS

4.5.1. Ubicación del experimento

La investigación se llevó a cabo en condiciones de invernadero, en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado geográficamente en las siguientes coordenadas: 19°29'35.3" N y 98°52'21.1" W, con una altitud de 2250 m.

El invernadero utilizado en fase de semillero fue de tipo capilla (a dos aguas) con cubierta de polietileno térmico, de alta dispersión de luz y contó con una superficie de 300 m². El control de las condiciones ambientales se logró mediante: 1) la apertura y cierre de ventanas con cortinas de polietileno y protección con mallas antiáfidos para evitar la entrada de insectos plaga; 2) un sistema de calefacción con calefactor automático de gas a base de combustión directa, el cual ayudó a controlar temperaturas bajas y altas humedades relativas; 3) un sistema de muro húmedo y extractores que permitieron controlar ciertos niveles de temperatura y humedad relativa.

El manejo después del trasplante se llevó a cabo en un invernadero con características similares con una superficie cubierta de 500 m².

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.

4.5.2. Material vegetal

Se utilizó la variedad de jitomate tipo saladette "Bulls eye". Es de la empresa Seminis® y son plantas determinadas con ciclo precoz, vigorosas y con carga uniforme de frutos que pueden alcanzar 160 gramos.

4.5.3. Conducción del experimento

La siembra de la semilla se realizó el 23 de julio de 2018; para ello se utilizaron charolas germinadoras de 60 cavidades con capacidad de 250 ml. Como sustrato se utilizó una mezcla de peat-moss, perlita y arena fina de tezontle en proporción volumétrica de 1:1:1. La densidad de población fue de 200 plántulas m⁻² y fueron irrigadas desde la siembra con una solución nutritiva con las siguientes concentraciones de nutrimentos en mg L⁻¹: Nitrógeno, 200; Fosforo, 50; Potasio, 200; Calcio, 250; Magnesio, 50; Azufre, 150; Hierro, 2; Manganeso, 1; Boro, 0.5; Cobre, 0.1 y Zinc, 0.1. Durante los primeros 15 días, esta solución se aplicó a la mitad de su concentración, de ahí en adelante y hasta el final de la cosecha, se utilizó la concentración completa.

A los 60 dds, las plantas fueron trasplantadas a camas de 1 m de ancho rellenas con una capa de 25 cm de arena de tezontle rojo con partículas de 1 a 3 mm de diámetro. Se colocaron tres hileras de plantas por cama a una distancia de 33 cm entre hileras y 25 cm entre plantas. Cada cama contaba con un sistema de riego a base de cintillas con goteros integrados a cada 20 cm.

Desde los 50 dds se eliminaban los brotes laterales conforme iban apareciendo. A los 70 dds una vez ya formada la tercera inflorescencia se despuntaron las plantas (eliminación de la yema terminal), dejando dos hojas por encima del tercer racimo.

En el Cuadro 26, se muestra las fechas en que se hicieron algunas de las actividades en la conducción del experimento, así como las fechas en que ocurrieron algunos eventos en las plantas.

Cuadro 26. Fechas de desarrollo del cultivo.

| Desarrollo del cultivo | | |
|--|--------------|---|
| Etapas | Fecha | Días después de la siembra (dds) |
| Siembra | 23-jul-18 | 0 dds |
| Trasplante 200 cavidades | 27-ago-18 | 35 dds |
| Trasplante 60 cavidades | 20-sep-18 | 60 dds |
| Antesis primera flor | 10-sep-18 | 50 dds |
| Despunte | 10-oct-18 | 80 dds |
| Inicio de cosecha | 13-nov-18 | 114 dds |
| Fin de cosecha | 15-dic-18 | 148 dds |
| Días de trasplante a fin de cosecha 200 cavidades | 15-dic-18 | 110 dds |
| Días de trasplante a fin de cosecha 60 cavidades | 15-dic-18 | 85 dds |

4.5.4. Descripción de tratamientos

Se probaron siete tratamientos de aplicación de luz suplementaria que resultaron de la combinación de tres intensidades de flujo fotónico fotosintético (100, 200 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y dos intervalos de duración (10 y 20 horas), más un testigo sin aplicación de luz suplementaria.

La luz suplementaria fue proporcionada según el tratamiento, desde los 20 hasta los 60 dds, usando lámparas led de color blanco, colocadas tanto en la parte superior como inferior de las hileras de plántulas.

Las lámparas usadas fueron de la marca Megaluz[®], modelo LSS002, las cuales tienen un gasto energético de 36 W h⁻¹, medían 1.2 m de largo x 7 cm de ancho, producían una temperatura de color de luz de 5000 °K (luz fría) y un índice de producción de color (IRC) de 80.

Las lámparas para la iluminación superior estuvieron orientadas en dirección este-oeste, con ligera inclinación al lado norte; esto con el objetivo de disminuir

el efecto directo de sombra de las lámparas sobre las plantas. Por otro lado, las lámparas para la iluminación inferior fueron colocadas entre dos hileras de plántulas dentro de las charolas en la misma dirección este-oeste.

A continuación, se describe cada tratamiento en particular:

Tratamiento 1: sin aplicación de luz suplementaria (testigo).

Tratamiento 2: luz suplementaria a una densidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, durante 10 horas.

Tratamiento 3: luz suplementaria a una densidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, durante 20 horas.

Tratamiento 4: luz suplementaria a una densidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, durante 10 horas.

Tratamiento 5: luz suplementaria a una densidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, durante 20 horas.

Tratamiento 6: luz suplementaria a una densidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, durante 10 horas.

Tratamiento 7: luz suplementaria a una densidad de flujo fotónico fotosintético de aproximadamente $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, durante 20 horas.

En las Figuras 46 a 48 se esquematizan los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria utilizados en el experimento, y en la Figura 49, se ilustra la forma en que se llevó a cabo la medición de luz.



Figura 46. Representación esquemática de los tratamientos de aplicación de luz suplementaria blanca con un flujo fotónico aproximado de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 20 cm de la fuente luminosa.



Figura 47. Representación esquemática de los tratamientos de aplicación de luz suplementaria blanca con un flujo fotónico aproximado de $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 20 cm de la fuente luminosa.



Figura 48. Representación esquemática de los tratamientos de aplicación de luz suplementaria blanca con un flujo fotónico aproximado de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a 20 cm de la fuente luminosa.



Figura 49. Mediciones del flujo fotónico fotosintético con el sensor cuántico de fotones.

4.5.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques al azar de siete tratamientos con cuatro repeticiones y 16 plántulas por unidad experimental, cada una con competencia completa.

El arreglo de los tratamientos fue factorial con dos factores (intensidad de flujo fotónico fotosintético e intervalos de duración), más un testigo sin luz suplementaria. Los niveles para el factor densidad de flujo fotónico fotosintético fueron: 100, 200 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y para el factor duración, los niveles fueron: 10 y 20 horas de luz suplementaria al día.

4.5.6. Variables estudiadas en el semillero

Durante la etapa de semillero se midieron, a los 30, 45, y 60 dds, variables morfológicas relacionadas con la calidad de plántulas para el trasplante.

1. Altura de plántula (cm). Se utilizó una cinta métrica midiendo desde la base de la plántula hasta el meristemo apical.
2. Diámetro de tallo (mm). Se tomó con ayuda de un vernier electrónico, en el entrenudo de la tercera y cuarta hoja.
3. Área foliar (cm^2). Se tomaron dos plantas por cada tratamiento en cada repetición, las cuales fueron llevadas al laboratorio, se separaron sus hojas y se midió su área con un integrador de área foliar (LI-COR MODEL LI-3100).
4. Peso seco (g). Se dispusieron las mismas plantas utilizadas para obtener el área foliar, se introdujeron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa de secado a 70 °C hasta obtener peso constante.
5. Razón de área foliar (cm^2 de hoja/g de peso seco total de la plántula).

4.5.7. Variables de rendimiento y sus componentes

Respecto a variables relacionadas con el rendimiento y sus componentes se consideraron las siguientes:

1. Número de flores por racimo, en cada racimo y total.
2. Número de frutos cosechados por racimo y por planta.
3. Peso medio de frutos por planta (g).
4. Rendimiento por racimo y por planta (g).
5. Días transcurridos del trasplante al primer corte.
6. Días transcurridos del trasplante al último corte.

4.5.8. Análisis de datos

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

4.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.6.1. Variables morfológicas medidas en el semillero

Los resultados de análisis de varianza para las variables morfológicas relacionadas con la calidad de las plántulas al trasplante medidas a los 30 dds (Cuadro 27), muestran que a esa edad ya había diferencias altamente significativas entre niveles de densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) para la variable razón de área foliar y significativas para peso seco. También se encontraron diferencias altamente significativas entre niveles de periodos de duración de la luz suplementaria para las variables peso seco y razón de área foliar y significativa para altura de plántula. También la interacción densidad de flujo fotónico x periodo de duración resultó significativa para la razón de área foliar.

A los 45 dds (Cuadro 27), fueron las variables de altura de plántula y diámetro de tallo las que resultaron altamente significativas, tanto para los niveles de densidad de flujo fotónico fotosintético como para los periodos de duración de la luz suplementaria; en este último caso también hubo diferencias altamente significativas para el peso seco de plántula. Por último, la interacción sólo fue altamente significativa para altura de plántula.

Para los 60 dds, se encontró diferencias altamente significativas entre niveles de DFFF para diámetro de tallo, peso seco de plántula y razón de área foliar; también se detectaron diferencias significativas en altura de plántula. Para periodos de aplicación se detectó diferencias altamente significativas para todas las variables morfológicas estudiadas, excepto área foliar por plántula. Finalmente, también se tuvieron diferencias altamente significativas de la interacción densidad de flujos fotónico x duración del periodo de luz suplementaria para las variables altura y peso seco de plántula. Estas interacciones se aprecian de manera gráfica en las Figuras 55 y 56.

Cuadro 27. Cuadrados medios y niveles de significancia para variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético y diferente duración de aplicación medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| FV | GL | Altura de plántula (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm ²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm ² /g) |
|---------------|----|-------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------|---|
| 30 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 4.37** | 0.64 ** | 379.2* | 0.07 ^{NS} | 73.08 ^{NS} |
| DFFF | 3 | 1.43 ^{NS} | 0.11 ^{NS} | 116.0 ^{NS} | 0.10 * | 1018 ** |
| Duración | 2 | 2.88 * | 0.44 ^{NS} | 306.0 ^{NS} | 0.17 ** | 1868 ** |
| DFFF*Duración | 6 | 0.48 ^{NS} | 0.03 ^{NS} | 66.7 ^{NS} | 0.04 ^{NS} | 273 ** |
| Error | 33 | 0.6 | 0.09 | 108.8 | 0.03 | 33.5 |
| CV | | 8.82 | 9.45 | 15.29 | 18.47 | 7.89 |
| Media general | | 8.8 | 3.33 | 68.0 | 0.96 | 73.3 |
| 45 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 4.7 ** | 0.10 ^{NS} | 3370 ** | 0.41 ** | 2140 ** |

| | | | | | | |
|---------------|----|----------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| DFFF | 3 | 72.0** | 0.43 ** | 72.0 ^{NS} | 0.12 ^{NS} | 281 ^{NS} |
| Duración | 2 | 153.0 ** | 0.56 ** | 693 ^{NS} | 0.36 ** | 501 ^{NS} |
| DFFF*Duración | 6 | 25.0** | 0.12 ^{NS} | 545 ^{NS} | 0.05 ^{NS} | 120 ^{NS} |
| Error | 33 | 1.04 | 0.07 | 490 | 0.05 | 177 |
| CV | | 3.11 | 4.86 | 11.83 | 12.7 | 13.25 |
| Media general | | 33.0 | 5.73 | 187 | 1.90 | 100 |
| 60 dds | | | | | | |
| Bloque | 3 | 87.6** | 1.58 ** | 7771 ** | 3.79 ** | 302 ** |
| DFFF | 3 | 20.1* | 0.53 ** | 793.2 ^{NS} | 2.42 ** | 406 ** |
| Duración | 2 | 67.5** | 0.84 ** | 38.9 ^{NS} | 3.96 ** | 712 ** |
| DFFF*Duración | 6 | 20.6** | 0.16 ^{NS} | 952 ^{NS} | 1.05 ** | 130 ^{NS} |
| Error | 33 | 5.94 | 0.12 | 770.58 | 0.17 | 37.17 |
| CV | | 4.69 | 5.94 | 6.75 | 7.56 | 8.03 |
| Media general | | 52.0 | 6.06 | 411 | 5.52 | 76.0 |
| Total | 47 | | | | | |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad. DFFF: Densidad de flujo fotónico fotosintético.

Las pruebas de comparación de medias realizadas a los 30 dds para el factor de DFFF (Cuadro 28) no muestran diferencias significativas entre tratamientos para altura de plántula, diámetro de tallo o área foliar por plántula. Las plántulas suplementadas con un flujo de fotones de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, tuvieron significativamente un mayor peso seco por plántula que el testigo sin luz suplementaria, pero similar a los tratamientos suplementados con 100 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En cuanto a la RAF, fue el testigo el que presentó el mayor valor, difiriendo estadísticamente de los tres tratamientos de DFFF. Aún más el tratamiento de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fue menor en RAF con relación a los tratamientos de 100 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ indicando una menor inversión en área foliar por cada gramo de peso seco total de la plántula.

A los 45 dds los tres tratamientos con luz suplementaria presentaron una altura de planta significativamente menor al testigo, siendo el tratamiento de 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ el que alcanzó la menor altura (6 cm menos que el testigo). Los tratamientos con DFFF de 200 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ tuvieron mayor diámetro de tallo respecto al testigo. Para las demás variables (área foliar, peso seco y RAF) no

se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de DFFF con el testigo, ni tampoco entre ellas.

Finalmente, a los 60 dds se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos de DFFA para las variables morfológicas estudiadas, excepto el área foliar por plántula. La menor altura de plántula y el mayor diámetro de tallo fueron para el tratamiento de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, difiriendo estadísticamente del testigo. También este tratamiento tuvo el mayor peso seco por plántula y la menor RAF, siendo diferentes estadísticamente de los demás tratamientos, incluyendo al testigo.

Cuadro 28. Pruebas de comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| DFFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | Altura (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Área foliar (cm^2) | Peso seco (g) | Razón de área foliar ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) |
|--|----------------|------------------------------|----------------------------------|------------------|---|
| 30 dds | | | | | |
| 0 | 9.27 a | 3.20 a | 72.62 a | 0.84 b | 85.78 a |
| 100 | 8.75 a | 3.31 a | 66.56 a | 0.93 ab | 73.20 b |
| 200 | 8.64 a | 3.37 a | 65.57 a | 1.07 a | 63.78 c |
| 300 | 8.47 a | 3.44 a | 68.15 a | 0.99 ab | 70.45 b |
| DMS | 0.85 | 0.34 | 11.52 | 0.19 | 6.39 |
| 45 dds | | | | | |
| 0 | 36.1 a | 5.52 b | 183.47 a | 1.76 a | 106.70 a |
| 100 | 32.6 b | 5.62 ab | 188.35 a | 1.88 a | 101.22 a |
| 200 | 32.2 b | 5.85 a | 188.75 a | 1.94 a | 98.35 a |
| 300 | 30.3 c | 5.92 a | 187.89 a | 2.01 a | 95.33 a |
| DMS | 1.12 | 0.3 | 24.45 | 0.26 | 14.69 |
| 60 dds | | | | | |
| 0 | 53.7 a | 5.81 b | 412.56 a | 5.02 c | 83.05 a |
| 100 | 51.7 ab | 6.00 ab | 401.79 a | 5.41 bc | 74.87 bc |
| 200 | 51.2 ab | 6.15 ab | 421.27 a | 5.56 b | 76.59 ab |
| 300 | 50.8 b | 6.30 a | 408.64 a | 6.10 a | 68.91 c |

| | | | | | |
|-----|------|------|-------|------|------|
| DMS | 2.69 | 0.39 | 30.65 | 0.46 | 6.73 |
|-----|------|------|-------|------|------|

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa. DFFF: Densidad de flujo de fotones fotosintéticos.

Con respecto a los periodos de aplicación de la luz suplementaria, calculados en el promedio de los niveles de DFFF (Cuadro 29), se encontró lo siguiente:

A los 30 dds ya se detectaron diferencias significativas en altura de plántula y RAF, correspondiendo estadísticamente los menores valores a los tratamientos de luz suplementaria respecto al testigo. En cuanto a peso seco fue el tratamiento con mayor periodo de iluminación (20 horas al día) el que alcanzó mayor valor que el testigo. Para las variables diámetro de tallo y área foliar por plántula no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos.

A los 45 dds, la menor altura de plántula (30 cm) fue para el tratamiento de 20 horas diarias de luz suplementaria (6 cm menos que el testigo); las plántulas del tratamiento de 10 horas diarias de suplementación alcanzaron un valor intermedio (32 cm). Las plántulas con luz suplementaria, independientemente del periodo (10 ó 20 horas diarias) tuvieron significativamente mayor grosor de tallo que el testigo. El mayor peso seco por plántula fue para el tratamiento de 20 horas diarias de luz suplementaria. No se detectaron diferencias significativas entre niveles de periodos de luz suplementaria, ni para área foliar ni para RAF.

A los 60 dds la altura de plántula el tratamiento de 20 horas diarias de luz suplementaria siguió siendo significativamente menor que el testigo. Al igual que a los 45 dds, el grosor del tallo también fue mayor al testigo con los periodos de 10 y 20 horas diarias de luz suplementaria. El mayor peso seco por plántula fue con el tratamiento de 20 horas diarias, superando estadísticamente al testigo e incluso al de 10 horas diarias. La RAF fue significativamente mayor para el testigo en relación a ambos periodos de luz suplementaria. Finalmente, no se detectaron diferencias entre tratamientos para el área foliar por plántula.

Cuadro 29. Pruebas de comparación de medias de variables morfológicas en plántulas de jitomate creciendo con diferentes periodos diarios de luz suplementaria medidas a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds).

| Duración Horas | Altura (cm) | Diámetro (mm) | Área foliar (cm²) | Peso seco (g) | Razón de área foliar (cm² g⁻¹) |
|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|---|
| 30 dds | | | | | |
| 0 | 9.3 a | 3.20 a | 73 a | 0.84 b | 86 a |
| 10 | 8.6 b | 3.35 a | 64 a | 0.98 ab | 67 b |
| 20 | 8.6 b | 3.44 a | 68 a | 1.05 a | 67 b |
| DMS | 0.67 | 0.27 | 9.05 | 0.15 | 5.02 |
| 45 dds | | | | | |
| 0 | 36 a | 5.52 b | 183 a | 1.76 b | 107 a |
| 10 | 32 b | 5.79 a | 183 a | 1.87 ab | 98 a |
| 20 | 30 c | 5.87 a | 195 a | 2.06 a | 96 a |
| DMS | 0.88 | 0.24 | 19.21 | 0.21 | 11.54 |
| 60 dds | | | | | |
| 0 | 54 a | 5.81 b | 412.55 a | 5.02 c | 83 a |
| 10 | 52 a | 6.14 a | 409.44 a | 5.54 b | 75 b |
| 20 | 50 b | 6.25 a | 411.19 a | 6.02 a | 70 b |
| DMS | 2.11 | 0.31 | 24.08 | 0.36 | 5.28 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

En las Figuras 50 a 54 se muestra de manera gráfica el crecimiento de las variables morfológicas entre los 30 y 60 dds para los distintos tratamientos de luz suplementaria estudiados en este experimento. Destaca que la velocidad de crecimiento en altura de plántula durante ese periodo fue menor para los tratamientos con mayor tiempo de duración de aplicación de luz suplementaria (20 horas diarias) con cierta independencia de la DFFF. El tratamiento que más rápido creció en ese periodo fue el testigo.

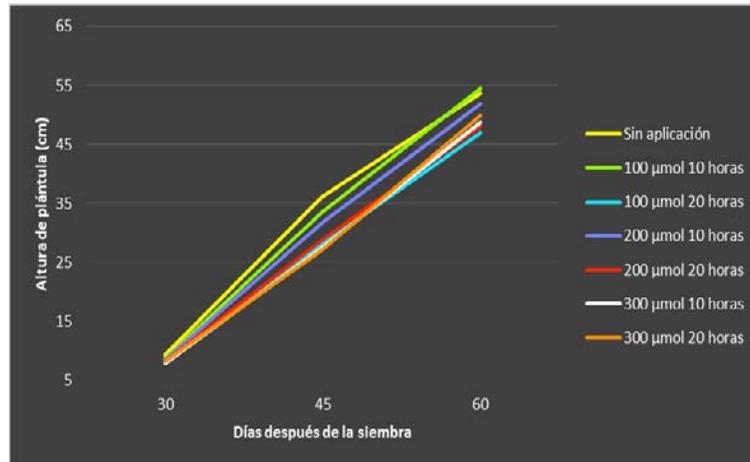


Figura 50. Cambios en la altura de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero.

De los 30 a los 45 dds, los tratamientos que más rápido aumentan su diámetro de tallo son los dos de mayor DFFF ($300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) alcanzando más de 6 mm de diámetro a los 45 dds (Figura 51). Posteriormente, de los 45 a los 60 dds, el tratamiento con mayor DFFF y mayor duración diaria de luz suplementaria el que más crece. El tratamiento que menos crece en diámetro de tallo durante el periodo de los 30 a los 60 dds es el testigo sin luz suplementaria.

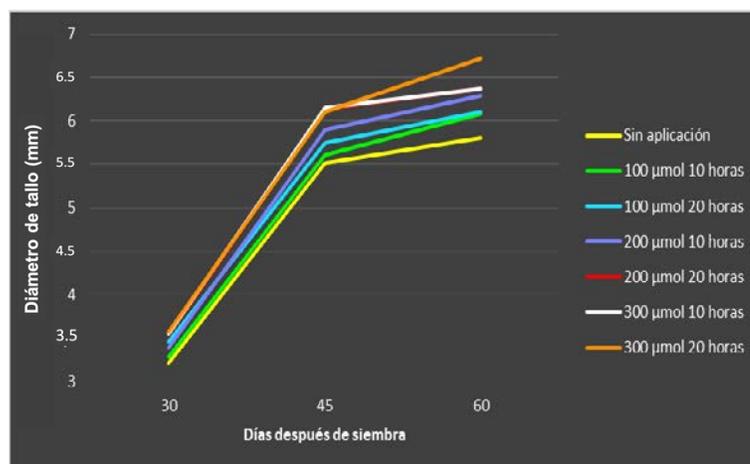


Figura 51. Cambios en el diámetro de tallo de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero.

Respecto al crecimiento del área foliar por plántula de los 30 a los 60 dds, aunque fue similar para todos los tratamientos, se observa una ligera tendencia a mayor crecimiento con los tratamientos de 20 horas diarias de luz suplementaria (Figura 52).

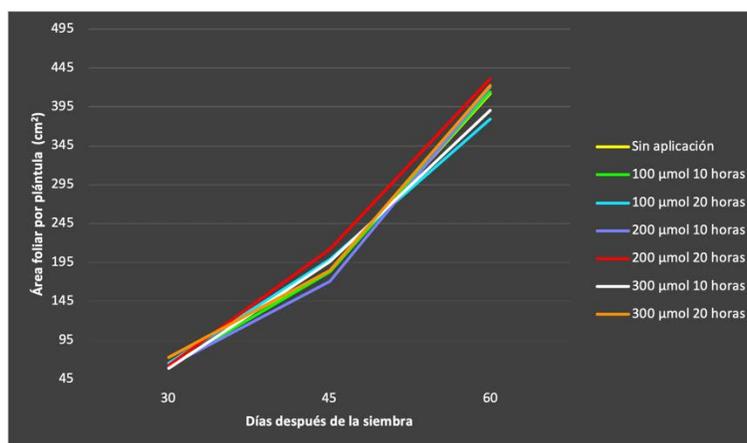


Figura 52. Cambios en el área foliar de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero.

De los 30 a los 45 dds el crecimiento en el peso seco por plántula fue similar entre todos los tratamientos; sin embargo, de los 45 a los 60 dds, destaca el mayor crecimiento en peso seco del tratamiento que combinó mayor DFFF ($300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) con mayor duración diaria (20 horas).

Por último, durante el periodo de los 30 a los 60 dds la RAF de las plántulas siempre fue mayor en el testigo sin luz artificial suplementaria y los menores valores correspondieron al tratamiento que combinó mayor DFFF con mayor duración de aplicación de luz suplementaria (Figura 54).

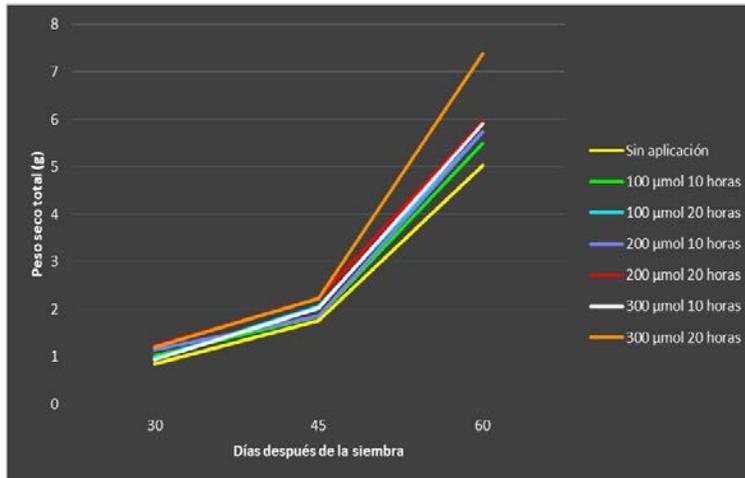


Figura 53. Cambios en el peso seco de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero.

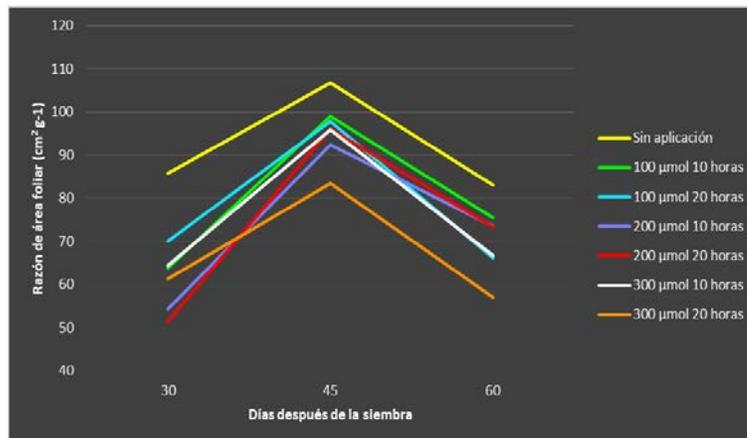


Figura 54. Cambios en la razón de área foliar de plántulas de jitomate de los 30 a los 60 días después de la siembra de los distintos tratamientos de aplicación de luz suplementaria en la fase de semillero.

En la Figura 55 se aprecia de manera gráfica el efecto de interacción entre niveles de DFFF y periodos de aplicación de luz suplementaria para la variable altura de plántula. La interacción se hace evidente porque a las DFFF de 100 y 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ la altura de las plántulas disminuye notablemente cuándo se hace más largo el periodo de suplementación de luz, mientras que a 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ la altura se mantiene igual con ambos periodos.

De manera similar en la Figura 56 la interacción encontrada para la variable área foliar por plántula se explica básicamente porque, mientras que el área foliar de las plántulas creciendo a una DFFF de 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aumenta considerablemente al incrementar el periodo de suplementación de 10 a 20 horas diarias, a 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ el área foliar desciende considerablemente con el aumento del periodo de suplementación.

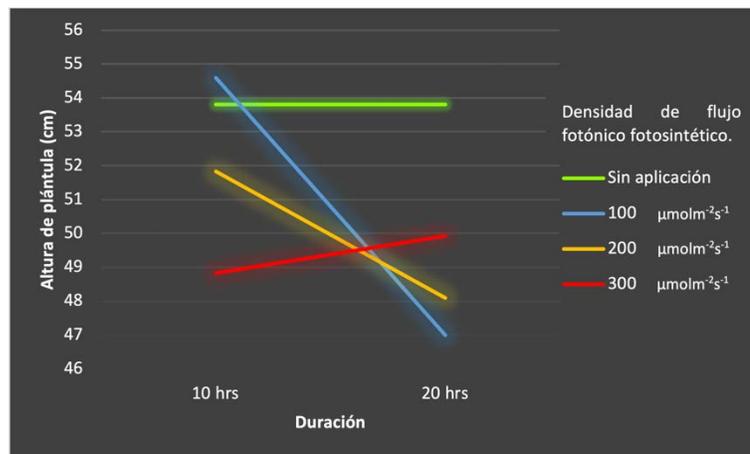


Figura 55. Representación gráfica de la interacción entre densidades de flujo fotónico fotosintético y periodos de luz suplementaria diaria para la variable altura de plántula de jitomate a los 60 días después de la siembra.

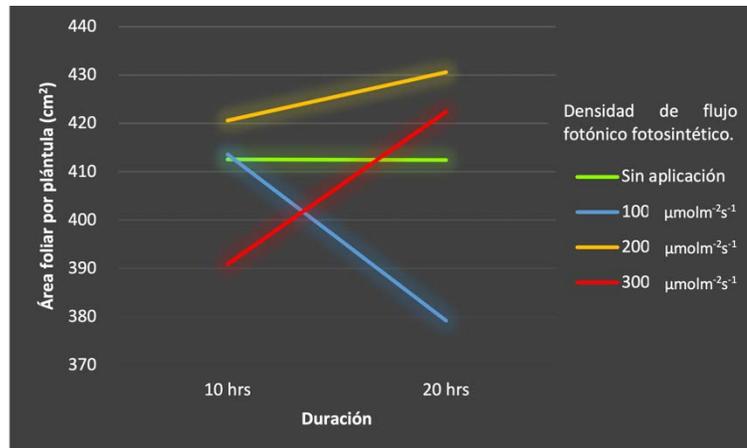


Figura 56. Representación gráfica de la interacción entre densidades de flujo fotónico fotosintético y periodos de luz suplementaria diaria para la variable área foliar por plántula de jitomate a los 60 días después de la siembra.

A mayor DFFF y a mayor duración del periodo de luz suplementaria se encontró una mayor reducción de la altura de plántula. Este resultado se puede explicar destacando que, a medida que la radiación solar penetra a través de un dosel de plantas, se va haciendo marcadamente deficiente en luz roja y azul porque estas longitudes de onda son grandemente absorbidas por la clorofila; en contraste, la clorofila es transparente al rojo lejano ya que esta longitud de onda sólo es atenuada por reflexión (Hopkins Y Hüner, 2009). Las plantas usan los fitocromos y el criptocromo para detectar estas diferencias en composición estimulando sistemas de transducción de señales para cambiar la morfología de las plantas (Ward *et al.*, 2005).

Dentro de las respuestas morfogenéticas más comúnmente reportadas (Runkle y Heins, 2001; Taiz y Zeiger, 2002; Ménard *et al.*, 2006; Xiaoying *et al.*, 2012; Craver y López, 2016) están la reducción de la longitud de los entrenudos con la luz azul, ya sea sola, o en combinación con la luz roja en el interior del dosel, tal y como ocurrió en el presente trabajo en donde los tratamientos se basaron en proporcionar luz suplementaria blanca de 5000 °K, que incluye una combinación de longitudes de onda rojo, verde y azul en proporciones aproximadas de 30, 43 y 27 % respectivamente (Sager *et al.*, 1988, citado por Goto, 2016).

Como lo destaca Kozai (2016), el crecimiento excesivo de los tallos de las plántulas en semillero, como consecuencia de la presión de densidad a la que están sometidas, es perjudicial, sobre todo en el trasplante, o después de él, debido a que las hace más susceptibles a daños incluso por pequeños estreses ambientales.

La luz suplementaria blanca a los 60 dds, provocó una reducción en área foliar y en razón de área foliar mayores al testigo sin luz suplementaria. Efectos morfogenéticos parecidos han sido reportados por Mortensen y Strømme (1987). El reducir el efecto de competencia entre plantas por luz, por la menor área foliar formada por planta, puede ser favorable cuando se manejan plantas en alta densidad como en la etapa de semillero, o posterior al trasplante en el caso particular del sistema de producción de jitomate a tres racimos en alta densidad que se propone en el presente trabajo.

A medida que se incrementó la DFFF y/o la duración del periodo de luz suplementaria el peso seco acumulado por plántula a los 60 dds también fue mayor.

Este comportamiento ya no tiene que ver con efectos morfogenéticos, sino que se debe directamente a una mayor velocidad de fotosíntesis con mayor acumulación de asimilados por día. Como lo expresan autores como Taiz y Zeiger (2002) y Momokawa *et al.* (2011), la luz tiene dos funciones importantes en el crecimiento de las plantas; como fuente de energía para la fotosíntesis y como señal que controla el crecimiento, regula la floración y afecta la morfogénesis.

Por último, al incrementar la DFFF y/o el periodo de duración de la luz suplementaria se tuvo una menor razón de área foliar; es decir se formaron menos cm² de hoja por cada gramo de peso seco total de la plántula, indicativo

un efecto morfogenético relacionado con un mayor grosor de las hojas (Taiz y Zeiger, 2002; Hopkins y Hüner, 2009).

De todo esto se puede deducir que, dentro del rango de DFFF y duraciones del periodo de luz suplementaria, a mayor integral de radiación solar aportada de manera suplementaria, se obtuvo plántula con mayor calidad al trasplante a los 60 dds, calidad definida por una menor altura de plántula, un mayor peso seco y una menor razón de área foliar.

La reducción en altura, un mayor peso seco y una menor razón de área foliar son aspectos que pueden resultar útiles para evitar efectos adversos cuando se busca realizar trasplantes de mayor edad, como en el presente caso, donde se busca trasplantar hasta los 60 dds, sin efectos adversos en rendimiento y calidad a fin de reducir el ciclo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días, para hacer posible el logro de cuatro ciclos en un año, lo que otorgaría incrementos en el rendimiento de hasta un 25 % más al año respecto a lo logrado hasta ahora con el sistema de producción de jitomate a tres racimos (Sánchez *et al.*, 2017). Como lo expresa Kosai (2016), la excesiva elongación del tallo puede disminuir el valor de los trasplantes dado que tallos largos y delgados son fácilmente dañados por estreses ambientales y por el manejo de los trasplantes.

4.6.2. Rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza (Cuadro 30) y las pruebas de comparación de medias (Cuadro 31), muestran que ninguno de los tratamientos de aplicación de luz en la fase de semillero tuvo efectos significativos posteriores en las variables del rendimiento por planta o alguno de sus componentes estudiados (número de flores por planta, número de frutos por planta o peso medio por fruto).

Cuadro 30. Cuadrados medios y niveles de significancia de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate que crecieron de los 20 a los 60 días después de la siembra con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético y diferente duración diaria de aplicación.

| FV | GL | Número de flores | Número de frutos | Peso de frutos | Rendimiento (g/planta) |
|---------------|----|--------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| Bloque | 3 | 18.5 ** | 51.85 ** | 123.46 ^{NS} | 809932 ** |
| DFFF | 3 | 1.44 ^{NS} | 0.29 ^{NS} | 147.79 ^{NS} | 23208 ^{NS} |
| Duración | 2 | 2.33 ^{NS} | 0.39 ^{NS} | 242.02 ^{NS} | 54611 ^{NS} |
| FFF*Duración | 6 | 0.44 ^{NS} | 2.84 ^{NS} | 48.71 ^{NS} | 59106 ^{NS} |
| Error | 33 | 1.98 | 7.96 | 87.13 | 76784 |
| CV | | 8.12 | 18.83 | 8.5 | 16.76 |
| Media general | | 17.33 | 14.97 | 110 g | 1653 g |

*: Significativo P= 0.05. **: Altamente significativo P= 0.01. NS: No significativo. FV: Fuentes de variación. GL: Grados de libertad. DFFF: Densidad de flujo fotónico fotosintético.

Cuadro 31. Pruebas de comparación de medias de rendimiento y sus componentes para plantas de jitomate que crecieron de los 20 a los 60 días después de la siembra con luz suplementaria a diferente densidad de flujo fotónico fotosintético y diferente duración diaria de aplicación.

| Tratamiento | Número de flores | Número de frutos | Peso de frutos (g) | Rendimiento (g/planta) |
|---|------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| Densidad de Flujo Fotónico Fotosintético | | | | |
| Testigo (0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | 17.7 a | 15.0 a | 105 a | 1594 a |
| 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ | 17.2 a | 15.1 a | 109 a | 1646 a |
| 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ | 17.4 a | 15.1 a | 111 a | 1682 a |
| 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ | 16.9 a | 14.7 a | 114 a | 1690 a |
| DMS | 1.55 | 3.11 | 10.3 | 306 |
| Duración | | | | |
| Testigo (0 horas) | 17.7 a | 15.0 a | 105 a | 1594 a |
| 10 horas | 17.0 a | 14.8 a | 112 a | 1654 a |
| 20 horas | 17.2 a | 15.1 a | 112 a | 1710 a |
| DMS | 1.22 | 2.44 | 8.09 | 240 |

Medias con la misma letra dentro de la columna son estadísticamente iguales. Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

De los resultados mostrados se deduce que los cambios morfogénicos y la ganancia de peso seco ocasionados por la luz suplementaria en la fase de

semillero, no produjeron, como se esperaba, ninguna afectación en el número de flores formadas por planta.

En ese sentido, en el presente experimento no se encontraron resultados como para sostener la hipótesis de que la luz suplementaria blanca aplicada durante la fase de semillero estimula la iniciación y desarrollo de más flores por inflorescencia en plantas de jitomate debido a una mayor fotosíntesis.

En todo caso, puede ser que existan otros factores no determinados que pueden interferir con la respuesta esperada en número de flores a la aplicación de luz suplementaria, como pudiera ser que se estimuló más el crecimiento vegetativo desviando más fotosimilados a los hojas tallos y raíces, o que la temperatura al momento de la iniciación floral fuera relativamente alta, exigiendo más fotoasimilados para la respiración necesaria para la iniciación floral, ocasionando que un mayor porcentaje de primordios de flor abortaran (Atherton y Harris, 1986). Cabe mencionar que en un experimento similar al presente, Contreras (2007), sí encontró un efecto importante en número de flores aplicando luz suplementaria nocturna con una temperatura nocturna constante de 16° C en la fase de semillero.

4.7. CONCLUSIONES

La aplicación de luz suplementaria blanca en plántulas de jitomate en el semillero, ocasionó importantes efectos morfogénéticos en las plántulas en semillero como la reducción en altura y en razón de área foliar al momento del trasplante (60 días después de la siembra). El incremento en la densidad de flujo de fotones fotosintéticos o de la duración del periodo de aplicación de luz suplementaria incrementó la magnitud de esos efectos.

El peso seco por plántula fue mayor a los 60 días después de la siembra con el tratamiento de mayor densidad de flujo fotónico fotosintético ($300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$),

combinado con la mayor duración del periodo de luz suplementaria diaria (20 horas).

Estos resultados sustentan la hipótesis planteada en el sentido de que la aplicación de luz suplementaria blanca en la fase de semillero, induce cambios morfogénéticos en las plántulas que favorecen el trasplante tan tardío como 60 días después de la siembra.

La menor altura de plántula, menor razón de área foliar y mayor peso seco de plántula a los 60 días, no fueron suficientes como para influir en el número de flores o frutos, ni en el rendimiento por planta.

Es posible lograr plántulas con calidad para lograr trasplantes exitosos aún a los 60 días después de la siembra. Esto permite acortar el ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha a menos de 90 días y eventualmente lograr cuatro ciclos de cultivo al año con un sistema de producción de jitomate basado en el despunte temprano para dejar tres racimos por planta.

4.8. LITERATURA CITADA

- Adams, M. W. 1982. Plant development and crop productivity. *In*: Rechcigl, M. (ed). CRC handbook of agricultural Productivity 1:151-183.
- Atherton, J. G. and Harris, G. P. 1986. Flowering *In*: Atherton, J. G. and Rudich, (eds). The Tomato Crop. Chapman and Hall, London, England. 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.
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of 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.
- 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. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- Craver, J. K. and López, R. G. 2016. Control of morphology by manipulating light quality and daily light integral using LEDs. *In: Kozai, T.; Fujiwara, K.; Runle, E. S. (eds). Led Lighting for Urban Agriculture*. Springer. Singapore, Singapore. pp: 203-217.
- Dufault, R. J. and Waters, L. Jr. 1985. Interaction of nitrogen fertility and plant populations on transplanted broccoli and cauliflower yields. HortScience, USA. 128 p.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama agroalimentario tomate rojo.
- Goto, E. 2016. Measurement of photonmetric and radiometric characteristics of LEDs for plant cultivation. *In: Kosai, T.; Fujiwara, K.; Runkle, E. S. (eds). LED Lighting for Urban Agriculture*. Springer Nature. Singapore, Singapore. pp: 395-402.
- Heuvelink, E. and Dorais, M. 2005. Plant growth and yield. *In: Heuvelink, E. (ed). Tomatoes*. CABI. Publishing Co. Wageningen, The Netherlands. pp: 85-144.
- Higuchi, Y., Sumitomo, K., Oda, A., Shimizu, H., & Hisamatsu, T. 2012. Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering. *Journal of Plant Physiology*. 169: 1789-1796.
- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant growth Regulation* 2: 277-285.
- Hopkins, W. G. and Hüner, N. P. A. 2009. *Introduction to Plant Physiology* (Fourth edition). John Wiley and Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 503 p.
- Hurd, R. G. and Cooper, A. J. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single inflorescence tomatoes. *Journal of horticultural Science* 45: 19-27.

- Jishi, T. 2018. Led lighting technique to control plant growth and morphology. *In*: Kosai, T. (Editor). Smart Plant Factory. Springer. Singapore, Singapore. pp: 211-222.
- Kosai, T. 2016. Transplant production in closed systems. *In*: Kozai, T.; Niu, G.; Takagaki, M. (eds). Plant Factory. Elsevier. San Diego, California, USA. pp 237-250.
- López, V. M.; Sánchez, Del C. F. y Contreras, M. E. 2002. Efecto del Cycocel y B-nueve sobre plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) manejadas a dos racimos y altas densidades. Revista Chapingo, Serie Horticultura 8(2): 161-170.
- Ménard, C.; Dorais, M.; Hovi, T.; Gosselin, A. 2006. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. Acta Horticulturae 711: 291-296.
- Méndez, G. T.; Sánchez, Del C. F.; Sahagún, C. J.; Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. Revista Chapingo, Serie horticultura 11(1): 185-192.
- Momokawa, N.; Kadono, Y. and Kudoh H. 2011. Effects of light quality on leaf morphogenesis of a heterophyllous amphibious plant, *Rotala hippuris*. Annals of Botany 108: 1299-1306.
- Mortensen, L. M. and Strømme, E. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. Scientia Horticulturae 33: 27-36.
- Picken, A. J. F.; Stewart, K. and Klapwijk. D. 1986. Germination and vegetative development. *In*: The tomato crop. Atherton, J. G. and J. Rudich (editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp: 110-166.
- Ruff, M. S., Krizek, D. T., Mirecki, R. M. and Inouye D. W. 1987. Restricted root zone volume: influence on growth and development of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 763-769.
- Runkle, E. S. and R. D. Heins. 2001. Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126: 275-282.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E.; Coatzín, R. R. Colinas, L. M. T. Peña, L. M. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de

- producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 16: 207-214.
- Sánchez, Del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V. A. Bustamante, O. J. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. *Fitotecnia Mexicana* 21(1): 1-13.
- Sánchez, Del C. F.; Moreno, P. E. del C.; Pastor, Z. O.; Contreras M. E. 2017. Disposición de plantas de tomate en doseles en forma de escalera bajo dos densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3): 333-340.
- Sánchez Del C. F., Moreno P. C., Contreras M. E. 2012. Development of alternative comercial soilless production systems I. Tomato. *Acta Horticulturae* 947: 179-187.
- Sánchez Del C., F.; Ortíz 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.
- Takahashi S., Badger M. R. (2012). Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends Plant Sci.* 16: 53-60.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2002. *Plant physiology*, third edition. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 690 p.
- Tewolde, F. T.; Shiina, K.; Maruo, T.; Takagaki, M.; Kozai, T.; Yamori, W. 2018. Supplemental LED inter-lighting compensates for a shortage of light for plant growth and yield under the lack of sunshine. *PLoS ONE* 13(11): 1-14.
- Ward, J. M.; Cufr, C. A.; Denzel, M. A. 2005. The D of transcription factor OBP3 modulates phytochrome and cryptochrome signaling in Arabidopsis. *Plant Cell* 17: 475-485.
- Wien, H. C. 1999. Transplanting: *In: The physiology of vegetable crops*. H.C. Wien Editor. CABI Publishing. Department of Fruit and Vegetable Science, Cornell University, Ithaca, NY, USA. pp: 37-67.
- Xiaoying L., Shirong G., Taotao C. Zhigang X., and Tezuka T. 2012. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology* 11: 6169-6177.

V. CONCLUSIONES GENERALES

De los resultados derivados en cada uno de los experimentos y tomando en cuenta los objetivos generales planteados en esta investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. El uso de contenedores de 250 ml de volumen en combinación con el manejo de plántulas a densidades de 75 a 150 plántulas/m² en semillero, y el uso de luz LED suplementaria aplicada en plántulas de jitomate, dan como resultado plántulas de poca altura, poca área foliar y buen diámetro de tallo, característica que son deseable para lograr trasplantes exitosos a los 60 días después de la siembra, sin tener efectos negativos posteriores en rendimiento y calidad de frutos.
2. El volumen de cavidad del contenedor, la densidad de población y la aplicación de luz LED en etapa de plántula usando combinaciones de diferentes calidades de luz, intensidades de flujo fotónico fotosintético y duraciones de aplicación, no tuvieron efecto ni en el número de flores por inflorescencia, y tampoco en el número de frutos por racimo, por lo que en todos los tratamientos evaluados se tuvieron el mismo rendimiento por planta.