

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**APROVECHAMIENTO DE LA RADIACIÓN SOLAR CON
PLANTAS DE JITOMATE DE DISTINTA EDAD EN
HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

IGNACIO MIRANDA VELÁZQUEZ

Chapingo, México, Agosto de 2003



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



**APROVECHAMIENTO DE LA RADIACIÓN SOLAR CON PLANTAS DE
JITOMATE DE DISTINTA EDAD EN HIDROPONÍA BAJO INVERNADERO**

Tesis realizada por **IGNACIO MIRANDA VELÁZQUEZ** 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

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR



Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR



Dr. Aureliano Peña Lomeli

ASESOR



Dra. María Teresa Colinas León

**Universidad Autónoma Chapingo
Chapingo, Estado de México, Agosto de 2003**

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis, IGNACIO MIRANDA VELÁZQUEZ, ingeniero agrónomo especialista en fitotecnia, es originario de San Juan Tezontla, Texcoco, estado de México, lugar donde nació el 31 de julio de 1959; realizó sus estudios de bachillerato en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y la licenciatura en la misma universidad, de la cual egresó en 1982, titulándose con la tesis denominada “Reguladores del crecimiento y fotoperiodo sobre la floración en papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Marijke”. Ha laborado como asesor técnico de agricultores en la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de México, trabajado en varios grupos empresariales de la iniciativa privada y actualmente es profesor-investigador en la Universidad Autónoma Chapingo, en la cual ha realizado algunas publicaciones relacionadas con los cultivos en hidroponía bajo invernadero, participa como instructor en algunos de los cursos de capacitación que esta institución imparte a productores, y desempeñó el puesto de Director de la Preparatoria Agrícola de este centro de enseñanza. Forma parte también del cuerpo de instructores del organismo Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) del Banco de México.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a la Preparatoria Agrícola, por la formación y apoyo brindado.

Al Dr. Felipe Sánchez del Castillo por su acertada dirección, la confianza brindada y por su ejemplo de persistente interés sobre temas relativos a los cultivos bajo cubierta.

Al Dr. Aureliano Peña Lomelí por su valiosa orientación, su desinteresado apoyo y su amistad sincera.

A la Dra. María Teresa Colinas León por su atinada asesoría, consejos y orientación.

Al Dr. L. Krishnamurthy y al Sr. Antonio Junco Naranjo por las facilidades para realizar el experimento en sus instalaciones y su proyecto productivo.

Al Dr. Raúl Nieto Ángel, por su apoyo irrestricto, amistad y confianza.

A los integrantes del equipo “**Agribot**”, por su imprescindible apoyo, por la amistad y objetivos comunes que nos unen; en especial a Bastida, y Gil por ese incansable espíritu de trabajo, que ya quisiéramos muchos.

A mis compañeros, amigos y a quienes colaboraron para que el presente trabajo se hiciera realidad.

DEDICATORIA

Con mucho respeto para mis papás, Don Leo y Doña Goya, por su cariño, comprensión, apoyo y ejemplo de inquebrantable espíritu de lucha.

A mis hermanos y hermanas, a quienes quiero mucho, y en especial a Jorge por su ejemplo en la permanente búsqueda de nuevos horizontes.

A la memoria de mi hermano Ángel.

A mi esposa María Elena y mi hijo Miguel Ángel, a quienes amo mucho, juntos hemos emprendido un proyecto de vida y aguantaron casi sin chistar las presiones que implican este tipo de actividades académicas.

CONTENIDO

	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	5
2.1. Objetivos	5
2.2. Hipótesis	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1. El jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	7
3.2. Producción continua de jitomate	9
3.3. Hidroponía	17
3.4. Invernaderos	19
3.5. La energía radiante y el funcionamiento y desarrollo de la planta	20
3.5.1. Aspectos generales	20
3.5.2. Índice de Área Foliar	25
3.5.3. Tasa de asimilación neta	27
3.5.4. Tasa de crecimiento del cultivo	27
3.6. Análisis de rendimiento	30
3.6.1. Radiación interceptada por el dosel	31
3.6.2. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel	41
3.6.3. La materia seca traslocada al producto de interés agronómico	48
3.6.4. Tasa de pérdida de materia seca	52
3.6.5. Duración del crecimiento	53
3.7. Efecto del espaciamiento entre plantas sobre la fotosíntesis	54
3.8. Efecto del espaciamiento entre plantas en el crecimiento del tomate	58
3.9. Efecto del espaciamiento entre plantas sobre el desarrollo del tomate	60

3.10. efecto del espaciamiento entre plantas sobre la distribución de la biomasa y el rendimiento del cultivo.	62
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	71
4.1. Localización geográfica y condición ambiental	71
4.2. Material vegetal	73
4.3. Semillero	74
4.4. Diseño experimental y tratamientos	74
4.5. Manejo agronómico del cultivo	81
4.6. Parámetros y variables evaluadas	84
4.6.1. Comparación global de todos los tratamientos	84
4.6.2. Comparación entre las hileras de los tratamientos escaleriformes que coincidieron en tiempo con el primero y segundo ciclo de los tratamientos uniformes, despuntados a tres y seis racimos	86
4.6.3. Comparación del rendimiento entre hileras dentro de cada tratamiento	87
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
5.1 Comparación general de tratamientos	89
5.1.1. Comparación del rendimiento y sus componentes	89
5.1.2. Comparación del índice de área foliar entre tratamientos	91
5.1.3. Comparación general del porcentaje de radiación interceptada en los distintos niveles del dosel de todos los tratamientos	93
5.1.4. Discusión general de los resultados obtenidos	95
5.2. Comparación del rendimiento e índice de área foliar entre ciclos de los distintos tratamientos	100
5.2.1. Comparación entre la hilera del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, con el primer ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos	102
5.2.2. Comparación entre la hilera del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos	103

5.2.3. Comparación entre la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos, con el primer ciclo del tratamiento uniforme despuntado a tres racimos	108
5.2.4. Comparación entre la hilera de plantas del quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos con el segundo ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos	109
5.3. Comparación del rendimiento entre las hileras dentro de cada tratamiento	114
5.3.1. Comparación del rendimiento entre ciclos dentro de los tratamientos escaleriformes de tres hileras despuntados a seis racimos	115
5.3.2. Comparación del rendimiento entre hileras de los tratamientos con arreglos escaleriformes y cuatro hileras a tres racimos	118
5.3.3. Comparación del rendimiento entre hileras de los tratamientos uniformes despuntados a seis, tres a quince5 racimos	121
VI. CONCLUSIONES	123
VII. LITERATURA CITADA	124

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Unidades de medida más comunes de la irradiancia.	21
2. Equivalencias aproximadas entre diferentes unidades de irradiancia.	21
3. Descripción de tratamientos.	75
4. Nutrimientos, concentraciones y fertilizantes usados para preparar la solución nutritiva utilizada en el experimento.	81
5. Valor de ajuste para la estimación del índice de área foliar de los tratamientos.	86
6. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.	89
7. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie anualizado en jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.	91
8. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de área foliar en jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.	92
9. Índice de Área Foliar en jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.	92
10. Cuadrados medios del análisis de varianza en los niveles intermedio e inferior (% respecto al Flujo de Fotones Fotosintéticos del nivel superior) del dosel jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.	94
11. Radiación en los distintos niveles del dosel en jitomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.	95

12. Cuadrados medios y del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera de plantas del ciclo uno de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, comparado con el primer ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 102
13. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie en la hilera del ciclo uno de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, comparado con el primer ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 103
14. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 104
15. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie por ciclo en la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, comparado con el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 105
16. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de área foliar de la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos, en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 106
17. Índice de área foliar de la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 106

18. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos, y el primer ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 108
19. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie por ciclo en la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos, y el primer ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 109
20. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera 5 (sur-norte) de los tratamientos escaleriformes a tres racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero en Chapingo, México. 2002. 110
21. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie por ciclo en la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme despuntado a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 111
22. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de área foliar de la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a 3 racimos y segundo ciclo del tratamiento uniforme a 3 racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2003. 112
23. Índice de área foliar de la hilera hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos y segundo ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 112

24. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes entre hileras de los tratamientos escaleriformes, tres hileras a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 116
25. Medias de rendimiento por unidad de superficie (kg m^{-2}) entre hileras de los tratamientos escaleriformes, tres hileras a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 116
26. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento entre ciclos de cultivo de los tratamientos escaleriformes, cuatro hileras a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 119
27. Rendimiento por unidad de superficie (kg m^{-2}) entre ciclos de cultivo de los tratamientos escaleriformes, cuatro hileras a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 120
28. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento entre hileras de los tratamientos uniforme a seis racimos, uniforme a tres racimos, y uniforme a quince racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 121
29. Rendimiento por unidad de superficie (kg m^{-2}) entre hileras de los tratamientos uniformes despuntados a seis, tres y quince racimos, respectivamente, en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002. 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema de producción con plantas despuntadas a tres racimos mostrando algunos detalles de la tina.	11
2. Ejemplo de hileras de plantas a distintas alturas formando un dosel escaleriforme.	13
3. Dosel escaleriforme con hileras de plantas de distinta altura orientadas en dirección este-oeste.	14
4. Doseles escaleriformes en dirección este-oeste conformados por juegos de cuatro hileras de plantas de jitomate despuntadas a tres racimos con tinas colocadas a diferente altura.	16
5. Vista del invernadero.	73
6. Inicio del experimento.	73
7. Experimento establecido.	73
8. Sistema de riego.	73
9. Doseles escaleriformes en dirección este-oeste conformados por juegos de tres hileras de plantas de jitomate de diferente edad despuntadas para dejar seis racimos por planta.	75
10. Doseles escaleriformes en dirección este-oeste conformados por juegos de cuatro hileras de plantas de jitomate de diferente edad despuntadas para dejar tres racimos por planta.	79
11. Doseles uniformes en dirección este-oeste conformados por juegos de tres hileras de plantas de jitomate de la misma edad despuntadas a seis racimos.	79
12. Doseles uniformes en dirección este-oeste conformados por juegos de cuatro hileras de plantas de jitomate de la misma edad despuntadas a tres racimos.	80
13. Doseles uniformes en dirección este-oeste conformados por juegos de dos hileras de plantas de jitomate de la misma edad despuntadas a quince racimos.	80
14. Arreglo escaleriforme, tres hileras, despuntado a seis racimos.	99

15. Arreglo escaleriforme, cuatro hileras, despuntado a tres racimos.	99
16. Arreglo uniforme a seis racimos.	99
17. Arreglo uniforme a tres racimos.	99
18. Arreglo uniforme, quince racimos.	99
19. Imágenes con síntomas de virosis en plantas de jitomate, despuntadas a tres y seis racimos.	99
20. Esquema mostrando la ubicación del cuarto ciclo, indicado por la flecha, durante el desarrollo de los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos.	104
21. Ubicación durante su ciclo de desarrollo de la hilera de plantas el quinto ciclo en los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos.	110
22. Ubicación durante un año de los ciclos de cultivo en los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos.	117
23. Ubicación de las hileras durante un año en los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos.	118

RESUMEN

Aprovechamiento de la radiación solar con plantas de jitomate de distinta edad en hidroponía bajo invernadero.

Para incrementar la eficiencia en la captación de la radiación incidente en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) producidas en invernadero, se evaluaron distintas modalidades de producción con hileras de plantas orientadas en dirección este-oeste; en un diseño experimental bloques al azar, cuatro repeticiones y 2 m⁻² de unidad experimental. Los tratamientos se establecieron con arreglos en forma de escalera a base de tres hileras de plantas a seis racimos, e imbricaciones continuas cada 45 días (a 7.5 y 9.4 plantas m⁻² de invernadero); arreglos escaleriformes con cuatro hileras de plantas a tres racimos y diferencia de 30 días entre ciclos (a 12.5, 15 y 17.5 plantas m⁻²); y arreglos uniformes (a 5.6 plantas m⁻² con seis racimos, 10 plantas m⁻² a tres racimos y 2.5 plantas m⁻² a 15 racimos). Se evaluó rendimiento, número, peso y tamaño de los frutos, índice de área foliar e intercepción de la radiación. Se obtuvo más rendimiento (24.87 kg año⁻¹ m⁻² de invernadero), mayor índice de área foliar (2.4) y mejor distribución de la radiación, en el arreglo del dosel en forma de escalera de cuatro hileras establecidas con intervalo de 30 días, a tres racimos, 17.5 plantas m⁻² y 92 racimos año⁻¹ m⁻² de invernadero.

Palabras clave: racimos por año, despunte, *Lycopersicon esculentum* Mill., densidad.

ABSTRACT

Utilization of solar radiation over tomato plants of distinct age in hydroponics under greenhouse condition.

In order to increase incident radiation interception efficiency in greenhouse tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.), distinct modalities of production were evaluated. Plant row direction was east–west in a randomized blocks design, four repetitions and 2 m² of experimental unit. Treatments were established with stairlike arrangements and took as a base three rows of plants with six clusters and continuous imbrications every 45 days (at 7.5 and 9.4 plants m⁻² of greenhouse); stairlike arrangements with four plant rows with three clusters and difference of 30 days among cycles (at 12.3, 15, and 17.5 plants m⁻²); and steady arrangements (at 5.6 plants m⁻² with six clusters, 10 plants m⁻² with three clusters, and 2.5 plants m⁻² with 15 clusters). Yield, number, weight, and size of fruits, index of foliar area, and interception of radiation were evaluated. Most yield (24.87 kg year⁻¹ m⁻² of greenhouse), highest index of foliar area (2.4), and a best distribution of radiation was obtained in the canopy arrangement of stairlike shape with four rows established with an interval of 30 days with three clusters, 17.5 plants m⁻² and 92 clusters year⁻¹ m⁻² in the greenhouse.

Key words: clusters per year, pruning, *Lycopersicon esculentum* Mill., density.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos en México atraviesa en la actualidad por una etapa difícil, tanto por las limitantes ambientales como por la problemática socioeconómica; por lo que es prioritaria la generación de alternativas tecnológicas que sean económicamente redituables, dañen lo menos posible al ambiente y al mismo tiempo permitan incrementar la producción. En este contexto, las hortalizas son una opción alimenticia viable por lo que su cultivo se ha fomentado en todo el mundo. Particularmente, el tomate o jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es un producto muy nutritivo con elevado consumo per cápita, por lo que resulta de interés fomentar su cultivo incrementando el rendimiento y mejorando su calidad.

El cultivo del jitomate en hidroponía bajo invernadero está cobrando importancia en México, ya que se ha encontrado un mercado potencial tanto en el ámbito nacional, sobre todo en ciertas épocas del año, como en el de exportación.

El método de cultivo que convencionalmente se practica en hidroponía bajo invernadero en el mundo, principalmente en el norte de Europa y los Estados Unidos de América, consiste en el uso de variedades de fruto redondo y hábito de crecimiento indeterminado, sembradas en suelo o sustrato hidropónico a densidades que oscilan entre dos y tres plantas por metro cuadrado, dejándolas para cosechar 10 a 20 racimos por planta y completar su ciclo en casi un año. En este sistema el rendimiento obtenido fluctúa entre 100 y 300 t ha⁻¹ año⁻¹ (Picken, 1984; van de Vooren *et al.*, 1986; Resh, 2001). Se trata de un sistema en el cual el Índice de Área Foliar (IAF) aumenta continuamente y por ello la

densidad de población se determina considerando que las plantas crecerán hasta 3 ó 4 metros de altura, originando un elevado índice de Cosecha (IC) y Biomasa (B) por unidad de superficie (Sánchez, *et al.*, 1999a).

Bajo el sistema descrito, lo largo del ciclo de cultivo provoca una producción relativamente baja de biomasa por año, debido principalmente a que el IAF óptimo para una máxima intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) por el dosel tarda mucho tiempo en establecerse y, con frecuencia, ese IAF óptimo se sobrepasa al continuar el crecimiento de las plantas, ocasionando que la competencia por la RFA las llegue a afectar en forma negativa (Sánchez, 1999a). Charles-Edwards *et al.* (1986) consideran que entre más pronto se logre y se mantenga el IAF óptimo para una máxima intercepción de RFA, mayor rendimiento por unidad de superficie podrá lograrse. Otras limitantes de este sistema son una mayor propensión a enfermedades, un uso ineficiente del invernadero, la necesidad de invernaderos altos, la dificultad de manejo y el poco control sobre el precio de venta. Además, en los países donde más se utilizan estas tecnologías los costos de instalación y operación son muy altos, lo que aunado a la sofisticación de equipo y manejo, hace que no estén al alcance de la gran mayoría de los productores de México (Sánchez, *et al.* 1999a).

Con base en lo anterior, desde 1985 en la Universidad Autónoma Chapingo, se ha trabajado un programa de investigación enfocado a desarrollar “paquetes tecnológicos” de producción de jitomate y otras hortalizas en hidroponía bajo invernadero en los que se pretende, sin perder eficiencia técnica (obteniendo similar rendimiento y calidad), que sean más baratos y sencillos en su manejo, a fin de que más productores puedan tener

acceso a ellos (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Ponce, 1998; Sánchez *et al.*, 1998; Ucan, 1999; Sánchez *et al.*, 1999b; Méndez, 2002).

El presente trabajo de investigación se sitúa dentro de este programa y parte de la idea central de que es posible incrementar el rendimiento anual por unidad de superficie mediante un manejo eficiente de las plantas en tiempo y espacio, de tal manera que la radiación solar incidente se intercepte más uniformemente incrementando la fotosíntesis, la producción de materia seca por planta y el número de racimos cosechados por unidad de superficie al año (Sánchez, *et al.* 1999b).

Dada la inclinación de la radiación solar en su máxima cenital, por encontrarse Chapingo a los 19° de latitud norte, se plantea la hipótesis de que orientando las hileras de plantas de jitomate en dirección este-oeste y manejándolas a distinta edad, se pueden formar doseles en forma de escalera (escaleriforme) de tal forma que las plantas más desarrolladas no sombreen a las chicas, y con esto lograr un incremento en el rendimiento anual con relación a los sistemas convencionales de producción en invernadero (Sánchez, *et al.* 1999b).

Se plantea que una vez establecido el sistema de producción con hileras de plantas sembradas secuencialmente en el tiempo para lograr una producción continua, hay más intercepción de RFA por el dosel al año y por lo tanto mayor producción de biomasa y eventualmente de rendimiento por unidad de superficie (RUS). Con la orientación este-oeste de las hileras de plantas y el desfase de los ciclos de cultivo (mediante la imbricación de hileras) en el tiempo, se forma un dosel en forma de escalera que

propicia una distribución más homogénea de la RFA incidente, tanto entre plantas como entre hojas de cada planta. Esto sugiere que es posible incrementar la densidad de población reduciendo la distancia entre plantas y aumentar el número de ciclos de cultivo que se pueden obtener por año (sobre todo cuando se maneja con un sistema de transplantes de plántulas de mayor edad y el despunte temprano para dejar tres racimos por planta), lo que implica un mayor número de racimos cosechados por unidad de superficie por año y por tanto mayor RUS anual (Sánchez *et al.*, 1999a).

Con el objetivo de profundizar en el conocimiento sobre el manejo del cultivo y de mejorar la producción de jitomate, mediante el incremento de la intercepción de luz para cosechar más racimos por unidad de superficie por año, se realizó la presente investigación, que incluye la evaluación de modalidades de producción de jitomate con doseles escaleriformes formados por hileras de plantas de distinta edad y densidad de plantación, orientadas en dirección este-oeste. Estas modalidades se compararon también con los sistemas comerciales de producción manejadas con hileras de plantas de la misma edad y sembradas al mismo tiempo (doseles uniformes).

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

1. Conocer y comparar las ventajas (evaluando rendimiento y sus componentes) que ofrece el manejo de doseles escaleriformes formados con hileras de plantas de jitomate de distinta edad y orientadas en dirección este-oeste, en relación al manejo convencional.
2. Identificar el nivel de despunte y la densidad de plantas más adecuada, para maximizar el rendimiento por unidad de superficie y tiempo, para diferentes modalidades de cultivo con dosel escaleriforme.
3. Comparar la eficiencia de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa entre doseles escaleriformes y doseles uniformes.

2.2. Hipótesis

1. Los arreglos escaleriformes formados con hileras de plantas de distinta edad y orientadas en dirección este-oeste producen mayor rendimiento anual por unidad de superficie que los arreglos uniformes formados con hileras de plantas de la misma edad.

2. El sistema de cultivo de doseles escaleriformes, basado en hileras de plantas de distinta edad orientadas en dirección este-oeste, intercepta más eficientemente la RFA incidente que el sistema uniforme basado en hileras de plantas de la misma edad.
3. Los arreglos escaleriformes formados por hileras de plantas despuntadas a tres racimos por planta producen mayor rendimiento por unidad de superficie que los arreglos escaleriformes formados por hileras de plantas despuntadas a seis racimos.
4. Dentro de ciertos límites (de 7.5 a 17.5 plantas por m^2), a mayor densidad de población, se incrementa el rendimiento por unidad de superficie y tiempo.
5. A igual densidad de población y nivel de despunte, el rendimiento por planta es mayor en los sistemas basados en doseles escaleriformes que los manejados con doseles uniformes.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Origen, descripción e importancia del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

El tomate o jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), especie cultivada originaria de América y al parecer domesticado por primera vez en México, es la hortaliza más importante en numerosos países y su popularidad aumenta constantemente, dado su alto nivel de consumo, por lo que constituye una de las principales fuentes de vitaminas y minerales (Nuez, 1999).

El jitomate es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas, perenne, de porte arbustivo que se cultiva como anual. La planta puede desarrollarse en forma rastrera, semierecta o erecta, y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas. La ramificación es generalmente simpodial, con lo que los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar a la inflorescencia o a ramas abortivas. Las hojas son compuestas, imparipinadas con 7 a 9 foliolos y una filotaxia de 2/5. La inflorescencia es un dicasio compuesto generalmente por 4 a 12 flores. El fruto es una baya de forma globular, ovoide o aplastada cuyo peso oscila, según la variedad, entre 5 y 500 g. Cuando la planta crece directamente de la semilla, sin sufrir transplantes, desarrolla una potente raíz principal que le permite adaptarse a ecosistemas semidesérticos, pero cuando la raíz principal se daña, como por ejemplo a consecuencia del transplante, se desarrolla un sistema de raíces laterales adventicias (Nuez, 1999).

La planta se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelo, temperaturas y métodos de cultivo, y es moderadamente tolerante a la salinidad . Se desarrolla mejor en ambientes cálidos, con buena iluminación y drenaje. La exposición prolongada a temperaturas inferiores a 10 °C, la escarcha, una iluminación diurna inferior a 12 h, un drenaje deficiente o un abonado nitrogenado excesivo le afectan desfavorablemente. El fallo en el cuajado por polinización deficiente es uno de los problemas más comunes en el cultivo del jitomate (Nuez, 1999).

El jitomate es la principal hortaliza de exportación en México. Su participación en la balanza agropecuaria es fundamental en la generación de divisas, ocupando el 16 % del valor total de las exportaciones agropecuarias (INEGI, 1997).

La papa y el jitomate sobresalen a nivel mundial, contribuyendo con el 47 % de la producción de hortalizas, seguidas por la col, la sandía y la cebolla. En el comercio internacional de hortalizas el 70 % se concentra en siete productos, entre los cuales está el jitomate (INEGI, 1997). El promedio mundial de superficie cultivada de 1979 a 1994 fue de 2.7 millones de hectáreas con una producción promedio anual de 700 millones de toneladas. Los principales productores de jitomate fresco son: China, India, Estados Unidos de Norteamérica, la anterior Unión Soviética, Turquía, Italia, China y Egipto (Ho, 1996).

A pesar de que en México la demanda interna de este producto prácticamente se abastece con la producción a campo abierto, existen algunos intervalos de mercado durante el año (julio-septiembre y diciembre-enero) en los cuales normalmente no hay

suficiente producción en el mercado; asimismo, es posible propiciar hábitos de consumo de los jitomates hidropónicos producidos en invernadero, para que el consumidor los valore, buscando un sobreprecio. El mercado exterior sigue siendo una opción atractiva que vale la pena intensificar, la agricultura a campo abierto conlleva más riesgos y mayor incertidumbre, lo que aunado a la crítica situación del agua en México, hace necesario desarrollar sistemas que haga eficiente su uso, siendo la hidroponía una opción viable (Sánchez *et al.*, 1999a).

3.2. Producción continua de jitomate

Mediante diferentes trabajos de investigación, en la Universidad Autónoma Chapingo se ha logrado definir y validar comercialmente una nueva tecnología de producción de jitomate en hidroponía, que se basa en despuntar (eliminar la yema apical) las plantas para dejar sólo una, dos o tres inflorescencias (racimos florales) con una a dos hojas arriba de éstas; además, se eliminan mecánicamente todos los brotes laterales que emite la planta antes, durante y después del despunte, con el propósito de establecer muy altas densidades de población (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 1998).

Así, a través de prácticas de manejo, se ha logrado un arquetipo de jitomate que, a diferencia de las plantas del sistema convencional, incorpora varias características de las mencionadas como adecuadas para el logro de altos rendimientos en un ambiente no restrictivo, como el propiciado por un invernadero en condiciones hidropónicas. Por

ejemplo, con el despunte para dejar un racimo por planta y la poda de brotes laterales, se reduce la altura, de más de 2 m a sólo 50 cm, así como el área foliar por planta y se fuerza a la planta a un crecimiento determinado, reduciendo notablemente la competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo, lo que favorece a este último; además, al dejar una sola inflorescencia por planta, se elimina por completo la competencia entre racimos, favoreciendo un mayor tamaño y peso de frutos (Sánchez, 1997).

Gracias a la reducción de la altura que se logra con el despunte temprano, la densidad de población se puede incrementar hasta 25 plantas m^{-2} de superficie útil (18 plantas m^{-2} de invernadero) en el caso de plantas conducidas a un racimo, lo que permite el establecimiento rápido y temprano en el ciclo de cultivo, de un IAF óptimo, así como el mantenimiento del mismo durante todo el período de crecimiento del fruto. Potencialmente, se pueden producir cinco ciclos de cultivo en un año; por tanto, la biomasa que se logra por m^2 al año es muy superior y el índice de cosecha casi igual al del sistema convencional, por lo que la productividad anual puede aumentar por encima de las 600 $\text{ton ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (Sánchez y Corona, 1994; Ponce, 1995).

En muchos ensayos experimentales y comerciales se han comparado tratamientos con diferentes niveles de despunte (despunte para dejar uno, dos o tres racimos por planta) y diferentes densidades de población dentro de cada nivel de despunte: de 6 a 15 plantas m^{-2} de superficie útil en sistemas a tres racimos por planta, de 9 a 25 plantas m^{-2} de superficie útil en sistemas a dos racimos por planta, y de 10 a 36 plantas m^{-2} de

superficie útil en sistemas a un racimo por planta (Figura 1) (Cancino, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Sánchez *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 1999a).

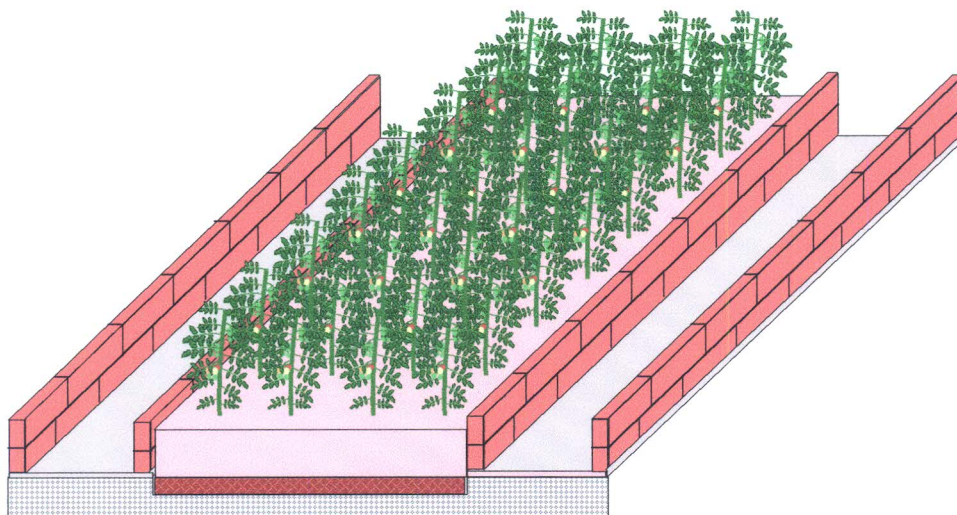


Figura 1. Esquema de producción con plantas despuntadas a tres racimos mostrando algunos detalles de la tina.

A pesar del éxito del sistema de producción de jitomate en hidroponía con trasplantes tardíos, despuntes tempranos y altas densidades de población, se ha detectado que existen todavía limitaciones que podrían superarse para incrementar aún más los rendimientos anuales de fruto por unidad de superficie. En un trabajo Ucan (1999) y a través de varias experiencias comerciales se ha podido observar que las hileras de plantas que corren a lo largo del centro de las tinas rinden de 20 a 30 % menos que las plantas ubicadas en las hileras exteriores de las tinas y que ello se debe a una menor cantidad de RFA interceptada por planta en las hileras centrales, como producto del sombreadamiento ocasionado por las plantas en las hileras exteriores, mismas que se ven favorecidas con mayor iluminación y mejor distribución de la luz en las hojas por el espacio de los pasillos que hay entre tina y tina.

Basándose en la flexibilidad en el manejo de las plantas de jitomate y en la ubicación y movimientos diarios y estacionales del sol, es posible pensar en formas y disposiciones de plantas que mejoren la distribución de la radiación solar (directa y difusa) en cada una de las hojas del dosel, permitiendo un incremento en la tasa de asimilación neta (gramos de materia seca producida por cada m^2 de hoja por día) o un incremento en el índice de área foliar (sin una disminución importante de la tasa de asimilación neta) que se refleje en una mayor producción de biomasa por unidad de superficie por día. Dicho de otra manera, es interesante encontrar formas y disposiciones de plantas donde la radiación incidente se intercepte más uniformemente por el dosel, permitiendo acomodar más racimos por unidad de superficie y tiempo, sin detrimento significativo del número de frutos por racimo ni del peso medio de los frutos para así incrementar el rendimiento y la productividad anual (Sánchez *et al.*, 1999a). Jorge (1999) realizó un experimento que demuestra que esto es posible. En tinas orientadas norte-sur, buscando una mejor intercepción de luz por el dosel, él formó un dosel escaleriforme manejando 25 plantas m^{-2} de superficie útil distribuidas en cuadro real (cinco hileras de plantas por tina a 20 cm entre plantas y 20 cm entre hileras) y despuntando las dos hileras exteriores para dejar un racimo por planta, las dos hileras intermedias para dejar dos racimos por planta y la hilera central para dejar tres racimos por planta (Figura 2). De esta manera logró alojar 45 racimos m^{-2} de tina contra 25 que se logran con el sistema de despunte a un racimo ó 36 con el esquema a 3 racimos y 12 plantas m^{-2} . Con esta disposición de plantas, formando un dosel escaleriforme, obtuvo un rendimiento de 30 kg m^{-2} , contra sólo 20 kg m^{-2} en los tratamientos testigo de 1 racimo y 25 plantas m^{-2} y de 3 racimos y 12 plantas m^{-2} , que son los que se aplican comercialmente.

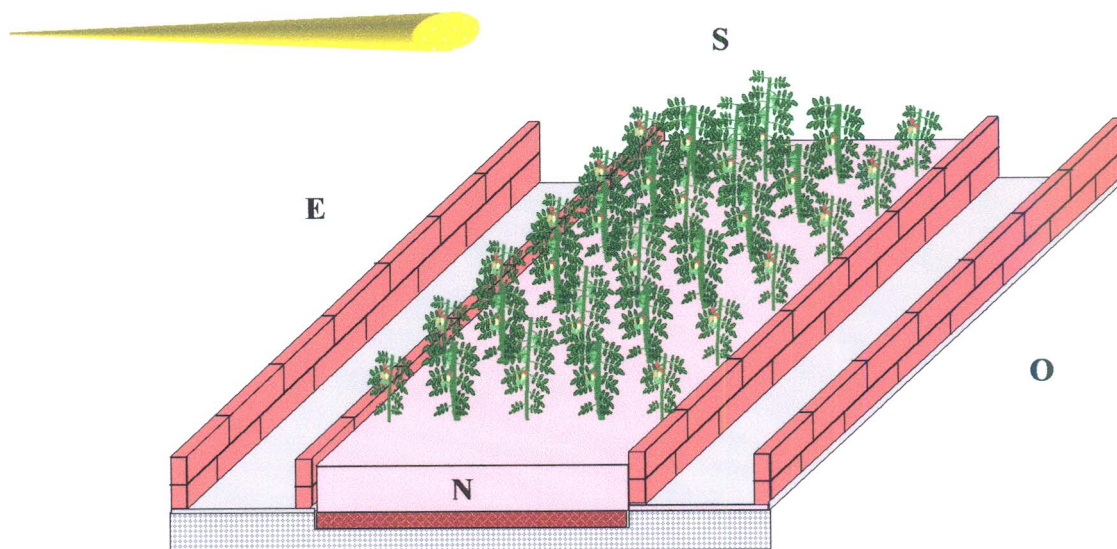


Figura 2. Ejemplo de hileras de plantas a distintas alturas formando un dosel escaleriforme.

Debido a que la localidad de Chapingo se encuentra a una latitud de 19° N, la mayor parte del año el sol se mueve en dirección este-oeste, pero dado que la inclinación que presenta el eje norte-sur de la tierra ($23^{\circ} 17'$) no pasa por el zenit, sino que presenta un ángulo de inclinación hacia el sur de dicha localidad, la magnitud de ese ángulo varía con la época del año. Por ejemplo, en el solsticio de invierno (21 de diciembre) el ángulo es de aproximadamente 42° al sur con respecto al zenit, mientras que en los equinoccios de primavera y verano es de 19° . Sólo en el solsticio de verano (21 de junio) el sol adquiere, en la latitud de Chapingo, un ángulo de 4° hacia el norte con respecto al zenit. Esta es una de las razones por las cuales se pensó en diseñar doseles de plantas de jitomate en forma de escalera orientadas en dirección este-oeste (Sánchez *et al.*, 1999b).

Se han obtenido resultados que muestran la viabilidad del sistema de cultivo basado en doseles escaleriformes. Al respecto, Méndez (2002) probó el formar, en cada tina de cultivo

con orientación este-oeste, doseles escaleriformes mediante el manejo de tres o cuatro hileras de plantas de distintas alturas y con orientación este-oeste. La forma de escalera se logró podando cada hilera de plantas a diferentes altura y dejándoles un diferente número de racimos por planta. Así, la hilera ubicada en el lado sur de cada tina se manejó con despuntes a dos racimos por planta (con aproximadamente 50 cm de altura) y 10 plantas por metro lineal; la hilera central se despuntó para dejar tres o cuatro racimos por planta (de alrededor de 1 m de altura) y 6.5 plantas por metro lineal; la hilera ubicada en el norte se dejó a 6 racimos por planta (de aproximadamente 1.8 m de altura) y cuatro plantas por metro lineal (Figura 3). Con esta disposición se lograron acomodar por ciclo de 43 a 66 racimos m^{-2} de superficie útil, manejados a distintas densidades, contra sólo 36 en el tratamiento testigo con dosel uniforme, cuatro hileras de plantas manejadas a tres racimos y 10 plantas m^{-2} de superficie útil. En general, Méndez observó mayor rendimiento con estos arreglos que con el testigo uniforme.

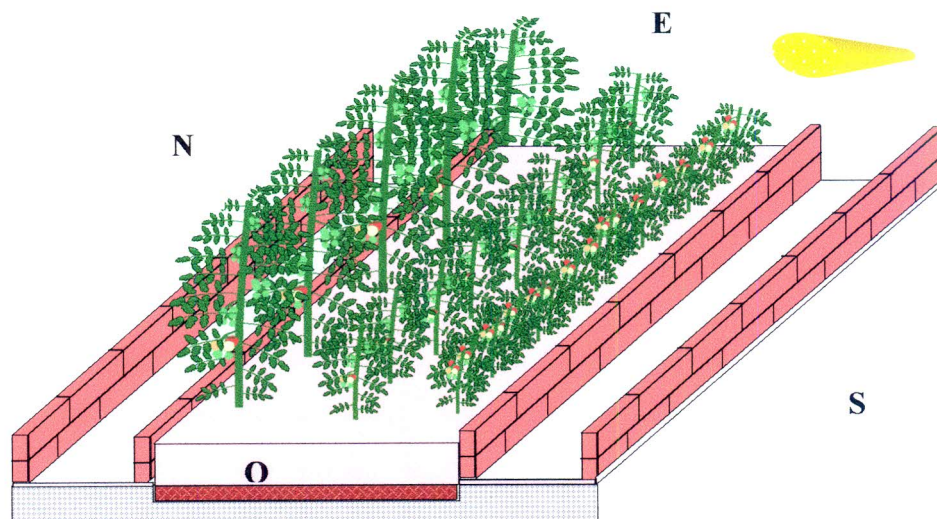


Figura 3. Dosel escaleriforme con hileras de plantas de distinta altura orientadas en dirección este-oeste.

También Vázquez (2002) obtuvo mayor rendimiento (29.3 kg m^{-2} de parcela útil) al acomodar en un sistema escaleriforme 48 racimos m^{-2} de parcela útil, contra 36 kg m^{-2} del testigo uniforme con 6 plantas de parcela útil despuntadas a seis racimos y rendimiento de 21.3 kg m^{-2} de parcela útil por ciclo de cinco meses.

Sánchez (2001b) menciona que actualmente se investiga y se tienen resultados en otros aspectos que tienden a optimizar estos sistemas de producción, destacando lo siguiente:

- 1) Tratamientos a las plantas en semillero (con retardadores de crecimiento, citocininas, luz artificial, CO_2 , bajas temperaturas nocturnas, poda de hojas que inician su crecimiento) con el objetivo de provocar la formación de más flores por inflorescencia, teniendo hasta ahora buenos logros.
- 2) Propagación vegetativa del jitomate a partir del enraizamiento de esquejes obtenidos de la poda de los brotes laterales y de los despuntes, con los objetivos de acortar aún más los ciclos de cultivo y de bajar los costos de operación para plantas conducidas a uno, dos o tres racimos.
- 3) Aplicación de retardadores del crecimiento (Cycocel y Paclobutrazol) para reducir el porte de las plantas sin menoscabo de su rendimiento, a fin de acceder a mayores densidades de plantas con un mayor rendimiento por unidad de superficie.
- 4) Evaluación del sistema de despuntes tempranos y altas densidades en otras especies hortícolas. Un paquete tecnológico similar al de jitomate se ha

desarrollado y validado con éxito para el pepino y se están iniciando ensayos con chile pimiento.

- 5) Evaluación del sistema escaleriforme construido con hileras de plantas a diferente altura a base de despuntes y orientando las hileras en dirección este-oeste, o bien formando la escalera con tinas colocadas a distinta altura con cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos (Figura 4).

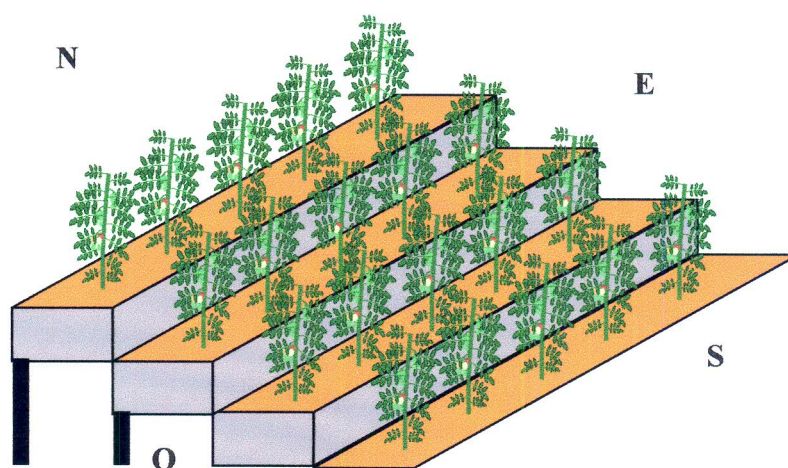


Figura 4. Doseles escaleriformes en dirección este-oeste conformados por juegos de cuatro hileras de plantas de jitomate despuntadas a tres racimos con tinas colocadas a diferente altura.

De los trabajos anteriores surge el proyecto donde se planteó la evaluación del rendimiento por unidad de superficie que se puede obtener con un sistema de producción con base en doseles escaleriformes formados con hileras de plantas de diferente edad (ciclos de cultivo imbricados) orientadas en dirección este-oeste y cultivadas en macetas (bolsas de polietileno) rellenas con arena de tezontle o de río. Por ejemplo, si las plantas son conducidas a un solo tallo para dejar seis racimos por planta, manejando la

imbricación de tres ciclos de producción (una hilera de plantas por cada ciclo) con diferencias de 45 días de edad entre las plantas de cada ciclo, podrían obtenerse de ocho a nueve ciclos de cultivo al año con más de 100 ton ha⁻¹ ciclo (Sánchez *et al.*, 1999b).

3.3. Hidroponía

La hidroponía, etimológicamente significa “trabajo en agua” o cultivo en agua. Actualmente se considera como el establecimiento de cultivos sin suelo y se puede definir como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en el agua, y en el que en vez de suelo se utiliza como sustrato un material inerte o simplemente la misma solución (Sánchez y Escalante, 1989).

El interés por esta técnica a nivel mundial obedece fundamentalmente a los elevados rendimientos que se pueden obtener por unidad de superficie (100 a 1000 % más que el cultivo convencional en suelo) y a la mejor calidad de los productos obtenidos (lo que significa mejor mercado y precio de venta). Maximizar el desarrollo de las plantas y la producción bajo este sistema ha conllevado a un balance entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; la ausencia de malas hierbas, al mayor control sobre las plagas y enfermedades, al óptimo del pH. Todo esto permite una mayor densidad de población. Como ventajas adicionales se pueden mencionar: mayor precocidad de la producción, eficiencia en el uso del agua y fertilizantes, el uso de aguas

de menor calidad, el uso de invernaderos y la posibilidad de obtener varias cosechas en un año (Sánchez *et al.*, 1999b).

Actualmente se han desarrollado diferentes modalidades de cultivos hidropónicos, mismas que se pueden agrupar en tres categorías: cultivo en solución, cultivo en grava y cultivo en agregado (Sánchez y Escalante, 1989); también se pueden clasificar en: cultivo en agua (incluyendo la aeroponía y el Nutrient Film Technique, NFT), cultivo en grava, cultivo en arena, cultivo en aserrín, cultivo en lana de roca y otros cultivos sin suelo (Resh, 2001). Cualquiera que sea la clasificación, lo cierto es que en los últimos años se ha venido generando un mayor interés por la hidroponía en México, debido principalmente a que representa una alternativa de solución a la problemática agrícola en el aspecto técnico, socioeconómico y tecnológico.

Existen muchas modalidades de este sistema de cultivo y se usan en función de los factores ambientales, socioeconómicos y tecnológicos de cada país y de cada productor. El uso de esta técnica ha ocurrido a raíz de los descubrimientos de las sustancias que permiten el desarrollo de las plantas, que al conjugarse con el uso de invernaderos y plásticos permitió un gran impulso, especialmente en el cultivo de flores y hortalizas, particularmente en países como Estados Unidos, Canadá, Japón, Rusia, Holanda, España y otros países de Europa, Asia y África (Resh, 2001).

Por la fuerte inversión que implica la instalación y operación de estos sistemas, la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, con un manejo eficiente del espacio y del tiempo para alcanzar la máxima productividad.

entendida ésta como el rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo ($\text{kg m}^{-2} \text{año}^{-1}$). La necesidad de incrementar la producción agrícola en un contexto de escasa superficie cultivable por habitante y por productor, de irregularidades en el clima como la falta de agua y las heladas, y de serias limitaciones en la fertilidad de los suelos acentuadas por topografía accidentada, erosión hídrica y eólica y salinidad, ha llevado a considerar como una opción tecnológica el uso de sistemas de producción intensivos como la hidroponía y los invernaderos (Sánchez y Corona, 1994).

3.4. Invernaderos

Un invernadero se concibe como un conjunto formado por una estructura ligera y cubierta que permite la protección y/o crecimiento de las plantas mediante el uso de la energía solar y la defensa contra el frío y otras condiciones climáticas adversas. El tamaño del recinto permite trabajar cómodamente a una persona en su interior (Matallana y Montero, 1995)

El establecimiento de cultivos bajo invernadero representa varias ventajas, entre las cuales, según Serrano (1994), se encuentran la posibilidad de intensificar la producción, cultivar todo el año, obtención de productos fuera de temporada, obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas, aumento de los rendimientos, obtención de productos de calidad, mejor control de plagas y enfermedades y condiciones idóneas para la experimentación e investigación.

El uso de invernaderos en conjunción con un sistema hidropónico permite reducir al mínimo las restricciones de clima, agua y nutrientes, y lograr un eficiente control de plagas, enfermedades y malezas. Por ello también es de gran importancia la búsqueda de genotipos que, en altas densidades de población, tengan un gran potencial de rendimiento por unidad de superficie en ese ambiente no restrictivo. Igual importancia reviste la generación y aplicación de prácticas culturales encaminadas a lograr que el cultivo aproveche al máximo los insumos proporcionados, favoreciendo así la máxima expresión de su potencial productivo (Sánchez *et al.*, 1999a). Los cultivos hidropónicos son ahora una realidad para los productores en invernadero, virtualmente en todas las áreas climáticas del mundo, dadas las ventajas que este tipo de estructuras implican (Resh, 2001).

3.5. La energía radiante y el funcionamiento y desarrollo de la planta

3.5.1. Aspectos generales

Para mantener su estructura y funcionamiento los seres vivos necesitan un continuo aporte de energía, que reciben al tomar alimentos. A su vez, estos alimentos han sido sintetizados por las plantas con una inversión de energía; pero (y esta es la gran importancia de la fotosíntesis) la energía que las plantas emplean es energía extraterrestre: la energía de la luz. Se entiende así que un organismo es una progresiva organización durante su desarrollo, posible porque es un sistema abierto, y la fotosíntesis es la conversión primaria de energía. La luz tiene características de partícula y de onda y

representa sólo la porción de la energía radiante con longitudes de onda visibles para el ojo humano (aproximadamente 390 a 760 nm), la cual es una región muy angosta del espectro electromagnético (Salisbury y Ross, 1994).

La luz, esta parte visible de la radiación solar, por mucho tiempo ha sido reconocida como el factor esencial en la fotosíntesis, el proceso que suministra la energía bioquímica y el carbono necesario para el desarrollo del cultivo. La longitud de onda en la banda de 400-700 nm (radiación fotosintéticamente activa, RFA) es usada más eficientemente en la fotosíntesis (Gardner *et al*, 1985), y la medida de la luz para la fotosíntesis se puede expresar como densidad del flujo de fotones fotosintéticos o simplemente flujo de fotones fotosintéticos (FFF).

Sánchez (2001a) define la irradiancia como la cantidad de energía de radiación que incide sobre una unidad de superficie plana en un cierto intervalo de tiempo. Un término también usado como sinónimo, aunque no tan preciso, es el de intensidad luminosa. La irradiancia se mide en unidades radiométricas (basadas en la energía producida por unidad de espacio y tiempo), cuánticas (basadas en el número de fotones incidentes en una superficie por unidad de tiempo) o fotométricas (basadas en el brillo producido por la intensidad de radiación). Ejemplos de unidades de medida de la irradiancia se muestran en el Cuadro 1 y las equivalencias aproximadas se incluyen en el Cuadro 2.

Dado que la radiación fotosintéticamente activa se mide actualmente en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y que muchos autores reportan los resultados de sus investigaciones en unidades de medida diferentes, se incluye el Cuadro 2, para conocer las equivalencia aproximadas.

Cuadro 1. Unidades de medida más comunes de la irradiancia.

Radiométricas	Cuánticas	Fotométricas
$\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$, o sea W m^{-2}	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ antes $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Lux (brillo de una candela a 1 m de distancia)
$\text{Erg s}^{-1} \text{m}^{-2}$		Pie-bujía o pie candela (brillo de una candela a 1 pie de distancia)
$\text{Cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ (Langley min^{-1})		
$\text{MJ m}^{-2} \text{día}$		

J= Joule; s= segundo; W= watt; Cal= caloría; E= Einsten

Fuente: Sánchez (2001a)

Cuadro 2. Equivalencias aproximadas entre diferentes unidades de irradiancia.

unidad	Equivalencia aproximada	Equivalencia aproximada
1 Watt m^{-2} (RFA)	23.148 pie-bujía	249.07 lux (luz solar)
1 Watt m^{-2} (RFA)	21.882 pie-bujía (luz incandescente)	234.45 lux (luz incandescente)
1 Watt m^{-2} (RFA)	28.571 pie bujía (luz fluorescente)	307.43 lux (luz fluorescente)
1 Watt m^{-2} (RFA) (RST) sostenido 1 minuto	0.00143 cal $\text{cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ (cualquier luz)	
1 Watt m^{-2} (RFA) sostenido 1 día	0.0864 MJ $\text{m}^{-2} \text{día}^{-1}$ (cualquier luz)	
1 Watt m^{-2} (RFA)	4.657 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (luz solar)	
1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (RFA)	4.97 pie-bujía (luz solar)	53.48 lux (luz solar)
1 pie-bujía (RFA)	10.76 lux (cualquier luz)	

Fuente: Sánchez (2001a), adaptado de Mastalerz (1977) y Coombs *et al.* (1988).

El desarrollo de las plantas autótrofas es directa y drásticamente influida por la intensidad de la luz (la fuerza motriz de la fotosíntesis), la cual abastece de casi todo el carbono y la energía química necesarios para el desarrollo de la planta. Además, la intensidad de la luz (densidad de flujo fotónico) es tal vez la variable ambiental más sobresaliente a la cual las plantas deben enfrentarse (Björkman, 1981).

El proceso de fotosíntesis se presenta principalmente en las hojas verdes y en mucho menor proporción en otros órganos verdes (peciolos y tallos) de la planta. Jones (1999)

señala que la tasa de fotosíntesis es afectada por factores externos a la planta, tales como: temperatura del aire (alta y baja), nivel de CO₂ en el aire cercano a la planta, e intensidad y calidad de la luz.

La radiación de onda corta influye de dos maneras en el desarrollo de los cultivos: La Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA, luz de 400 a 700 nm) es necesaria para la fotosíntesis, y en consecuencia para la producción de los cultivos, mientras que la energía de radiación es el factor principal que afecta la transpiración de los cultivos (Jolliet, 1993). La productividad de la mayoría de los cultivos de invernadero es influenciada fuertemente por la cantidad de radiación que reciben. Por ejemplo, Cockshull *et al.* (1992) observaron una relación proporcional entre el rendimiento de jitomate y la radiación solar recibida. A menudo la luz limita la producción en invernaderos, especialmente en invierno y a altas latitudes (Cockshull, 1988).

Las especies cultivadas eficientes tienden a invertir la mayoría de su crecimiento inicial en la expansión de área foliar, lo que resulta en una intercepción más eficiente de la radiación solar. De hecho, muchas prácticas agronómicas, tales como el abono de base, altas densidades de plantas y arreglos de distribución de plantas más uniformes, se usan para acelerar el cubrimiento del terreno con follaje e incrementar así la intercepción de luz en fases más tempranas del ciclo del cultivo. Conforme se desarrolla el área foliar, la intercepción de la radiación solar por las hojas aumenta. Al principio el área foliar se desarrolla exponencialmente, pero dado que el área foliar inicial es muy pequeña no ocurre una intercepción importante de la radiación durante varias semanas. Dado que en muchas especies de cultivo con la floración termina el desarrollo del área foliar, el

objetivo agronómico más importante es maximizar la fotosíntesis de todo el dosel interceptando toda o casi toda la radiación solar (Gardner *et al.*, 1985).

La respuesta de una planta a la radiación incidente ha sido clasificada como fotosintética y fotomorfogénica (Sager *et al.*, 1982). Ballaré *et al.* (1995) señalan que los pigmentos vegetales absorben la mayoría de los fotones de las partes ultravioleta (100-400 nm) y visible (390-760 nm) del espectro. Por el contrario, pocos fotones son absorbidos del rojo lejano (700-775 nm) y la mayoría se reflejan en forma de radiación difusa. Por lo tanto, dentro del dosel de las plantas, la radiación ambiental se caracteriza por niveles bajos de longitudes de onda azul y rojo que son más absorbidos por las clorofilas, y niveles altos de rojo lejano. Cambios en la relación rojo: rojo lejano, mediada por el sistema fitocromo, puede alterar el patrón de crecimiento de ciertas plantas, mismas que cuentan con mecanismo para detectar la proximidad de las vecinas en plantas erectas. De acuerdo con Bruggink y Heuvelink (1987), los mecanismos fotomorfogénicos pueden estar involucrados en las siguientes respuestas al amontonamiento: a) aumento de altura; b) distribución heterogénea de brotes; c) alteración en la ramificación y en la distribución de asimilados. Postularon también que el incremento en el área foliar total en respuesta a una disminución en el FFF total diario se debe a la influencia de fotorreceptores de luz azul.

El nivel de luz dentro de un invernadero depende de su localización y de su construcción, afectando la transmisión. Lo anterior puede ser modificado por el tipo de invernadero, su construcción y su orientación. Es importante poder predecir la transmisión de un invernadero; por ejemplo, en el diseño de nuevos invernaderos y

cuando se está buscando la mejor orientación del invernadero (Baille *et al.*, 1990; Cockshull *et al.*, 1992). Además, la transmisión de un invernadero es difícil de medir, debido a la variación espacial dentro del invernadero. Heuvelink *et al.* (1995) midió la radiación total global y la fracción difusa fuera del invernadero. Las mediciones mostraron valores casi constantes de 62% para la transmisión en días medio nublados (90-100% de radiación difusa), mientras que la transmisión promedio diaria para el sector varió entre 51% y 73% en aquellos días. En días claros (cuando una gran parte de la radiación es directa) la transmisión se puede incrementar desde valores inferiores al 40% en la mañana temprano hasta 70% alrededor del mediodía.

3.5.2. Índice de Área Foliar

Según Pearce *et al.* (1965), el índice de área foliar (IAF) no es más que el área de hojas que existe por unidad de superficie de suelo. Estos autores indican que el número y tamaño de las hojas son afectados por el genotipo y el medio ambiente; la posición de las hojas en la planta es controlado principalmente por el genotipo, que también tiene un efecto importante sobre la tasa de crecimiento de la hoja y de las dimensiones finales, así como la capacidad de respuesta a las condiciones imprevistas del medio ambiente y a las condiciones hídricas.

El desarrollo del IAF en el tiempo es de suma importancia debido a su relación cercana con la intercepción del FFF, un prerequisite de la fotosíntesis (Williams *et al.*, 1965; Shibles y Weber, 1966). El desarrollo de un área foliar adecuada para la cobertura completa del suelo en el momento más temprano en la vida del cultivo resulta en una

mayor duración del área foliar (frondosidad durante el periodo de crecimiento) y ha sido destacado por muchos investigadores, por sus beneficios en la intercepción del FFF en la estación de crecimiento y por tanto en la producción final. La forma más apropiada para aumentar el IAF rápidamente es incrementando la población de plantas por unidad de superficie, lo cual se ha probado en varios cultivos: chile (Verheij y Verwer, 1971); pepino (Nederhoff, 1984) y jitomate (Harper *et al.*, 1979; Papadopoulos y Ormrod, 1990).

Por su lado, van de Vooren *et al.* (1986) mencionan que en plantas viviendo en poblaciones después de que se sobrepasa un cierto índice de área foliar, como un efecto del sombreado mutuo, se intercepta menos radiación y se producen menos fotoasimilados por planta, lo que puede conducir a un menor número de frutos por planta y un menor diámetro y peso de los mismos.

Pendleton *et al.* (1968), investigando con maíz, concluyeron que cuando se busca rendimiento de fruto o de grano, hay una densidad óptima (IAF óptimo) más allá de la cual el IAF puede ser excesivo, ocasionando que muchos fotosintatos sean desviados hacia crecimiento vegetativo o para la respiración de mantenimiento y queden menos disponibles para el crecimiento de los frutos o granos. En este caso, debe procurarse formar un dosel denso tan pronto como sea posible. Aunque no hay pérdida de rendimiento por estar sobre el IAF crítico, tampoco hay ganancia porque no se puede interceptar más del 100% del FFF.

3.5.3. Tasa de asimilación neta

Dado que la superficie de las hojas es la parte fotosintética primaria de las plantas, es deseable expresar el crecimiento con base en el área foliar. La Tasa de asimilación neta (TAN) es la tasa de acumulación de materia seca por unidad de área foliar por unidad de tiempo (generalmente se expresa como g m^{-2} de área foliar día^{-1}). La TAN es una medida de la eficiencia de la fotosíntesis en el promedio de todas las hojas del dosel y conforme el cultivo crece y el IAF aumenta más y más hojas se sombrean, causan una disminución de la TAN conforme el ciclo avanza (las hojas sombreadas hacen muy poca fotosíntesis y además gastan fotoasimilados para respirar y mantenerse vivas). En doseles con alto IAF las hojas jóvenes en la punta de las plantas son las que absorben la mayor parte de la radiación solar, tienen una tasa elevada de asimilación de CO_2 y traslocan grandes cantidades de asimilados a otras partes de la planta. En contraste, las hojas más viejas en el interior del dosel, bajo condiciones de sombra excesiva tienen tasas muy bajas de asimilación de CO_2 y contribuyen con pocos o ningún asimilado a otra partes de la planta. La TAN no incluye la fotosíntesis no laminar (la que se da en órganos distintos a las hojas), la cual puede ser importante para el rendimiento en ciertos cultivos (Gardner *et al.*, 1985).

3.5.4. Tasa de crecimiento del cultivo

El crecimiento en la mayoría de los casos, se define como un incremento en biomasa (Challa *et al.*, 1995). El término con un significado más claro para el análisis de doseles de cultivos es el de acumulación de materia seca por unidad de superficie de suelo por

unidad de tiempo, llamado comúnmente tasa de crecimiento del cultivo (TCC). La TCC se mide cosechando una comunidad de plantas a intervalos frecuentes y calculando el incremento en peso seco de un muestreo a otro. Generalmente se expresa como gramos de materia seca producida por las plantas que cubren un metro cuadrado de suelo en un día ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). La TCC está estrechamente relacionada con la intercepción de la radiación solar. Puesto que la superficie de la hoja es el órgano fotosintético principal de la planta, en ocasiones es deseable expresar el crecimiento con base en el área foliar; la acumulación de biomasa por unidad de área foliar por unidad de tiempo es denominada tasa de asimilación neta (TAN), de tal modo que: $\text{TCC} = \text{TAN} \times \text{IAF}$. El crecimiento del cultivo cuando es expresado como acumulación de biomasa por unidad de área por unidad de tiempo se define como la tasa de crecimiento del cultivo (TCC).

El desarrollo del IAF a través del tiempo es de gran importancia porque hay una relación cercana con la intercepción de FFF, un prerequisite de la fotosíntesis (Williams *et al.*, 1965; Shibles and Weber, 1966). El desarrollo de un área foliar adecuada para cubrir completamente el suelo lo más pronto posible en el ciclo de un cultivo, lo cual trae como resultado una elevada duración del área foliar (cantidad de hojas durante el periodo de crecimiento del cultivo), ha sido destacado por muchos investigadores por sus beneficios para la intercepción del FFF a través de la fase de crecimiento del cultivo y por lo tanto del rendimiento final. La alternativa más conveniente para incrementar rápidamente el IAF es mediante el incremento de la población de plantas, lo cual ha sido demostrado en muchos cultivos.

Brougham (1960) trabajando con un dosel formado por pasto y trébol mostró que, a pesar de que la TAN va disminuyendo, la TCC se incrementa conforme lo hace el IAF hasta alrededor de 5, que es cuando se intercepta, en este dosel, el 95% de la radiación solar. Índices de área foliar mayores a 5 ya no causaron cambios en la TCC; denominando IAF crítico a aquel en el que el dosel alcanza la máxima TCC. Este concepto fue retomado por varios fisiólogos por dos causas: primero, porque la intercepción de energía radiante se aproxima asintóticamente a su máximo, lo cual significa que un IAF que intercepta el 100% de la radiación es muy difícil de medir con precisión; y segundo, porque la intercepción del 95% bajo la máxima radiación de $2300 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, significa que la radiación en el fondo del dosel es de $115 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que es el punto de compensación por luz para la mayoría de las especies C_3 .

El incremento del IAF para lograr una intercepción de radiación solar superior al 95% da como resultado incrementos insignificantes o nulos de la TCC. Brougham (1960) encontró que las plantas que usaron la mayoría de las hojas para interceptar el FFF crecieron más rápido, sugiriendo que un dosel eficiente debe permitir la penetración de parte del FFF hacia las hojas inferiores y que la distribución del FFF entre muchas hojas es un prerequisite para una elevada productividad total. Esto no es sorprendente debido a que a niveles normales de CO_2 las hojas individuales de muchas plantas C_3 alcanzan tasas de asimilación máximas con aproximadamente un cuarto de la radiación disponible de la luz solar total en verano en una zona templada (Blackman, 1961); algunas de estas hojas realmente absorben de 80 a 90% del FFF incidente sobre ellas (Monteith, 1980).

En jitomate de invernadero, debido a su hábito de crecimiento indeterminado, existe la posibilidad adicional de obtener un elevado IAF al desarrollar las plantas altas en cuerdas verticales con muchas capas de hojas, como sucede en forma natural en los bosques. La propiedad de dispersar un cierto IAF verticalmente permite una mejor penetración del FFF y por lo tanto una distribución más uniforme del mismo en el dosel, resultando en una mayor fotosíntesis neta. Alternativamente, esta habilidad permite el establecimiento y mantenimiento de índices de área foliar que son mucho más altos que los encontrados comúnmente en jitomate que crecen a campo abierto, los cuales traen como consecuencia la producción muy elevada en invernadero (Harper *et al.*, 1979; Papadopoulos y Ormrod, 1990).

Bajo condiciones de FFF que favorecen altas tasas de fotosíntesis (alto IAF), el crecimiento de la planta sigue un patrón bien definido con hojas gruesas que tienen una elevada biomasa foliar por unidad de área foliar y un área foliar baja por unidad de biomasa total. La evidencia experimental en jitomate indica que la relación entre TRC y el FFF media total diaria interceptada por las plantas jóvenes es una hipérbola rectangular (Bruggink y Heuvelink, 1987), sugiriendo que un FFF total diario bajo, disminuye bruscamente la TRC.

3.6. Análisis de rendimiento

Según Charles-Edwards (1986), el crecimiento y productividad de un cultivo se puede determinar en función de cinco variables fisiológicas: a) la cantidad de energía radiante

interceptada por el dosel; b) la eficiencia con la cual la energía interceptada por el dosel es utilizada para la producción de nueva materia seca; c) la proporción de nueva materia seca que es translocada al producto de interés agronómico; d) la tasa de pérdida de materia seca; y e) la duración del crecimiento y producción de la planta.

3.6.1. Radiación interceptada por el dosel

Los cultivos, a nivel de población o comunidad, interceptan tanto luz directa como luz difusa. Las hojas superiores reciben ambos tipos de luz, mientras que las hojas en el interior del dosel reciben una proporción más baja de luz directa (rayos solares que llegan a pasar). La radiación indirecta se vuelve dominante debido a la radiación transmitida a través de las hojas y reflejada de la superficie de las hojas y del suelo, además de la propia luz difusa incidente sobre el dosel desde todos los ángulos. Tanto la cantidad como la calidad de la radiación cambian con la profundidad en el dosel, debido a que la radiación transmitida y reflejada por las hojas es predominantemente infrarroja. Debido a que las plantas absorben principalmente entre los 400 y 700 nm, las longitudes de onda más largas se vuelven más prominentes en los estratos inferiores del dosel (Gardner *et al.*, 1985; Papadopoulos y Ormrod, 1990).

Generalmente las hojas expuestas a la radiación solar directa se encuentran arriba de su punto de saturación por luz. En un dosel planófilo y en ausencia de otros factores limitantes, las hojas superiores realizan fotosíntesis máxima por estar saturadas con luz, mientras que las de abajo tienen una fotosíntesis reducida debido al sombreado, lo cual limita el incremento en la fotosíntesis total del dosel ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ de suelo

cubierto por el dosel s^{-1}) al incrementar el IAF. Teóricamente, un dosel de este tipo podría ser más eficiente (mayor fotosíntesis total del dosel por unidad de área del suelo) si la radiación estuviera distribuida más homogéneamente entre todas las hojas. Esto último podría lograrse con un dosel donde las hojas superiores fueran erectas y las de abajo planófilas con el sol ubicado cerca del zenit (Gardner *et al.*, 1985).

Del total de radiación que llega al dosel no toda es absorbida por éste, existiendo un coeficiente de extinción, el cual se define como la fracción de la energía de la radiación fotosintéticamente activa incidente absorbida por unidad de área foliar de un dosel vegetal (Nobel y Long, 1988).

Diferentes autores (Loomis y Williams, 1969; Nobel y Long, 1988; Gardner *et al.*, 1985; Acock, 1991) señalan acerca de la cantidad de energía radiante interceptada por el dosel (J), que depende de la cantidad diaria de energía incidente (S) y de la proporción de ella que es absorbida efectivamente en dicho dosel (Q); es decir: $J = SQ$. Cuando se trata de un dosel cerrado, Q puede estimarse en función del índice de área foliar (IAF) y el coeficiente de extinción del dosel (K), del modo siguiente: $Q = 1 - e^{(-KIAF)}$.

En doseles en los cuales se supone una distribución aleatoria del follaje en las tres dimensiones, K depende principalmente del ángulo de inclinación dominante de las hojas, del IAF (relación inversa): de las proporciones relativas de radiación directa y difusa, de la elevación del sol respecto al horizonte, del diámetro finito del disco solar, de los cambios en la distribución espectral de la radiación incidente al penetrar en el

dosel, de las múltiples reflectancias de la radiación incidente dentro del dosel y de la disposición o arreglo de las hojas en forma vertical y horizontal (Campbell, 1981).

Generalmente los valores de K se encuentran entre 0.3 y 1.0, y para elevados IAF (más de 3), entre menor sea el valor de la distribución de la luz en el dosel se considera más eficiente para la fotosíntesis. En doseles con hojas verticales, como en muchas gramíneas, el valor de K frecuentemente es bajo (0.4 a 0.5) y la luz penetra con facilidad hasta los niveles inferiores. Por el contrario, doseles con hojas horizontales como en los cultivos de papa, soya, girasol, etc., presentan coeficientes de extinción elevados. Mock y Pearce (1975) señalaron que aún las hojas de las especies más eficientes alcanzan el 80% de su fotosíntesis máxima con menos del 50% de la intensidad plena de luz y que la fotosíntesis máxima del dosel se logra cuando el mayor número de hojas del mismo interceptan luz a una irradiancia media; es decir, cuando la distribución de la luz sea más uniforme en el dosel.

Los principales factores que afectan la producción o rendimiento de materia seca total por unidad de superficie son la radiación solar absorbida y la eficiencia en el uso de tal energía para la fijación del CO₂. La asimilación de CO₂ se ha estudiado mucho a nivel bioquímico y subcelular, incluso a nivel de hoja, pero hay poca información en lo referente a doseles de plantas realizando su actividad como población o comunidad. El problema es complejo debido a que los factores ambientales (macro y microambiente) constantemente están cambiando y varían de un estrato a otro del dosel, aunado a que las plantas y sus órganos, según se ubiquen en tal dosel, responde de forma distinta (Gardner *et al.*, 1985).

Para determinar una densidad óptima deben considerarse algunos aspectos relacionados con las plantas o con el ambiente que las rodea, como son el tamaño de las plantas y su manejo. Los principales factores implicados son: radiación, humedad y fertilidad del suelo (Gardner *et al.*, 1985).

Normalmente, en investigaciones acerca de la intercepción de la radiación solar se parte del supuesto que las plantas están uniformemente distribuidas en el suelo y que sus hojas están homogéneamente distribuidas en el dosel. Sin embargo, cuando se manejan cultivos agrícolas muy rara vez se presenta este caso. Las semillas o plántulas generalmente se siembran en hileras. Entre mayor es el espacio dejado entre hileras se tiende a una menor distancia entre plantas en una misma hilera para mantener la misma densidad por unidad de superficie. El objetivo para conseguir alto rendimiento por unidad de superficie es interceptar tanta radiación solar como sea posible y la distribución equidistante de plantas es la que proporciona la más temprana y máxima intercepción de luz. Conforme las hileras se separan más y el espacio de plantas en la misma hilera se vuelve menor (para mantener la misma densidad), la competencia interplantas ocurre más temprano. La altura de planta afecta la densidad óptima. La densidad debe de aumentar y la distancia entre hilera disminuir en plantas de poca altura para la intercepción óptima de la radiación fotosintéticamente activa y alcanzar así el potencial de rendimiento del cultivo (Gardner *et al.*, 1985).

Para el cultivo del jitomate en invernadero la estructura del dosel está basada en una, dos o cuatro hileras, separadas por pasillos que proporcionan el acceso para la cosecha del fruto y otras labores. Esta estructura del dosel tiene dos características que contrastan

con el dosel horizontalmente uniforme de extensión infinita que frecuentemente se asume para estudio de la intercepción del FFF y fotosíntesis de los cultivos (Warren Wilson *et al.*, 1992). Primero, este es finito en extensión horizontal y en la orilla del invernadero hay un lado del dosel vertical elevado, el cual recibe un FFF adicional por ese lado. En segundo lugar, el dosel es limitado a hileras discontinuas (Warren Wilson *et al.*, 1992) donde las hojas están a diferente profundidad en el dosel, y pueden recibir distinta acumulación de FFF (Longuenesse *et al.*, 1993).

Otra forma de analizar el efecto de la intercepción del FFF por el follaje de cultivos que son cerrados y tienen sus hojas aleatoriamente distribuidas en forma horizontal, es mediante ecuaciones simples. La radiación se atenúa exponencialmente dentro de un dosel y es dada por: $I/I_o = e^{-kL}$

Donde I y I_o son el total del FFF en los puntos inferior y superior del dosel, respectivamente, k es el coeficiente de extinción del FFF y L es el índice de área foliar acumulada (área foliar/ área cultivada) de la superficie del follaje. Si $k=1$ y el $L=1$, todas las hojas aleatoriamente distribuidas en el plano horizontal interceptarán el 63% del total de FFF incidente. Tomando el logaritmo natural de ambos lados de la ecuación anterior: $\ln(I) = \ln(I_o) - kL$; cuando $\ln(I)$ fue graficado contra L , la inclinación de la línea recta, k , es una función de la orientación de las hojas que forman el dosel (Acock, 1991). Las plantas tales como los pastos, que tienen hojas erectas rígidas, tienen un bajo valor de k , mismo que es mayor en plantas como el algodón que tienen hojas anchas horizontales, indicando que la penetración del FFF es mayor en el follaje de un pasto que en el follaje del algodón. Acock *et al.* (1978) encontró un valor k de 0.63 para el

estrato de hojas superiores en el dosel de jitomate, valor que decrece a 0.52 en el interior del dosel, lo cual indica que el área foliar fue menos eficiente en la intercepción del FFF cerca de la base del dosel

En uno de los primeros reportes para jitomate en invernadero donde se midió la intercepción del FFF, Warren Wilson *et al.* (1992) observaron que el FFF incidente en la parte alta del dosel fue de 76.5%, mientras que aproximadamente el 20% se perdía a través de los espacios entre las hileras. La radiación transmitida a través de lo más profundo del dosel fue reflejada por plástico blanco en el suelo, así que la superficie inferior del dosel recibió aproximadamente 13% de la radiación incidente en la parte superior. Warren Wilson *et al.* (1992) señalaron que la pérdida considerable del FFF a través de las hileras puede reducirse cerrando los pasillos, aunque puede dificultarse el manejo de las plantas con tales espaciamientos.

Papadopoulos y Ormrod (1988a) realizaron una serie de mediciones sobre la penetración del FFF como una función de la altura en el dosel de un cultivo de jitomate para diferentes espaciamientos entre hileras (23, 30, 38, 45, 53, y 60 cm) y posiciones horizontales dentro de las hileras, usando dos cultivares. Se realizaron ocho muestreos a intervalos de 0.25 m iniciando desde el nivel del suelo hasta que el cultivo alcanzó una altura de 1.75 m. Se definieron siete planos verticales y el dosel de una planta testigo para muestreo. Se hicieron mediciones en cielo despejado y nublado usando sensores de RFA. Los resultados mostraron que bajó el FFF en un 5% como efecto del espaciamiento entre plantas y el cultivar. Los resultados indicaron que la proporción del FFF disponible interceptado se incrementó con espacios cerrados, la penetración del FFF

aumenta y se mejora su distribución vertical con el incremento del espaciamiento entre plantas. En la primavera, 159-162 días después de la siembra, 95% del FFF disponible sobre el dosel fue interceptado por las plantas, indistintamente de su espaciamiento.

Papadopoulos y Ormrod (1988a) mencionan que el efecto del espaciamiento entre plantas se manifestó menos en la primavera que en el otoño, pero esto fue atribuido a los diferentes estados de desarrollo de los cultivos (el cultivo de otoño fue de 64-68 días al momento de la medición). Aunque los coeficientes de extinción de los cultivos que persistieron no fueron reportados, las observaciones mencionadas dan soporte a lo señalado en el sentido de que el espaciamiento entre plantas y su estado de desarrollo tienen efecto en el coeficiente de extinción en el jitomate. Los autores concluyen que dando suficiente tiempo para el desarrollo del área foliar, el cultivo interceptará todo el FFF disponible independientemente del espaciamiento inicial y que el espaciamiento denso seguramente tendrá alta interceptación de FFF en cada fase de la estación de cultivo. (Iwaki 1958).

Al examinar la colocación de las hojas y su grado de dispersión dentro de las capas del dosel, se ha concluido que entre más uniforme es la dispersión mayor es el crecimiento del cultivo, porque menos FFF penetra al suelo y el traslape de las hojas es mínimo. Watson y Witts (1959) compararon la remolacha silvestre con la remolacha azucarera y señalan que cuando el IAF fue cercano a uno, observaron que la tasa de asimilación neta de ambas remolachas es similar ocurriendo lo mismo con la eficiencia fotosintética. Sin embargo, cuando el IAF fue mayor, la TAN de la remolacha cultivada era más alta que el de la del tipo silvestre. Esta diferencia en la TAN fue atribuida al hábito más rastrero

de la remolacha silvestre, con hojas menos inclinadas y con mayor traslape de éstas que las de la remolacha azucarera. Así, en la remolacha silvestre una proporción menor del área foliar total era expuesta a FFF altos.

La gran importancia que tiene el estudio acerca de la sobreiluminación de las hojas de la parte superior del dosel, y su influencia en la fotosíntesis neta en jitomate cultivado en invernadero, coincide con lo que se ha reportado para otros cultivos como trigo (Dhillon y Kler, 1981), soya (Miyaji, 1984), pasto orchard (Pearce *et al.*, 1965) y haba (Crompton *et al.*, 1984). Las proporciones altas de luz saturan la fotosíntesis (con base en área foliar), lo que es típico de hojas soleadas (Ludlow y Ng, 1976; Boardman, 1977; Louwerse y Zweerde, 1977; Kappel y Flore, 1983) porque éstas reciben la mayoría de la luz y están adaptadas anatómica, fisiológica y bioquímicamente para hacer un uso mejor de la misma. Sin embargo, la contribución de las hojas más bajas en el dosel no debe subestimarse. Aunque éstas se exponen a bajos niveles de radiación, también son anatómica, fisiológica y bioquímicamente adaptadas para hacer uso eficaz de los niveles bajos de radiación, evidenciado por los puntos bajos de compensación de luz y el aparentemente elevado rendimiento cuántico típico de las hojas sombreadas (Boardman, 1977; Fails *et al.*, 1982). Aunque hay que señalar que Papadopoulos y Ormrod (1988b) encontraron puntos de compensación de luz ($50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FFF) similares para las hojas sombreadas y expuestas (al sol) de un dosel del jitomate.

Una hipótesis que proviene del estudio de Papadopoulos y Ormrod (1988a) es que la intercepción del FFF se relaciona más estrechamente al IAF del dosel de densidades de

plantación uniformes. Esta dependencia de la intercepción del FFF por el dosel de una hortaliza de fruto en invernadero ha sido reportada por Nederhoff (1984) para el pepino. En un invernadero de 2 m de altura se establecieron hileras de pepinos a dos densidades (1.42 y 2.14) de plantas por m². Observó que 80% de las hojas estaban en sombra a sólo 0.25 m de profundidad debajo de la cima del dosel. Del total del FFF incidente en el invernadero, 30% se perdió debido a la estructura del mismo. Encontró que cuando las plantas fueron eliminadas jóvenes (30 días después de la plantación) y cuando los IAF fueron de 2.6 y 3.1 a baja y alta densidad, respectivamente, la plantación con más alto IAF mostró una elevada intercepción de FFF. Sin embargo, después (48 días después de la plantación) cuando los IAF de ambas densidades fueron aproximadamente iguales (3.3 y 3.4), ahí no hubo diferencias en la intercepción de FFF entre los dos espaciamientos. Este autor concluye que la intercepción de FFF fue muy dependiente de la densidad de población. Esto, al igual que muchos otros trabajos sobre intercepción de FFF y mediciones del IAF a distintas densidades de población, han fortalecido la hipótesis de que en un invernadero la intercepción del FFF en las hileras de un cultivo de jitomate está ligado íntimamente al IAF.

Harper *et al.* (1979) realizaron estudios para evaluar la intercepción del FFF en jitomate cultivado en hileras en invernadero. Reportaron que un incremento de un tercio en la densidad de población duplica la intercepción de la radiación. Específicamente en un cultivo de otoño en el sureste de los Estados Unidos de América, establecido a una densidad normal (2.5 plantas m⁻²), 15-25% de la radiación solar disponible dentro del dosel fue transmitido a la superficie de la cama de cultivo. Aproximadamente 30-70% del total de la radiación total disponible fue transmitida al piso del invernadero, en

promedio entre el dosel y las áreas de pasillo. Así, solo 30-40% de la radiación solar disponible fue interceptada por las plantas. Sin embargo, cuando la densidad de plantación en dos subsecuentes cultivos (primavera) se incrementó a 3.3 plantas m^{-2} , 60-70% de la radiación solar disponible fue interceptada por las plantas.

Estudios donde se examine el efecto del espaciamiento sobre la intercepción de la radiación directa y difusa en cultivos hortícolas en invernadero son escasos. Para un dosel de pepino de invernadero, Warren Wilson *et al.* (1992) indicaron que la intercepción fue más variable espacialmente en condiciones despejadas que en condiciones nubladas. Bajo cielo despejado, la sombra de las hileras N-S tendieron a desviarse hacia el oeste o el este con el azimut solar antes o después del mediodía, respectivamente. Para un dosel de pepino, Hand *et al.* (1993) reportaron que bajo nublado, conforme la distancia desde el centro de la hilera se incrementa, la transmisión aumenta de 3% en la hilera del centro a 16% en el centro del pasillo. Bajo cielo despejado, alrededor del medio día, cuando el sol se encontraba alineado con las hileras, los valores fueron de 2% y 49%, respectivamente; cuando el sol no estuvo alineado con las hileras, aproximadamente 2 h después, la transmisión se redujo a 5% (pasillo) y 1% (fila).

Charles-Edwards y Thorpe (1976) encontraron un incremento en la cantidad promedio de radiación absorbida por unidad de área cultivada, en un huerto de manzana a espaciamiento cerrado, pero un descenso en la cantidad absorbida por unidad de superficie a lo largo de la hilera. A medida que se aumentó la distancia entre hileras, la radiación absorbida por unidad de superficie en el espacio de hileras se incrementó,

mientras que la cantidad promedio absorbida por unidad de área cultivada del huerto decreció. También determinaron que la orientación de las hileras no afectó la proporción de la radiación difusa absorbida, pero ésta sí es notablemente afectada por la variación diaria de la radiación directa absorbida. Estimaron que en una orientación E-W de las hileras, las plantas absorbieron aproximadamente 13% menos radiación directa que en una orientación N-S.

En un estudio de Hand *et al.* (1993), aproximadamente a medio día, en el momento de la radiación solar más intensa, hubo un 80% de disminución en la intercepción del FFF en hileras orientadas N-S. En hileras orientadas E-W se presentó una reducción de la intercepción temprano y tarde durante el día cuando el FFF fue bajo y la importancia de la radiación directa fue baja comparada con la luz difusa.

3.6.2. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel

El rendimiento se puede incrementar, al aumentar la eficiencia fotosintética y/o la fotosíntesis del dosel, esta última como consecuencia de incrementos en el índice de área foliar, también por la duración de la fotosíntesis o mediante una distribución más homogénea de la luz en el dosel para mantener activas fotosintéticamente tanto las hojas superiores como las inferiores (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

La eficiencia en el uso de la radiación (EUR; gramos de biomasa acumulada, dividida entre el total de la radiación total interceptada) se ha probado como una variable de utilidad para cuantificar la acumulación de biomasa por los cultivos. Resultados

experimentales y análisis teóricos indican que existen diferencias en la EUR entre especies. El punto de partida para hacer una conclusión general al respecto, parte del hecho de que se han reportado valores altos de la EUR para condiciones en las cuales normalmente es alta la proporción de radiación difusa respecto a la total (como en plantas desarrolladas bajo invernadero). Distintos resultados indican que las plantas desarrolladas en invernadero o en otros espacios con proporciones elevadas de radiación difusa, son probablemente las que tienen mayor eficiencia en el uso de la radiación que las observadas a baja radiación, sobre todo directa (Sinclair *et al.*, 1992, Arkebauer *et al.*, 1994).

Según Charles-Edwards *et al.* (1986), la eficiencia con que una planta usa la energía radiante interceptada en la producción de materia seca (ϵ) puede medirse como la pendiente de regresión resultante de considerar a la cantidad de energía radiante interceptada en un intervalo de tiempo (J), como variable independiente, y a la producción bruta de materia seca obtenida en ese intervalo, como variable dependiente. La unidad de medición puede ser, por ejemplo, microgramos de materia seca por joule de energía radiante interceptada ($\mu\text{g J}^{-1}$). Si se considera todo el ciclo biológico del cultivo, la tasa neta de crecimiento se puede equiparar con el rendimiento biológico (B); es decir, con la biomasa acumulada a lo largo del ciclo de vida de las plantas consideradas. Entonces: $B = \epsilon J - T_p$; donde T_p = tasa de pérdidas (respiración, caída de hojas, fotorespiración, etc.).

La máxima eficiencia teórica con que una hoja puede usar la energía radiante en la asimilación de CO_2 es de $12 \mu\text{g} (\text{CO}_2) \text{J}^{-1}$ (llamada eficiencia fotoquímica o rendimiento cuántico de la hoja); sin embargo, como una mol de CO_2 (44g) produce una mol de $(\text{CH}_2\text{O})_n$ (30g), el rendimiento cuántico se reduce aproximadamente a $8 \mu\text{g}$ de materia seca por joule. Estas son estimaciones que en realidad no se dan, pero proporcionan un límite a la eficiencia con que una planta puede convertir la energía interceptada en nueva materia seca (Nobel y Long, 1988; Salisbury y Ross, 1994; Sánchez, 1997).

De que tan eficientemente usa el cultivo la radiación solar y que tanto tiempo puede mantenerse esta eficiencia depende el rendimiento final de materia seca del cultivo. Para correlacionar el rendimiento de materia seca con el IAF, Watson (1958) integró el IAF con el tiempo, denominándole duración del área foliar, término que toma en cuenta tanto la duración como la cantidad de tejido fotosintético del dosel. Las unidades de duración de área foliar, expresadas como tiempo son el promedio de IAF multiplicado por el tiempo de principio a fin del área foliar. Generalmente la duración del área foliar está estrechamente correlacionada con el rendimiento, porque la intercepción de la radiación solar por periodos de tiempo más prolongados implica mayor producción total de materia seca.

La intercepción eficiente de energía radiante por la superficie del cultivo necesita del desarrollo de un área foliar adecuada, uniformemente distribuida para lograr una cobertura completa del suelo. Esto se puede conseguir manipulando la densidad y distribución de plantas, así como combinando técnicas como los despuntes, las podas, el

tutoraje y las imbricaciones, cuando las especies de cultivo se prestan para ello. En realidad, son las mediciones de IAF y TCC de las comunidades de cultivos, las que más revelan la forma en que éstos logran rendimientos elevados; aunque estas variables son difíciles de medir y por razones prácticas se manejan indicadores como la densidad de plantas y el rendimiento final. Con base en esto, al referirse a densidad de plantas, se debe tener claro que el objetivo con el manejo de la densidad de plantas (o de las otras prácticas) es lograr y mantener un IAF óptimo lo más pronto posible en el ciclo para lograr un máximo rendimiento (Harper *et al.*, 1979; Papadopoulos y Ormrod, 1990).

La eficiencia en la intercepción del FFF (incidente-transmitido-reflejado) depende del genotipo de la planta y de factores ambientales. Para las especies cultivadas, el IAF óptimo con distribución uniforme de las plantas es influida por muchos factores en su intercepción del FFF (Camphell y Norman, 1989) y ésta se ha logrado optimizar cambiando la densidad del cultivo. Manipular la densidad de plantas (o espaciamiento) para optimizar la intercepción del FFF es, por lo tanto, una posible estrategia para incrementar el rendimiento de jitomate y ha sido reportado en soya (Shibles y Weber, 1965), cereales (Gallagher y Biscoe, 1978) y cultivos hortícolas (Jackson, 1980; Nogueira, 2000).

Cockshull *et al.* (1992) desarrollaron plantas de jitomate sin sombra, sombreadas ligeramente (6.4% de reducción de la radiación solar incidente en plantas) y muy sombreadas (23.4% de reducción), y reportaron que los dos tratamientos con sombra redujeron el rendimiento de peso fresco total de fruta en 7. 5% y 19. 9% y la biomasa total estimada fue de 6. 2% y 16. 5%, respectivamente. Durante las primeras 14 semanas

de cosecha (febrero a mayo), el rendimiento era acumulado en proporción directa a la cantidad de FFF interceptada y, sin tener en cuenta el tratamiento, se cosecharon 2.01 kg de peso fresco de fruto por cada 100 MJ (aproximadamente $248 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FFF) en el cultivo, desde el inicio de cosecha. Después, la radiación solar neta incidente fue utilizada al parecer más eficazmente, sobre todo bajo mayor sombreado. Además, de febrero a mayo, el rendimiento producido en períodos sucesivos de cada dos semanas era proporcional a la radiación solar incidente en el cultivo durante las 10 semanas preceden, la duración promedio de desarrollo del fruto. El aborto de la flor aumentó por mayor sombreado, pero no podría relacionarse con radiación solar recibida durante cualquier periodo en particular.

El efecto de la orientación de las hileras de jitomate sobre la interceptación de la FFF varía con la hora del día, estación, latitud y geometría del dosel (Jackson, 1980). Por ejemplo, Jackson y Palmer (1972) mostraron que a 34° de latitud, los sistemas compactos, en forma de setos, de hileras orientadas N-S, interceptaron más radiación en la estación de crecimiento que los orientados E-O, pero a los 51.3° latitud el hallazgo se invierte cuando se trata de sistemas de plantas con mayor altura. Concluyeron que, aunque la eficiencia relativa de un sistema compacto orientado N-S al interceptar el FFF cambia poco a través de la estación, las hileras en forma de seto orientadas E-O son ineficientes en pleno verano debido al ángulo del sol alto (especialmente a las latitudes más bajas), pero intercepta más la luz directa que los hileras en forma de seto orientados N-S en agosto, septiembre y octubre (especialmente a altas latitudes). Ferguson (1960) también

encontró que las hileras en forma de seto orientadas E-O interceptan más FFF, a altas latitudes en septiembre, que los setos en hileras orientadas N-S.

La estrecha relación existente entre la acumulación de la intercepción del FFF y el IAF del follaje ha sido perfectamente establecida para los cultivos. Por ejemplo, Williams *et al.* (1965), quienes al cultivar maíz a densidades de población en un rango de 0.7 a 70 plantas m^{-2} , obtuvieron un record de producción de biomasa ($52 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en la densidad de población alta.

Shibles y Weber (1966) descubrieron que las altas densidades dan como resultado un incremento del IAF y una reducción en el número de días de la emergencia a 95% de la intercepción de la radiación solar. Los espaciamientos extensos dan como resultado menos intercepción en todos los estados de su anterior desarrollo para una intercepción máxima, la cual tuvo también un retraso considerable. El índice de área foliar requerido para lograr el 95% de la FFF interceptada es llamado el IAF crítico.

Brougham (1960) comparó el comportamiento de diversos cultivos establecidos en el mismo lugar y descubrió una correlación significativa entre la velocidad de producción de biomasa y el IAF crítico. Encontró que las plantas que cuentan con más hojas para la intercepción del FFF aceleran su crecimiento, indicando que un follaje más eficiente permite más penetración de la FFF debajo de las hojas de la parte superior y que compartir el FFF disponible entre muchas hojas es un prerequisite de una alta productividad total. Esto no es sorprendente, porque a niveles normales de CO_2 las hojas individuales de la mayoría de las plantas C_3 alcanzan una velocidad de asimilación

máxima a aproximadamente un cuarto del total de la radiación solar disponible durante el verano en una zona templada (Blackman, 1961); y algunas de esas hojas absorben efectivamente 80- 90% del FFF incidente sobre ellas.

Para los pimientos de invernadero, Verheij y Verwer (1971) encontraron que la intercepción del FFF aumentaba rápidamente con el tiempo y que a densidades mayores más rápido se alcanzaba la máxima intercepción del FFF. Con una densidad de 17.6 plantas m^{-2} el cultivo alcanzó la máxima intercepción del FFF a 6 semanas después del trasplante, mientras que a las densidades de 8.8 y 4.4 plantas m^{-2} tomó 8 y 12 semanas, respectivamente, para acercarse a la máxima intercepción del FFF; a densidad de 2.2 plantas m^{-2} , después de 14 semanas del transplante, aún no se lograba la intercepción máxima del FFF. La penetración más profunda del FFF en los doseles de mayor espaciamiento estuvo ligada a la distribución más uniforme en los doseles cerrados, como lo observado por Papadopoulos y Ormrod (1988a), lo cual es de importancia considerable, tal y como varias investigaciones lo han establecido, pues hay una correlación positiva entre la uniformidad de la distribución del FFF (y su grado de penetración) en el dosel y la eficiencia de conversión del FFF a fotosintatos.

Loomis y Williams (1969) mostraron que la fotosíntesis máxima del dosel se presenta cuando la inclinación de las hojas, con respecto al cenit, cambia gradualmente de 0° en la capa superior a 90° en la capa más baja el dosel. Basados en la naturaleza curvilínea de la curva de respuesta de la tasa de fotosíntesis ante el FFF, predijeron un alto (y por lo tanto más eficiente) uso del mismo cuando proporcionalmente más hojas son iluminadas a niveles moderados de FFF que en un dosel donde la mitad de las hojas

están muy iluminadas y la otra mitad muy sombreada. Se hicieron predicciones similares antes por Verhagen *et al.* (1963), quienes observaron que el “follaje ideal” consiste en capas con cambios continuos de inclinación, de modo que el FFF disponible se distribuya uniformemente sobre el área foliar disponible. Con respecto a la arquitectura y productividad del dosel, Loomis *et al.* (1967) llegaron a las siguientes dos conclusiones:

1. En un ambiente de baja insolación, o con baja elevación del sol, se obtendrá eficiencia alta con ángulos de la hoja bajos (cerca del horizontal) y con bajo IAF;
2. Con alta insolación y elevación solar alta, se lograrán mayores eficiencias con alto IAF y el ángulo de la hoja más alto, particularmente en los estratos superiores del dosel.

Algunos autores han encontrado que el rendimiento de grano es más alto con hojas erectas en densidades de población elevadas, pero que las hojas más horizontales tienen una ventaja a densidad baja. Tanner *et al.* (1966) encontraron también que existe una correlación alta entre las hojas pequeñas erectas y el rendimiento en 300 variedades de trigo, avena y cebada.

3.6.3. La materia seca traslocada al producto de interés agronómico

El ambiente en el que crece la planta y el estado de desarrollo en el que ésta se encuentra, afectan las proporciones en que la nueva materia seca es distribuida entre sus distintos órganos (Salisbury y Ross, 1994). Sonnewald y Willmitzer (1992) señalan que

los órganos de las plantas se dividen en: a) órganos fuente, definidos como exportadores netos de fotoasimilados (hojas maduras, tubérculos y otras estructuras de reserva en el momento en que exportan sus azúcares almacenados), y b) órganos de demanda, definidos como importadores netos de carbono fijado (yemas terminales o apicales en crecimiento, meristemas en raíces, hojas que inician su crecimiento, flores y frutos en proceso de crecimiento, semillas, entre otros); estos órganos son incapaces de fotosintetizar, o su producción de fotosintatos es insuficiente para cubrir sus necesidades. Los órganos de demanda pueden ser de utilización inmediata o de almacenamiento.

Según Lawlor (1993), la fotosíntesis y el rendimiento agronómico están indirectamente relacionados. La materia seca se distribuye entre los órganos de interés económico y órganos que no son consumidos. La distribución depende del número de sitios potenciales de almacenamiento, de su capacidad para asimilar y del abastecimiento de asimilados. El rendimiento agronómico está limitado, bajo ciertas condiciones, por la capacidad de almacenamiento de asimilados (capacidad o fuerza de la demanda), mientras que en otras circunstancias la limitación proviene de la tasa de producción de asimilados (capacidad de la fuente).

Shishido *et al.* (1989) mencionan que, para el caso del jitomate, las tasas de fotosíntesis de la tercera y séptima hojas disminuyen gradualmente con la edad, pero la cantidad de fotosintatos producidos se incrementa con el aumento de su área, alcanzando un máximo un poco antes de la expansión completa de cada hoja. La mayoría de los asimilados son traslocados a la demanda más cercana. La relación entre la fuente y la demanda cambia

con los diferentes estados de desarrollo de las raíces, tallos y frutos. Se calcula que del 60 al 80% de los requerimientos de una inflorescencia son abastecidos por 2 a 4 de las hojas adyacentes a ella. La máxima contribución de una hoja a la acumulación de asimilados por una demanda fue de 30%. La competencia entre órganos demandantes de asimilados puede ser facilitada por la ruta de transporte común entre algunos órganos demandantes y sus hojas fuente. Existen cuatro conductos vasculares verticales en el tallo que conecta con las hojas adyacentes (Shishido *et al.*, 1989).

Tanto la iniciación de la inflorescencia como el desarrollo de las flores requieren un cierto nivel de suministro de asimilados. La iniciación de la primera inflorescencia en jitomate es retardada por bajo FFF, debido a que más hojas son iniciadas antes de la primera inflorescencia (Picken *et al.*, 1885). Los efectos de baja radiación sobre el desarrollo floral son muy parecidos a la carencia en el suministro de asimilados (Ho, 1996). Bajo temperaturas óptimas, pero insuficiente luz, el desarrollo floral puede sufrir aborto (Picken, 1984). La competencia por los asimilados entre los órganos vegetativos y reproductivos cambia con el desarrollo de la inflorescencia. El ápice parece ser una demanda más fuerte que la inflorescencia en iniciación y cuando el suministro de asimilados es inadecuado; por ejemplo, por bajo FFF la inflorescencia sólo obtiene asimilados después de que las necesidades del ápice han sido satisfechas. En estas condiciones la inflorescencia puede abortar, mientras que las hojas jóvenes pueden continuar su crecimiento (Kinet, 1977).

El patrón de crecimiento de una planta de jitomate sugiere que existe una prioridad definida en la distribución de asimilados hacia los órganos en crecimiento. Varios

órganos demandantes tienen diferentes habilidades para atraer asimilados (por ejemplo fuerza de succión) y así la prioridad de un órgano en recibir asimilados es el resultado de la competencia entre órganos de demanda (por ejemplo competencia de succión). Un bajo FFF o una elevada densidad de población en plantas de jitomate de crecimiento determinado, una vez que se inicia la fructificación, propicia aborto de flores y disminuye el crecimiento de brotes y raíces (Hewitt y Marrush, 1986). En una planta de crecimiento indeterminado, el peso fresco ganado por fruto es cercano al 80% del peso ganado por la planta; como el fruto acumula más agua que otros órganos, la diferencia en materia seca ganada entre órganos es menor. Sin embargo, la tasa de acumulación diaria de materia seca en los frutos por planta (2.05 g), es considerablemente más alta que la de las hojas (1.52 g) y el tallo (0.8 g). Aunque, cuando el suministro de asimilados es limitado el fruto toma la mayoría de los asimilados disponibles y se retrasa el subsiguiente desarrollo de las inflorescencias, nuevos brotes y raíces, causando senescencia temprana de hojas o muerte de raíz (Hurd *et al.*, 1979). El orden de prioridad en los cambios de distribución de asimilados es raíces > hojas jóvenes > flores en plantas floreciendo hacia fruto > hojas jóvenes > flores y raíces en plantas fructificando (Ho, 1996).

La ubicación de las hojas de jitomate abajo de la primera inflorescencia puede describirse como una filotaxia de 2/5 en el tallo (Ho y Hewitt, 1986). La primera inflorescencia es alimentada de fotoasimilados por las hojas 1,3,6 y 8 con una diferencia de menos de 90° respecto a la inflorescencia, mientras que el ápice es abastecido por las hojas 1-4 y las raíces por las hojas 5-9 (Rusell y Morris, 1983). Las hojas 1,3,6 y 8

además suministran al ápice y las raíces, y todas estas hojas están conectadas del mismo filamento vascular, por lo que existe competencia directa entre estos órganos demandantes para la misma fuente de asimilados. Comúnmente los racimos de frutos puede abastecerse de asimilados principalmente de las dos hojas que se encuentran inmediatamente arriba de tales racimos (Sishido *et al.*, 1989).

Una expresión de la proporción de materia seca total que finalmente es traslocada al producto de interés agronómico es el llamado índice de cosecha (IC) por planta, el cual se define como el cociente entre el rendimiento económico (Re) y la biomasa (B) total producida o rendimiento biológico. El rendimiento económico (Re) por unidad de superficie es el producto del IC (promedio por planta) y la B acumulada, por lo que el Re anual por unidad de superficie depende directamente del IC promedio de las plantas en el año y de la B producida durante el mismo lapso (Beadle, 1988). De aquí, se puede concluir que las estrategias agronómicas para incrementar el rendimiento de un cultivo pueden consistir en aumentar la B por unidad de superficie por año, manteniendo el IC constante; o bien, si éste disminuye en menor proporción que el aumento en B, se logrará un mayor rendimiento por unidad de área por año (Sánchez, 1997).

3.6.4. Tasa de pérdida de materia seca

La materia seca formada por las plantas puede perderse por causas fisiológicas como la respiración, la fototranspiración o exudados de la raíz, y por causas no fisiológicas como daño mecánico, sombra, sequía, salinidad, altas o bajas temperaturas, plagas o enfermedades (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

Las pérdidas de materia seca por respiración son necesarias para el metabolismo de las plantas y generalmente no se consideran como negativas para el rendimiento, al menos que este proceso ocurra con tasas más altas en relación a la materia seca producida por la fotosíntesis. Tanto la producción de biomasa como el rendimiento agronómico de un cultivo, dependerán de la intensidad y duración con que actúen los agentes causales de la pérdida de materia seca (Salisbury y Ross, 1994).

3.6.5. Duración del crecimiento

La duración del crecimiento es el intervalo existente entre la emergencia y el término de la cosecha de un cultivo. A medida que sea mayor este intervalo, más energía luminosa podrá interceptar y si los otros determinantes del rendimiento se mantienen constantes, más materia seca podrá acumular y, por consiguiente, su rendimiento agronómico será mayor. La duración del período vegetativo deberá ser lo suficientemente larga para que el cultivo desarrolle un dosel lo suficientemente grande para proveer de suficientes fotoasimilados a las demandas reproductivas que se desarrollarán posteriormente. Entre más dure el periodo desde la iniciación de la inflorescencia hasta la antesis, potencialmente se podrán iniciar y establecer más flores, y entre más dure el periodo de antesis a madurez de los frutos o semillas es de esperar que sea mayor su peso y tamaño, dado que hay translocación de asimilados por un mayor periodo de tiempo, y el rendimiento agronómico será mayor. Se debe tomar en cuenta además, que también influye sobre el rendimiento las tasas de fotosíntesis y de crecimiento de fruto o de grano (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

3.7. Efecto del espaciamiento entre plantas sobre la fotosíntesis

La influencia de la radiación solar sobre el desarrollo y rendimiento del jitomate puede atribuirse a sus efectos sobre la asimilación fotosintética del CO₂, un proceso clave para la producción de biomasa. Varios estudios (Peat, 1970; Acock *et al.*, 1978; Papadopoulos, 1985; Jones *et al.*, 1988; Longuenesse *et al.*; 1993) en jitomate revelan que la tasa neta de fotosíntesis de las hojas (la mayor parte de la fotosíntesis sin la tasa de respiración no asociada con el proceso fotosintético) se incrementa de una forma lineal, en proporción al incremento en el FFF por arriba de cierto nivel, dependiendo del historial de la hoja en cuanto al nivel de luz acumulado (Acock *et al.*, 1978). Esto es limitado por la tasa de producción de trifosfato de adenosina (ATP) y Nicotina-amin dinucleótido fosfato reducido (NADPH) en la reacción luminosa para la regeneración de Ribulosa Bifosfato (Gijzen, 1995).

El efecto del FFF sobre la tasa de fotosíntesis neta disminuye incrementando el FFF hasta que alcanza la saturación cuando la actividad de la Rubisco se convierte en el factor limitante. Cockshull (1988) reporta que en jitomate bajo invernadero la tasa neta de fotosíntesis se acerca a un valor máximo en radiaciones por arriba de los 100-150 W m⁻² (aproximadamente 189.5-284 μmol m⁻² seg⁻¹).

Según Papadopoulos y Ormrod (1988b), la tasa máxima de fotosíntesis neta de las hojas interiores del dosel, se obtiene a 170 W m⁻² (aproximadamente 322 μmol m⁻² seg⁻¹), mientras que, para las hojas de fuera, la saturación de la radiación es de 210 W m⁻².

(aproximadamente $398 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) . En las regiones del sur de Ontario (42°N), la radiación solar media (rango del espectro 305-2800nm) a medio día puede variar desde 730W m^{-2} (aproximadamente $1382 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) en junio, hasta 220W m^{-2} (aproximadamente $417 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) en diciembre, mientras que la radiación solar media dentro de los invernaderos a medio día en junio puede llegar a aproximadamente a 400W m^{-2} (aproximadamente $756 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$). La distorsión y el descenso de los máximos diurnos de radiación solar dentro del invernadero, son probablemente el resultado del sombreado por el obstáculo del cristal sobre el piranómetro. Basado en la medición de la radiación solar dentro y fuera de los invernaderos, en jitomate cultivado en el sur de Ontario, Canadá, parecería que el sistema fotosintético de las hojas superiores se saturaría por luz una parte del día durante una época del año. No obstante el jitomate en invernadero produce un dosel cada vez mayor, y la luz que se pierde en las hojas superiores o pasa a través de ellas puede ser absorbida por las hojas de abajo del dosel.

De ese modo, podría esperarse que la tasa de fotosíntesis neta del dosel en jitomate aumente con el incremento del FFF, sobre el rango completo de FFF encontrado en invernaderos (Cockshull, 1988). Por ejemplo, en jitomate, pepino y pimiento cultivado en invernadero, Nederhoff (1994) encontró que no había saturación de la fotosíntesis del dosel cuando el FFF se incrementó por arriba de $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Gijzen (1995) reportó que para doseles cerrados, la fotosíntesis no se alcanza a saturar por arriba de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Hand *et al.* (1993) observaron que la tasa fotosintética de un dosel de berenjena se aproxima a la saturación a $900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de FFF. En uno de los primeros

estudios se midió directamente la tasa fotosintética neta del dosel. Harper *et al.* (1979) sugirieron que la saturación por luz del jitomate en invernadero (considerando todo el dosel) no es probable y cualquier descenso en el FFF reducirá la fotosíntesis total. Observaron que en condiciones de poca luz en invierno en Georgia, Estados Unidos de America, que implica una pérdida del 50% de la luz solar disponible, podría ser suficiente para causar abscisión floral debido a la escasa fotosíntesis.

Heuvelink *et al.* (1996) midieron la tasa fotosintética neta en un dosel de plantas de jitomate (en un sistema semi-cerrado) en el verano en Wageningen (lat. 52°N) en dos compartimentos iluminados (un área de 4.8 m por 5.1 m) a 20°C, con concentraciones de CO₂ de 340, 500 y 900 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, sobre un rango de densidades de flujo de fotones fotosintéticos (FFF de 0-1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y para diferente índices de área foliar (IAF, 1.5-3 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$). Los compartimentos facilitaron combinaciones de alto FFF y alta concentración de CO₂ a temperaturas normales. Independientemente del FFF, la tasa fotosintética total del cultivo (TFTC) se incrementó en un 17% cuando la concentración de CO₂ se incrementó de 500 a 900 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Aún con una FFF incidente de 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la TFTC no se saturó completamente de luz. Independientemente de la concentración de CO₂ y del IAF, la fotosíntesis bruta del dosel se incrementó de 5 a 7% cuando la FFF se incrementó de 1200 a 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y a 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ la fotosíntesis bruta del dosel fue entre 8 y 13% más baja que su tasa máxima.

Acock *et al.* (1978) reportan que el estrato superior del dosel del jitomate (23% del total del área foliar) asimila un desproporcionado 66% del CO₂ neto fijado por el dosel. Una

reducción en el IAF de 8.6 a 5.2 después de eliminar las hojas inferiores, tuvo poco efecto sobre la tasa de fotosíntesis del dosel y la tasa de respiración. No obstante, la reducción del IAF a 2.0, con la remoción de las hojas del estrato medio, redujo la tasa de fotosíntesis del dosel cerca de un 30% y la tasa de la respiración oscura cerca de un 25%.

El efecto de la variación del espaciamiento entre plantas sobre la fotosíntesis neta, frecuentemente se ha estudiado en términos de las interrelaciones entre la exposición de la hoja y su con la tasa de fotosíntesis neta, así como en términos de la habilidad de las hojas para adaptarse fotosintéticamente a un nuevo ambiente de déficit de luz, como ocurre en el interior de un dosel denso. Rodríguez y Lambeth (1975) encontraron que el espaciamiento de jitomate en invernadero en un ciclo de primavera, fue la principal determinante de la tasa de fotosíntesis, siendo ésta mayor para el espaciamiento entre plantas a 51 cm x 41 cm. Sugirieron que el efecto del espaciamiento entre plantas podría ser visto en términos de exposición a la luz, en el sentido de que con amplios espaciamientos hay menor competencia por luz. También observaron incrementos significativos en la tasa de fotosíntesis aparente con la adición de 184 y 368 W m⁻² (aproximadamente 348 y 697 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de luz suplementaria. Determinaron que, en comparación con la luz natural, en el momento de iluminación máxima en un día nublado se duplicó la eficiencia fotosintética (número de moléculas de CO₂ fijadas divididas entre el número total de fotones cruzando la unidad de área foliar por unidad de tiempo) y fue mayor que el lado más iluminado, indicando la importancia de las hojas más expuestas en la parte superior del dosel.

Papadopoulos y Ormrod (1988b) investigaron el efecto de cuatro espaciamientos equidistantes (23, 30, 38 y 45 cm) sobre la fotosíntesis neta de plantas de jitomate establecidas en invernadero a cuatro hileras. Reportaron un efecto significativo sobre la fotosíntesis neta de hojas inferiores (área foliar basal), la cual disminuye a espaciamiento limitado. A 23 cm de espacio la fotosíntesis neta de la parte baja fue $56 \mu\text{g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, mientras que en la parte superior fue de $80 \mu\text{g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, a 45 cm de espaciamiento los valores correspondientes fueron de 80 y $75 \mu\text{g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. La fotosíntesis neta en las partes superiores de las plantas de el dosel fueron más altos que en las partes bajas.

El peso foliar específico (PFE) es considerado como el resultado de dividir la biomasa de las hojas entre su área foliar. Un aumento en el PFE es una respuesta típica de las hojas individuales a niveles altos de radiación (Louwerse y Zweerde, 1977; Kappel y Flore, 1983; Hancock *et al.*, 1984). La desigualdad entre el área y el peso de la hoja, basado en la tasa neta de fotosíntesis, se atribuyó al efecto de la radiación al aumentar el PFE. Monteith (1994) determinó que la TRC y la TAN disminuyen sistemáticamente durante el crecimiento de un cultivo, persistiendo una fuerte correlación entre ellos con los factores ambientales.

3.8. Efecto del espaciamiento entre plantas en el crecimiento del jitomate

En un estudio para determinar el efecto del espaciamiento entre plantas de jitomate en bloques de cuatro hileras de plantas, Papadopoulos and Ormrod (1988b) reportaron que

el peso foliar específico (1/ Área Foliar Específica) disminuyó a medida que el espaciamiento entre plantas iba haciéndose menor (59 vs. 29 g m⁻² a 45 vs. 23 cm de espacio entre plantas en las hileras internas), particularmente para las plantas de dentro del dosel. A 30 cm de espaciamiento el peso foliar específico de las plantas externas fue de 40 g m⁻², mientras que las hojas de las plantas interiores tuvieron 32 g·m⁻². Basados en lo ya mencionado, al parecer, con el aumento del FFF total diario puede aumentar la tasa relativa de crecimiento por el peso foliar específico de las hojas nuevas, que a su vez resulta en un incremento de la TAN. Fisher (1977) sugiere que la TAN en una planta de jitomate puede reducirse debido a poca carga de frutos y que el rendimiento puede ser limitado simultáneamente por la escasez de intensidad de la fuente y la demanda.

El efecto de la densidad de plantas sobre la calidad del espectro de radiación bajo el dosel fue examinado por Papadopoulos y Ormrod (1988a) en jitomate en invernadero plantado a cuatro hileras. La calidad de la radiación transmitida por el dosel fue afectada por la densidad de plantas y la relación de azul: rojo lejano, rojo: rojo lejano y azul: rojo disminuyeron a medida que aumentó la densidad de plantas de 2.5 a 11.3 plantas m⁻². Papadopoulos y Ormrod (1991) reportaron que la altura de la planta y longitud del entrenudo aumentan significativamente con sucesivas disminuciones en el espaciamiento entre plantas. Por ejemplo, a 23 cm de espaciamiento, la altura de planta en las hileras fue de 138.6 cm, mientras a 60 cm de espaciamiento fue de 93.8 cm; al mismo espaciamiento la longitud de los entrenudos de las plantas en las hileras fue de 7.9 y 5.2, respectivamente. Hubo una tendencia de las plantas a ser más altas en el interior que en el exterior al estar plantadas a cuatro hileras. Atribuyeron este

comportamiento a las respuestas fotomorfogénicas provocadas por la disminución en las relaciones rojo: rojo lejano y azul: rojo lejano al disminuir el espaciamiento entre plantas. Los cambios en la tasa de elongación provocados por la disminución de la relación rojo: rojo lejano son benéficos para una planta sola; pero, en un dosel que crece rápidamente, una pequeña diferencia en altura podría resultar en una gran diferencia en la captura del FFF (Ballaré *et al.*, 1995).

Se han presentado evidencias que sugieren una dependencia de la TRC de jitomate sobre la radiación total media diaria. Estudios acerca de la tasa de crecimiento del cultivo y la intercepción del FFF son escasos en jitomate. En un estudio realizado por De Koning (1993), se obtuvo una relación curvilínea entre la tasa de crecimiento del cultivo y el FFF interceptado por un cultivo de tomate en invernadero; la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) promedio en este estudio fue de 2.5 gramos de materia seca producida por MJ ($2.4849 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de FFF) de radiación absorbida por el dosel.

3.9. Efecto del espaciamiento entre plantas sobre el desarrollo del jitomate

La iniciación floral es un signo fácilmente identificable y junto con el desarrollo de la flor se ha usado extensivamente en la caracterización de los efectos de varios factores medioambientales en el desarrollo del jitomate (Wittwer, 1963; Calvert, 1964). Se ha mostrado que, una vez que el crecimiento reproductivo se ha establecido, evidenciado por la iniciación y desarrollo de bastantes flores, un suministro adecuado de fotosintatos

asegurará proporciones altas de amarre de fruto y llevará a desarrollo abundante de fruto (Rodríguez y Lambeth, 1975; Picken, 1984).

El equilibrio entre crecimiento vegetativo y reproductivo es muy frágil en jitomate. Por consiguiente, se requiere un suministro continuo de fotosintatos para la producción continua de fruto (Rodríguez y Lambeth, 1976).

Papadopoulos y Pararajasingham (1997) mencionan que se han encontrado indicios de que el sombreamiento en espacios cerrados puede tener un efecto perjudicial en el amarre de fruto, debido a un suministro inadecuado de fotosintatos. Por ejemplo, Zahara y Timm (1973) en un estudio de 4 años en jitomate, encontraron que el número de frutos amarrados por planta, el número de flores, el número de hojas y el diámetro de tallo, disminuyeron en la medida en que la densidad de población se fue incrementando por arriba de 96.3 plantas m^{-2} . Ferry y Janick (1970), también trabajando con jitomates, encontraron que el número de entrenudos, el número de racimos y el número de flores por planta, así como el porcentaje de frutos amarrados, disminuyeron significativamente conforme las densidades de planta aumentaban. También se han reportado aumentos similares en el total de flores por planta y porcentaje de fruto amarrado, a los espacios más amplios en jitomate bajo invernadero (Rodríguez y Lambeth, 1975). Papadopoulos y Ormrod (1990) reportaron que la proporción de amarre de fruto (el porcentaje de amarre de flores) no se afectó por el espaciamiento entre plantas, excepto en las condiciones de sombreado extremas, como sucedió en el espaciamiento de 23 cm, para un ciclo de otoño (62% y 64% de amarre de fruto a 60 cm y 45 cm de espaciamiento vs. 46% a 23 cm de espaciamiento). Sin embargo, plantando en la primavera la

proporción de amarre de fruto decrece con la disminución del espaciamiento (58%, 52% y 13% de amarre de fruto cuando se puso a 60cm, 45 cm y 23 cm de espaciamiento entre plantas, respectivamente).

3.10. Efecto del espaciamiento entre plantas sobre la distribución de la biomasa y el rendimiento del cultivo

La producción eficiente de biomasa de un cultivo dependerá de la habilidad de cada planta para hacer un uso máximo de los recursos en el limitado espacio en el que crece, pero interfiriendo lo menos posible con sus vecinas; es decir, cada planta debe hacer una demanda mínima de recursos por unidad de biomasa producida, pero la población como un todo debe presionar sobre el total de recursos disponibles a un grado máximo, para que así se alcance la máxima producción. El logro de ésta no reside en la agresividad de la planta individual, sino de la población en una alta densidad de plantas, en la que los individuos son resistentes a la competencia y hacen un uso eficiente de su ambiente en el reducido espacio del que disponen para crecer (Donald, 1968). No existe una relación cuantitativa concreta entre la reducción de la luz y la reducción de la producción, ya que esta relación depende de la intensidad de radiación incidente y de la fase de desarrollo del cultivo (Challa y Schapendonk, 1884).

Un bajo FFF puede propiciar el incremento de yemas florales al priorizarse la iniciación de la inflorescencia, lo cual puede retrasar la antesis, cuando ésta ocurre después de que la inflorescencia es visible lo que puede causar el aborto de algunos o todos los botones

florales. Este efecto está asociado particularmente con la baja intensidad luminosa y día largo, al igual que con la luz total baja (Picken *et al.*, 1985).

Las plantas que, viviendo en población, pueden dar el mayor Re por unidad de superficie en un ambiente no restrictivo, son aquellas que por sus características morfológicas y anatómicas sufren la menor interferencia de sus vecinas, y que por su alta eficiencia fisiológica explotan al máximo el ambiente favorable que les rodea y optimizan la partición de asimilados hacia el grano o fruto (alto IC). Este arquetipo, en condiciones de baja densidad, tenderá a subutilizar los recursos disponibles y rendirá menos por unidad de superficie que plantas con alta habilidad competitiva individual, pero maximizará su utilización en altas densidades con un mayor Re (Donald y Hamblin, 1983; Sedgley, 1991).

Major *et al.* (1992) señalan que una importante característica del arquetipo, independientemente del ambiente, es que haga una mínima demanda sobre los recursos por unidad de peso seco producido, lo cual implica que sea altamente compatible con sus vecinos. Así, se ha planteado por varios autores (Donald y Hamblin, 1983; Sedgley, 1991; Adams y Kelly, 1992) que una vía potencial para incrementar el rendimiento de un cultivo dado, en ambientes no restrictivos (hidroponía en invernadero), es el aumento en la densidad de población, a fin de lograr el rápido establecimiento de un IAF óptimo para la intercepción de energía radiante. Es posible concebir un arquetipo básico general para alta productividad, semejante para varias especies de cultivo, el cual incluye un conjunto de características, entre las que destacan: tallo grueso, poca altura, hojas pequeñas y eficientes fotosintéticamente, hábito determinado con un solo tallo y sin

ramas, y estructuras reproductivas numerosas y de gran tamaño, con alta capacidad demandante.

Las hojas de abajo en el dosel generalmente están limitadas en su producción de biomasa por la poca radiación que reciben, mientras que las de arriba reciben más de la que necesitan para máxima producción de biomasa. El aumento progresivo del índice de área foliar provoca cada vez que un mayor porcentaje de hojas deje de producir o incluso pierda materia seca (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

Si se mejora la distribución de la radiación solar en todo el dosel (distribución más equitativa entre las hojas que lo conforman) se podría lograr una mayor producción de materia seca por día y, por lo tanto, un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo. Para una misma radiación diaria, se produce más biomasa en aquellos doseles en que la radiación incidente se distribuye más uniformemente entre todas las hojas; es decir, es mejor tener la mayoría de las hojas medianamente iluminadas que la mitad de las hojas muy iluminadas y la otra mitad muy sombreadas (Gardner *et al.*, 1985).

En la mayoría de las especies cultivadas la incorporación de características deseables para la conformación de un arquetipo resulta laboriosa y puede ser tardada cuando se tiene que recurrir al mejoramiento genético. Se debe conjuntar el germoplasma que presente las características consideradas para un ambiente dado; mediante métodos de selección, cruzamientos o retrocruzamientos, habrá que incorporar esas características a materiales elite, los que después se tienen que reproducir masivamente, evitando que las

mencionadas características se vayan perdiendo en las nuevas generaciones (Sánchez *et al.*, 1999a).

Dos determinantes importantes de alta productividad en una especie de cultivo bajo invernadero son: su habilidad de producir niveles elevados de asimilados en el proceso fotosintético y su capacidad para distribuir eficientemente una alta proporción de éstos hacia los órganos económicamente importantes. Cuando el suministro de asimilados aumenta, la tasa de crecimiento de los órganos de demanda o almacenamiento de los asimilados también puede aumentar. A largo plazo, el número de los órganos de demanda también puede aumentar, debido a un aumento en las tasas iniciales y/o disminución en las tasas de aborto. A veces ocurre retroalimentación como resultado de una reducción de tasa fotosintética. Sin embargo, en jitomate en invernadero no se ha encontrado correlación entre demanda de almacenamiento y fotosíntesis (Marcelis y de Koning, 1995).

Heuvelink y Buiskool (1995) diseñaron un experimento para determinar si la retroalimentación (inhibición de producto final) de la fotosíntesis es un factor en la producción de jitomate en invernadero. La proporción fuente-demanda se ha manipulado con la poda de fruto y de racimos, así como por poda de racimos en plantas a dos tallos. La relación fuente-demanda no influyó en la producción de biomasa, pero si la distribución de la biomasa entre los frutos y las partes vegetativas. El área específica de la hoja y la longitud del entrenudo disminuyeron y el área foliar aumentó cuando la proporción del fuente-demanda se redujo. El índice de área foliar estaba más alto en la relación fuente demanda baja en todos los experimentos. El desarrollo de la

planta, medido por número de hojas al final del experimento, no fue influenciado por la proporción de la fuente-demanda. Aunque la tasa fotosintética no fue medida directamente, la eficacia en el uso de la luz no mostró diferencia significativa entre los diferentes tratamientos. Los autores concluyeron que el efecto de la demanda en la producción de la biomasa por la unidad de radiación interceptada puede ignorarse, excepto quizás en casos extremos, como la remoción de todos los frutos.

El control de la distribución del carbono en plantas ha sido revisado por Wardlaw (1990), quien propuso que la ruta del transporte pudiera afectar la distribución de la materia seca, pero estos efectos disminuyen rápidamente cuando la demanda se incrementa. Heuvelink (1995a) concluyó que en jitomate la distancia entre la fuente y la demanda sólo es de importancia limitada y se asume que conjuntamente tienen un asimilado en común, para la distribución de la biomasa entre la fuente y la demanda.

El FFF no tiene mayor impacto en la distribución de la biomasa en jitomate (Cockshull *et al.*, 1992; Heuvelink, 1995b, Marcelis y de Koning, 1995), pero sí en los totales de asimilados disponibles para su distribución a través de la fotosíntesis en el cultivo. Por consiguiente, en la producción comercial la proporción fuente/demanda puede ser manipulada controlando la carga de fruto potencial total por el área de suelo, a través de la variación en fotosíntesis potencial por variación del FFF interceptado por las plantas.

Mcavoy *et al.* (1989) cultivaron plantas de jitomate a un racimo, proporcionando luz suplementaria (mayor intensidad y más duración) durante el periodo de antesis inicial hasta el amarre del fruto (15 días), que es cuando se presenta el cierre del dosel.

observaron que se incrementó significativamente el número de frutos producidos, sin presentarse influencia sobre el peso del fruto; en cambio, cuando se adicionó luz en la etapa de crecimiento rápido del fruto (30 días) se incrementó el peso del fruto, lo que atribuyeron a un aumento en la capacidad de la fuente y no a diferencias en la fuerza de la demanda.

El número de nuevos frutos desarrollados que crecen en una planta dependen de la proporción fuente/demanda; por ejemplo, de la proporción entre la suma de fuerzas de la demanda de todos los órganos y la tasa fotosintética (Marcelis y de Koning, 1995). En el experimento reportado por Cockshull *et al.* (1992), donde se examinaron efectos de la sombra en rendimiento de frutos de jitomate, el número de frutos por racimo tuvo correlación positiva con la radiación solar recibida, lo que fue más evidente cuando hubo menos de 1.5 MJ m^{-2} (aproximadamente $3.7274 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ FFF}$) por día, en el momento de la primera antesis de un racimo. El número de frutos fue similar en todos los tratamientos pero, en la primera etapa la temporada, hubo menos flores abiertas y menos frutos comerciales en el tratamiento con sombra. Cuando fue alta la relación fuente-demanda, hubo disponibilidad suficiente de asimilados que estaba disponible para los frutos jóvenes que iniciaban su crecimiento; sin embargo, con el incremento en el peso de los frutos y/o disminución del FFF, la relación fuente/demanda disminuyó, ocasionando el aborto de frutos jóvenes. No se afectó la duración de desarrollo de fruto por sombreamiento; sin embargo, Heuvelink (1995b) sugirió que un aumento en la fuerza de la fuente, debida a la variación del espaciamiento entre plantas, podría aumentar el número de frutos que crecen al mismo tiempo en las plantas.

El tamaño potencial del fruto de jitomate es dependiente de su posición dentro de un racimo y del cultivar (Ho,1996), pero realmente el tamaño logrado depende de la cantidad de asimilados producidos por el follaje y el número de frutos que compiten por éstos. La acumulación de asimilados producido por el follaje es regulado por la fotosíntesis, misma que es dependiente en la cantidad de la radiación solar incidente en un cultivo, del área de follaje disponible para interceptar radiación solar y del promedio de la concentración de CO₂ por día. El número de frutos que compiten por los asimilados se relaciona con el número de frutos por racimo, el número de racimos por planta, el número de plantas por metro cuadrado, y la duración de desarrollo del fruto, aunque la habilidad competitiva de los frutos, evaluados por su tasa de crecimiento, variará durante su desarrollo. Como más del 90% del peso fresco del fruto es agua, la disponibilidad de agua para crecimiento de fruto puede influir en su tamaño (Ehret y Ho, 1986; Ho *et al.*, 1987).

Según Cockshull *et al.* (1992), la sombra aumentó la proporción de fruto de tamaño pequeño, incluso en las primeras semanas de producción. El número de frutos por racimo y la duración de desarrollo del fruto no son afectados por sombra, y en cualquier periodo, el número de frutos disponible para recibir asimilados se ve afectado por aborto de flor y/o fruto. Como el porcentaje de distribución de los asimilados disponibles hacia el fruto no fue muy reducido por la sombra, Cockshull *et al.* (1992) concluyeron que se produjeron frutos más pequeños porque el suministro de asimilados se redujo proporcionalmente más que el número de frutos.

El ambiente también es de importancia en el control del tamaño de fruto. En experimentos donde el 30% de frutos fueron removidos de los primeros tres racimos, en plantas crecidas a densidad baja ($2.04 \text{ plantas m}^{-2}$) o alta ($3.06 \text{ plantas m}^{-2}$), Cockshull y Ho (1995) observaron que el peso medio de cada fruto restante aumentó significativamente. El rendimiento total de frutos de estos tres racimos se redujo 16%, pero el rendimiento de los racimos superiores aumentó significativamente y casi compensó la pérdida del rendimiento de los racimos inferiores. El rendimiento inicial y el final del cultivo establecido a densidad alta fue de 8% y 15%, respectivamente, mayor que a densidad baja. La cosecha del cultivo establecido a densidad alta produjo un rendimiento mayor de fruto comercial que el establecido a densidad baja y la diferencia fue mayor con el incremento de la radiación solar promedio diaria.

Papadopoulos y Ormrod (1990) establecieron dos cultivares ("Jumbo" y "CR-6") de jitomate en invernadero durante primavera y otoño, a densidades de planta que van de 2.5 a $11.3 \text{ plantas m}^{-2}$, y reportaron que el rendimiento comercial por plantas de dentro y fuera de las cuatro hileras del dosel, disminuyó linealmente al aumentar sucesivamente la densidad de plantas. Sin embargo, el rendimiento total y comercial (expresado por metro cuadrado) difirió con la estación crecimiento. En otoño, el rendimiento total y comercial de todas las plantas, con la excepción de las plantas de CR-6 de las hileras interiores, aumentó a medida que la densidad de plantas se incrementó; pero, en primavera los rendimientos fueron más altos a densidades de planta intermedias y descendieron con densidades altas y bajas. Sin embargo, en las plantas de "Jumbo" de las hileras exteriores el rendimiento fue similar en todas las densidades de población.

El cultivo de jitomate establecido a densidad alta en el estudio de Cockshull y Ho (1995) produjo un mayor IAF, el cual interceptó más de la radiación solar incidente, y como consecuencia, más frutos por metro cuadrado. Harper *et al.* (1979) y Papadopoulos y Ormrod (1991) observaron un aumento en la producción a elevado IAF, comparado con densidades de la planta bajas. Sin embargo, el peso global de fruto comercial producido por planta, disminuyó de 19.7 kg con densidad baja a 15.1 kg con densidad alta (Cockshull y Ho, 1995), lo que es consistente con el descenso lineal en tamaño de fruto (g por fruto) con el incremento de la densidad de planta observada por Papadopoulos y Ormrod (1990). Papadopoulos (1985) atribuye este descenso a la reducción en la proporción de biomasa traslocada a los frutos. Heuvelink (1995b) sugiere que la densidad de plantas no tiene efecto directo en la distribución de la biomasa al fruto, pero eso cambia en el número de frutos (capacidad de demanda) debido a que las variaciones en el espaciamiento entre plantas puede producir diferencias en la distribución de la biomasa a éstos.

La producción total de materia seca y su distribución entre los distintos órganos de la planta de jitomate puede diferir según las condiciones ambientales de su cultivo; por ejemplo, una planta de crecimiento determinado crecido en California, sin defoliar acumuló 445 g de materia seca, con un índice de cosecha de 55% (Hewitt y Marrush, 1986). Ammerlaan *et al.* (1986) han reportado considerables reservas de almidón en plantas de jitomate, que podría apoyar el crecimiento de fruto por uno o dos días en ausencia de fotosíntesis. Pearce *et al.* (1993) encontraron que el crecimiento de fruto se puede sostener por lo menos 20 h después de que las plantas estén en oscuridad continua. Encontraron además que esa proporción de crecimiento de fruto sólo

disminuyó cuando la radiación total diaria estuvo por debajo de $6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ de radiación (aproximadamente $14.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ FFF).

Papadopoulos y Pararajasingham (1997) señalan que se pueden obtener altos rendimientos de jitomate en invernadero usando espaciamientos reducidos (alta densidad de plantación), comparado con espaciamientos amplios. El incremento del rendimiento en espacios reducidos, puede ser resultado de la elevada biomasa generada por el efecto del incremento de la intercepción de la FFF y de la fotosíntesis del dosel. Estos incrementos en el rendimiento y la biomasa del cultivo están asociados con el incremento de la tasa de amarre de fruto; así, la elevada biomasa del cultivo está asociada con alto IAF y con incrementos de la intercepción de la FFF. Alta intercepción de FFF no solo estimula el crecimiento del cultivo, sino que también incrementa el total de asimilados para su distribución en los frutos.

La revisión de la literatura revela que el tamaño de fruto y el rendimiento de jitomate se ve influenciados fuertemente por el FFF interceptado, actuando en el suministro de los asimilados de la hoja. Las condiciones que favorecen la alta tasa de fotosíntesis por unidad de área de suelo (por ejemplo espacio cerrado) se correlacionan positivamente con rendimiento de fruto (peso por unidad de área), pero no con su tamaño. Dado que la distribución de los asimilados no es afectada por la intercepción del FFF, los frutos pequeños producidos en espaciamiento estrecho, son debidos probablemente a insuficiente cantidad de asimilados disponible para su distribución a los frutos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización geográfica y condición ambiental

El experimento se llevó a cabo del 16 de julio de 2001 al 20 de junio de 2002 en un invernadero de vidrio de la empresa Industrial Agropecuaria Junco, en la localidad de La Resurrección, Texcoco, Estado de México, ubicada a 19° 29' LN, 98° 53' LW y 2250 msnm, existiendo en este lugar un clima Cb (w_o)(w)_i'g, templado subhúmedo con lluvias en verano, siendo éste fresco y largo, con una oscilación térmica de 5° a 7° C, mayo el mes caliente del año, temperatura media anual de 15°C, 644.8 mm de precipitación media anual, y un máximo de lluvia en julio y mínima en enero (García, 1988).

El invernadero tipo capilla, de 100 m de largo por 12 m de ancho y 3.8 m de altura máxima, contaba con 18 tinas de 30 m de longitud, 1.3 m de ancho, con costados y pasillos cementados de 50 cm. Para su ventilación el invernadero contaba con ventanas de 1.3 m de alto a lo largo de ambos costados. Estas ventanas estaban cubiertas con malla antiáfidos para evitar la entrada de insectos y contaban con cortinas de polietileno a fin de regular la temperatura y el nivel de ventilación. Sobre las tinas se colocaron bolsas con capacidad de 8 y 15 litros (según el tratamiento) llenas de tezontle rojo, con la mayoría de sus partículas de 1 a 3 mm de diámetro

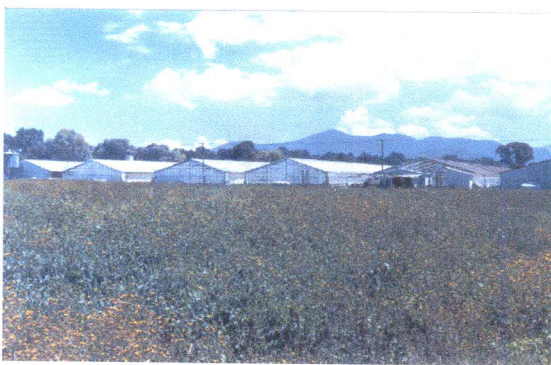


Figura 5. Vista del invernadero



Figura 6. Inicio del experimento



Figura 7. Experimento establecido.

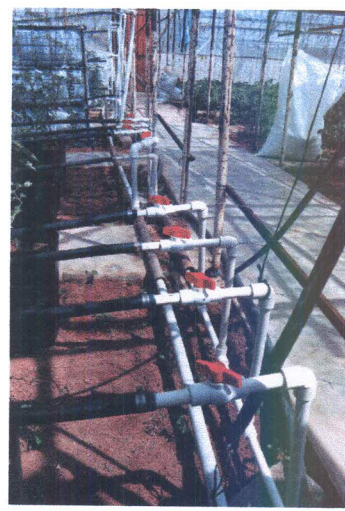


Figura 8. Sistema de riego.

4.2. Material vegetal

Se usó el híbrido de jitomate “Gabriela”, de la empresa Hazera Quality Seed Ltd®, y cuyas características más importantes, de acuerdo al fabricante, son: tipo bola, de crecimiento indeterminado, con resistencia a las razas de Fusarium 1 y 2 y Verticilium, peso de 120 a 180 g, muy larga vida de anaquel y resistencia a nemátodos.

4.3. Semillero

El almácigo se estableció en charolas de poliestireno de 200 cavidades de 60 cm de largo por 30 cm de ancho y 8 cm de profundidad. Cada charola se llenó con sustrato para germinación, preparado a base de peat moss y vermiculita y con el pH ajustado 5.5 (producto comercial “Soge mix[®]”). Se sembró una semilla por cavidad. Los riegos se hicieron diariamente, sólo con agua hasta aproximadamente ocho días después de la emergencia y con solución nutritiva una vez que aparecieron las primeras hojas verdaderas. Para los tratamientos uniformes se hicieron dos siembras para cada uno de los dos ciclos anuales establecidos, y para los arreglos escaleriformes se sembró cada 30 y 45 días, según el tratamiento en cuestión.

4.4. Diseño experimental y tratamientos

El experimento se estableció en un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y ocho tratamientos, tres de ellos “testigos” con la forma de cultivo “tradicional”. La descripción de todos los tratamientos se especifica en el Cuadro 3. El tamaño de la unidad experimental fue de 2 m². En todos los casos la orientación de las hileras de plantas fue este-oeste (Figura 9). Los dos primeros tratamientos fueron arreglos escaleriformes formados con tres hileras de plantas, trasplantadas en bolsas de 15 litros, orientadas en dirección este-oeste, conducidas a un solo tallo para dejar seis racimos por planta, manejando continuamente la imbricación de tres ciclos de

producción (una hilera de plantas por cada ciclo) con diferencias de 45 días de edad entre las plantas de cada ciclo (Figura 5). En el tratamiento uno la distancia entre plantas fue de 25 cm (4 plantas m⁻¹ y 7.5 plantas m⁻²) y entre hileras de 40 cm, dejando pasillos de 50 cm de ancho. De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvieron cuatro ciclos anuales, con 60 racimos por m² al año (una vez establecido el sistema, potencialmente se obtendrían 8 ciclos, con 96 racimos por m² anuales).

Cuadro 3. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Descripción	Plantas por m ²	Clave
1	Escaleriforme a 6 racimos. Escalera formada por 3 hileras con intervalos de trasplante entre ellas de 45 días y 4 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 15 litros	7.5	E3H, 6R, T a 45 días, 7.5 pl/m ² , 60 R/año (E3H-60R)
2	Escaleriforme a 6 racimos. Escalera formada por 3 hileras con intervalos de trasplante entre ellas de 45 días y 5 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 15 litros	9.4	E3H, 6R, T a 45 días, 9.4 pl/m ² , 75 R/año (E3H-75R)
3	Escaleriforme a 3 racimos. Escalera formada por 4 hileras con intervalos de trasplante entre ellas de 30 días y 5 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 8 litros	12.5	E4H, 3R, T a 30 días, 12.5 pl/m ² , 65 R/año (E4H-65R)
4	Escaleriforme a 3 racimos. Escalera formada por 4 hileras con intervalos de trasplante entre ellas de 30 días y 6 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 8 litros	15	E4H, 3R, T a 30 días, 15 pl/m ² , 78 R/año (E4H-78R)
5	Escaleriforme a 3 racimos. Escalera formada por 4 hileras con intervalos de trasplante entre ellas de 30 días y 7 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 8 litros	17.5	E4H, 3R, T a 30 días, 17.5 pl/m ² , 92 R/año (E4H-92R)
6	Uniforme a 6 racimos. Trasplante único de 3 hileras a los 45 días y 4 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 15 litros	5.6	U3H, 6R, T único, 5.6 pl/m ² , 67 R/año (U3H-67R)
7	Uniforme a 3 racimos. Trasplante único de 4 hileras a los 30 días y 4 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 8 litros	10	U4H, 3R, T único, 10 pl/m ² , 60 R/año (U4H-60R)
8	Uniforme a 15 racimos. Trasplante único de 2 hileras a los 45 días y 2 plantas de parcela útil en cada una, en bolsas de 15 litros	2.5	U2H, 15R, T único, 2.5 pl/m ² , 38 R/año (U2H-38R)

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = trasplante pl = plantas

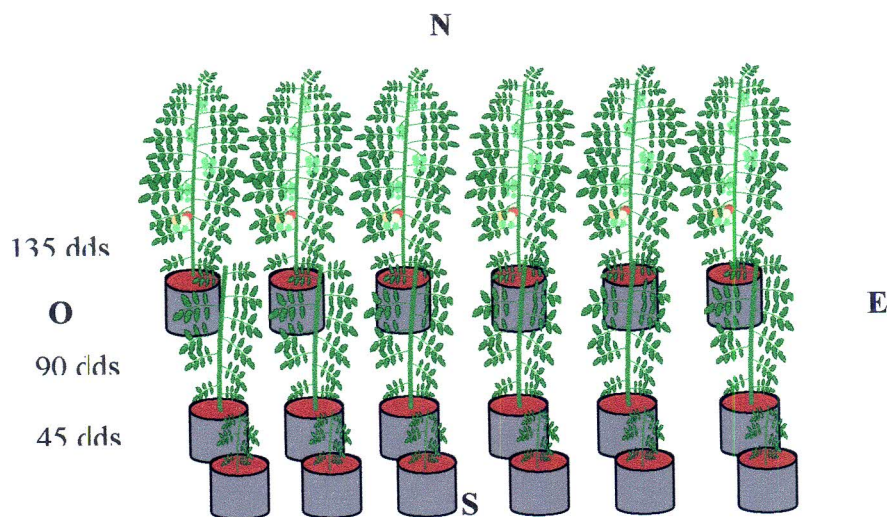


Figura 9. Doseles escaleriformes en dirección este-oeste, conformados por juegos de 3 hileras de plantas de jitomate de diferente edad, despuntadas para dejar seis racimos por planta.
dds = días después de la siembra

En el tratamiento dos la distancia entre plantas fue de 40 cm (5 plantas m^{-1} y 9.4 plantas por m^2). De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvieron cinco ciclos anuales, con 75 racimos por m^2 al año (una vez establecido el sistema, potencialmente se obtendrían 8 ciclos, con 120 racimos por m^2 anuales). Las hileras quedaron completamente establecidas 165 días después de la siembra de la primera hilera, terminando el ciclo de ésta a los 180 días. Cada 45 días se terminó el ciclo de una hilera de plantas, éstas se arrancaron y las macetas se reutilizaron, pasándolas al lado sur de la triple hilera para realizar un nuevo trasplante en ellas con plántulas de 45 días de edad. Así se fueron recorriendo las plantas cada 45 días en la medida en que las hileras terminaron su ciclo, hasta que después de un año se terminó el experimento, quedando al final las hileras 5 (al norte), 6 (al centro) y 7 (al sur) (Figura 22). Las plantas de la hilera 5 se cosecharon en su totalidad, mientras que las de la hilera 6, al centro, sólo se cosechó

hasta el segundo racimo y ningún racimo fue cosechado de la hilera 7, al sur, por encontrarse éstas en estado vegetativo.

Un segundo grupo de tratamientos (3, 4 y 5) se basó en arreglos escaleriformes formados con cuatro hileras de plantas, trasplantadas en bolsas de 8 litros, orientadas en dirección este-oeste, conducidas a un solo tallo para dejar tres racimos por planta, manejando continuamente la imbricación de cuatro ciclos de producción (una hilera de plantas por cada ciclo) con diferencias de 30 días de edad entre las plantas de cada ciclo. En el tratamiento tres la distancia entre plantas fue de 20 cm (5 plantas m^{-1} y $12.5 \text{ plantas m}^{-2}$) y entre hileras de 30 cm, dejando pasillos de 50 cm de ancho (Figura 10). De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvieron siete ciclos anuales, con 65 racimos por m^2 al año (una vez establecido el sistema, potencialmente se obtendrían 12 ciclos, con 112 racimos por m^2 anuales).

En el tratamiento cuatro la distancia entre plantas fue de 16.7 cm (6 plantas m^{-1} y $15 \text{ plantas m}^{-2}$). De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvieron siete ciclos anuales, con 75 racimos por m^2 al año (una vez establecido el sistema, potencialmente se obtendrían 12 ciclos, con 128 racimos por m^2 anuales). En el tratamiento cinco la distancia entre plantas fue de 14.3 cm (7 plantas m^{-1} y $17.5 \text{ plantas m}^{-2}$). De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvieron siete ciclos anuales, con 92 racimos por m^2 al año (una vez establecido el sistema, potencialmente se obtendrían 12 ciclos, con 158 racimos por m^2 anuales). La primera hilera se estableció al norte, la segunda quedó en el centro norte, la tercera en el centro sur y la cuarta hilera se colocó al sur. Las hileras quedaron completamente establecidas 120 días después de

la siembra de la primera hilera, terminando el ciclo de ésta a los 140 días. Continuamente se fueron recorriendo las hileras de plantas cada 30 días en la medida en que las hileras terminaron su ciclo, hasta que después de un año se terminó el experimento, quedando al final las hileras 6 (al norte), 7 (al centro norte), 8 (al centro sur) y 9 (al sur) (Figura 23). Los racimos de las plantas de la hilera 6 se cosecharon en su totalidad, mientras que las de la hilera 7, al centro norte, sólo se cosechó hasta el segundo racimo y ningún racimo fue cosechado de las plantas de las hileras 8 (centro sur) y 9 (al sur), por encontrarse éstas en estado vegetativo.

El tercer grupo corresponde a tres tratamientos que pudieran considerarse como testigos, uniformes con todas las plantas establecidas en la misma fecha, orientadas en dirección este-oeste, conducidas a un solo tallo. El tratamiento seis se condujo a seis racimos, distancia entre plantas de 45 cm, tres hileras a 40 cm, con pasillos de 50 cm (3 plantas por metro lineal y $5.6 \text{ plantas m}^{-2}$), trasplante único en bolsas de 15 litros a los 45 días, dos ciclos anuales (Figura 11). De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvieron dos ciclos anuales, con 68 racimos por m^2 al año. El tratamiento siete se condujo a 3 racimos, distancia entre plantas de 30 cm, cuatro hileras a 30 cm, con pasillos de 50 cm (4 plantas m^{-1} y $10 \text{ plantas m}^{-2}$), trasplante único en bolsas de 8 litros a los 45 días y dos ciclos anuales (Figura 12). De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvieron dos ciclos anuales, con 60 racimos por m^2 al año. El tratamiento ocho se condujo a 15 racimos, distancia entre plantas de 50 cm, dos hileras a 70 cm, con pasillos de 50 cm (2 plantas m^{-1} y $2.5 \text{ plantas m}^{-2}$), trasplante único en bolsas de 15 litros a los 45 días (Figura 13). De esta manera, incluyendo el tiempo de establecimiento, se obtuvo un ciclo anual, con 38 racimos por m^2 al año.

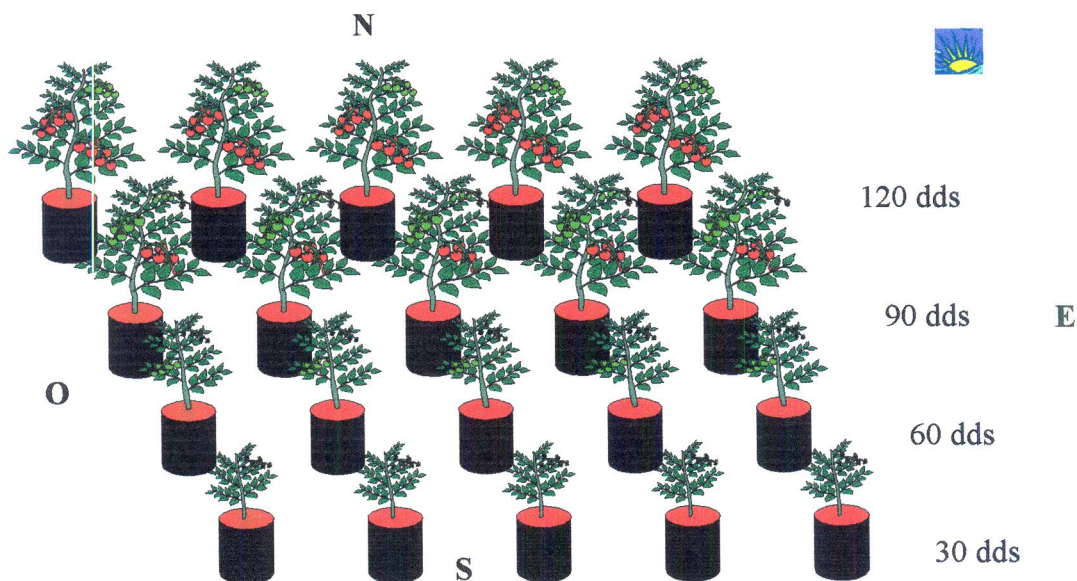


Figura 10. Doseles escaleriformes en dirección este-oeste, conformados por juegos de 4 hileras de plantas de jitomate de diferente edad, despuntadas para dejar tres racimos por planta.
dds = días después de la siembra

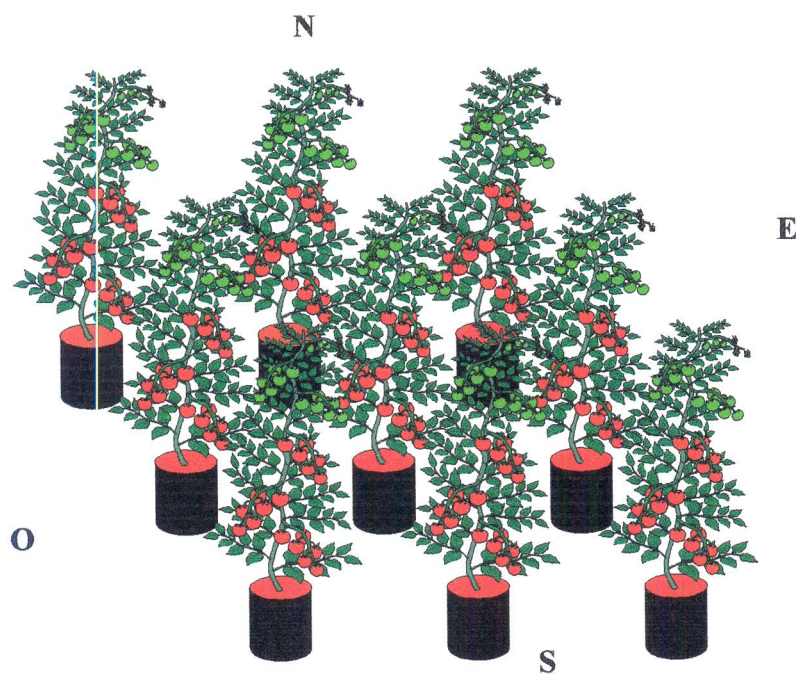


Figura 11. Doseles uniformes en dirección este-oeste, conformados por juegos de tres hileras de plantas de jitomate de la misma edad, despuntadas a seis racimos.

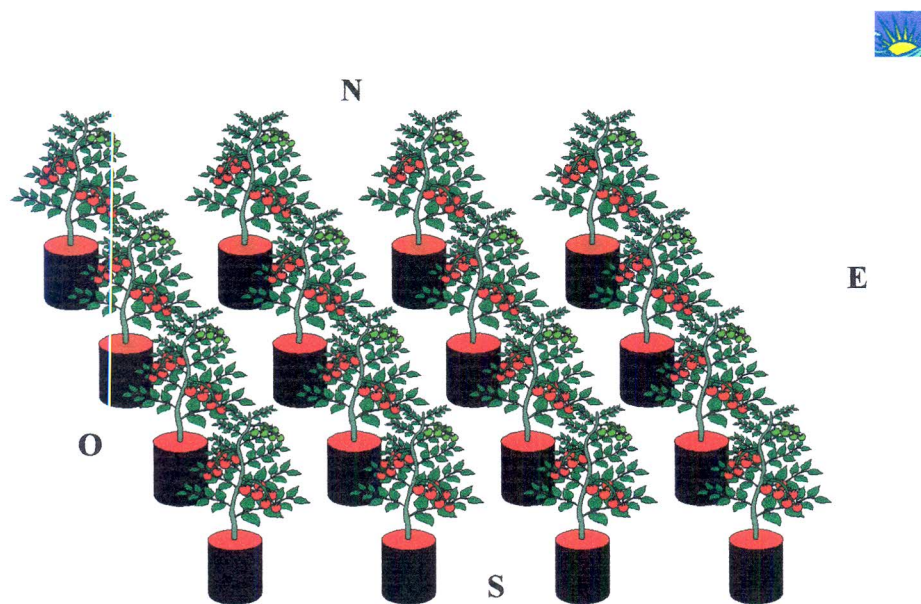


Figura 12. Doseles uniformes en dirección este-oeste, conformados por juegos de cuatro hileras de plantas de jitomate de la misma edad, despuntadas a tres racimos.

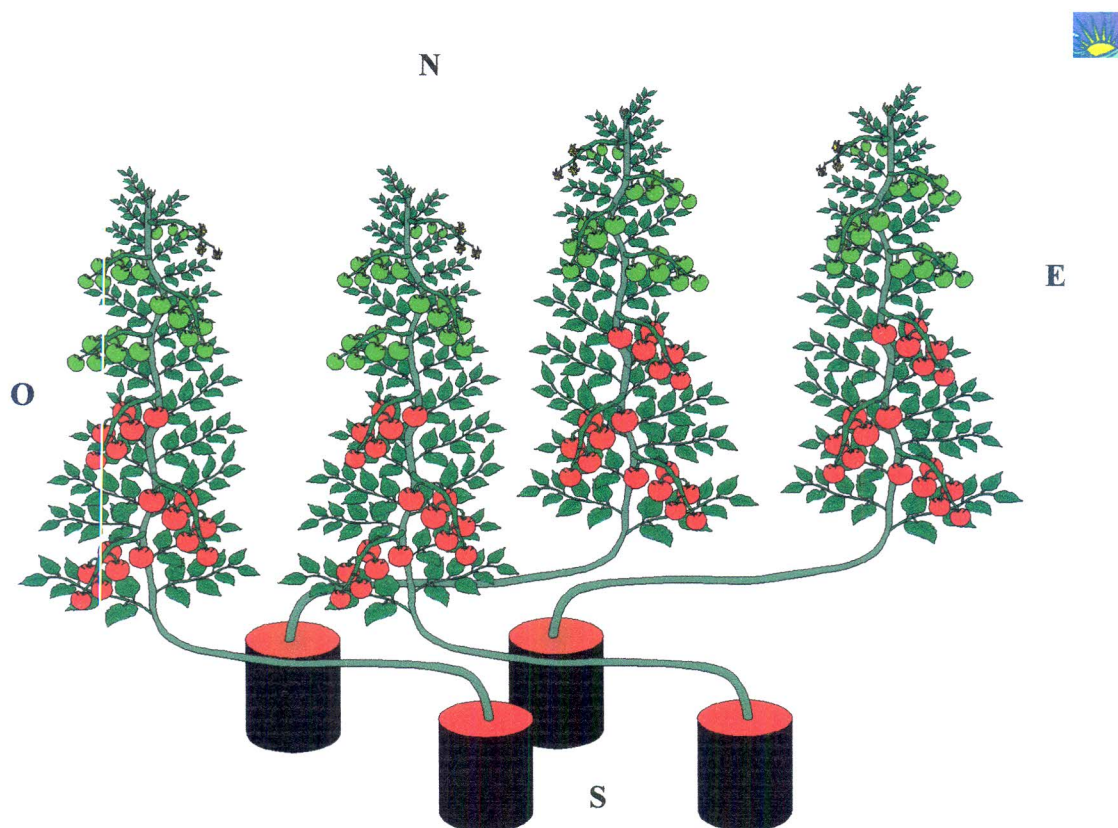


Figura 13. Doseles uniformes en dirección este-oeste, conformados por juegos de 2 hileras de plantas de jitomate de la misma edad, despuntadas a quince racimos.

4.5. Manejo agronómico del cultivo

A partir de la aparición de las primeras hojas verdaderas, los riegos se hicieron con solución nutritiva conteniendo los elementos y concentraciones señalados en el Cuadro 4. No se suministraron cloro ni molibdeno por requerirse en baja concentración, además por suponerse que aparecen en cantidad suficiente como impurezas en los fertilizantes usados y en el agua de riego (Sánchez y Escalante, 1989).

Cuadro 4. Nutrimentos, concentraciones y fertilizantes usados para preparar la solución nutritiva utilizada en el experimento.

Nutrimento	Concentración (mg l ⁻¹)	Fuente de fertilizante
Nitrógeno	250	Nitrato de calcio
Fósforo	60	Ácido fosfórico
Potasio	300	Sulfato de potasio
Calcio	300	Nitrato de calcio
Azufre	200	Sulfato de potasio; Sulfato de magnesio
Magnesio	75	Sulfato de magnesio
Hierro	3	Sulfato ferroso
Manganeso	0.5	Sulfato de manganeso
Boro	0.5	Borax
Cobre	0.1	Sulfato de cobre
Zinc	0.1	Sulfato de zinc

Los tratamientos que se trasplantaron a los 30 días se mantuvieron en charolas hasta realizar el trasplante; en tanto que en aquellos que se trasplantaron a los 45 días, las plántulas se trasplantaron al cumplir 30 días a macetas de plástico de un litro de capacidad y en ellas se mantuvieron 15 días más hasta el momento del trasplante definitivo.

Excepto en el primer transplante (30 y 45 días después de la primera siembra), tres días antes de cada transplante se desinfectó el sustrato, regándolo con una solución preparada a base de PCNB 75[®] (ingrediente activo: Quintoceno pentacloronitrobenceno. Internacional Química de Cobre, S. A. de C. V.) más Captan 50 PH[®] (ingrediente activo: Captan. Zéneca Agroquímicos). La dosis fue de 1g L⁻¹ de cada producto, aplicando 1.5 litros de solución por maceta.

Después del transplante, los riegos se efectuaron con solución nutritiva mediante un sistema de riego por goteo diseñado expresamente con esta finalidad mismo que se hizo con manguera y goteros individuales de 2 L h⁻¹. En 4 riegos diariamente se aplicaron de 0.5 a 1.5 litros por planta, según la etapa fenológica de la planta y las condiciones ambientales prevalecientes.

Las plantas se tutoraron individualmente con rafia, podando los brotes laterales para conducirlos a un tallo, eliminando la yema terminal dos hojas arriba del último racimo (para un grupo de tratamientos a tres racimos y a seis para el otro). Se podaron las hojas inferiores en la medida en que los racimos maduraban, por arriba del racimo recién cosechado y una hoja abajo del racimo siguiente, en proceso de maduración. Para favorecer la polinización, diariamente se movían manualmente las plantas, propiciando así mayor amarre de fruto.

Dos enfermedades fueron las más persistentes durante el desarrollo del experimento: Ataque por *Fusarium*, por lo que se hicieron aplicaciones periódicas a base de 1 g L de

agua de Tecto® 60 (ingrediente activo: Tiabendazol. Novartis Agro, S. A. De C. V.); y cenicilla, que para evitar su diseminación se realizaron aplicaciones de 1g L^{-1} de agua de Bayleton® 25% PH (ingrediente activo: Triadimefon. Bayer de México, S. A. de C. V.).

Las dos plagas más problemáticas fueron el minador de la hoja, el cual se controló con aplicaciones esporádicas de Trigard 75 PH (ingrediente activo: Cyromazina. Novartis Agro, S. A. De C. V.); y altas poblaciones permanentes de mosquita blanca, debido a que el experimento se estableció en el momento en que un cultivo comercial se encontraba en la fase final de la cosecha y estaba infestado con esta plaga, la cual se concentró en el experimento, sobre todo al no haber plantas en las cuales hospedarse. Fue muy difícil romper su ciclo; por lo que afectó mucho al cultivo, principalmente con ataque de virus, disminuyendo el rendimiento de forma importante. Para su control se hicieron aplicaciones, alternadas cada 15 días, de productos químicos y productos orgánicos. Los productos usados fueron Confidor® (ingrediente activo: Imidacloprid. Bayer de México, S. A. de C. V.), Thiodan 50 P.M.^{MR} (ingrediente activo: Endosulfán. Aventis CropScience México, S. A. De C. V.), Talstar 100 CE® (ingrediente activo: Bifentrina 12.15%. FMC Agroquímica de México S. de R. L. de C. V.), Impide (Ingrediente activo: sales potásicas de ácidos grasos. Dow Agrosiences de México, S. A. De C. V.), Biocrack® (ingrediente activo: extracto acuoso de ajo y de manzanilla y ruda. Berni Labs, S. De R. L. (MI), Saf-T-side® (ingrediente activo: aceite parafínico de petróleo. Distribuciones Imex, S. A. De C. V.), PHC™-Neem™ (ingrediente activo: Azaridachtina. Plant Helth Inc.) y detergente “Roma” (ingrediente activo: surfactante aniónico lineal; fosfato y silicato de sodio. Fábrica de Jabón La Corona, S. A. De C. V.).

4.6. Parámetros y variables evaluadas

Dada la naturaleza del experimento, se realizaron tres tipos de análisis:

4.6.1. Comparación global de todos los tratamientos

Se hicieron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), con la finalidad de comparar el efecto de los ocho tratamientos en las siguientes variables:

- Rendimiento de fruto (kg m^{-2}),
- Número de frutos por unidad de superficie (frutos m^{-2}),
- Peso medio de fruto (g),
- Tamaño medio de fruto (diámetro ecuatorial, cm),
- Índice de área foliar (m^{-2}) y
- Intercepción y distribución de luz a distintas alturas del dosel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Los frutos se cosecharon manualmente a media coloración. A cada fruto se le midió con un vernier el diámetro ecuatorial y el peso. También se determinó el número de frutos por racimo. Con estos datos se procedió a calcular el rendimiento por unidad de superficie de cada tratamiento, el peso medio de fruto y el tamaño medio de fruto.

Para estimar el índice de área foliar por tratamiento se muestrearon 50 hojas, se les midió el largo y el ancho y se determinó su área foliar mediante un integrador de área

foliar (LI 3000). Se realizó una prueba de correlación entre el área foliar de la hoja y su dimensión a lo largo, lo ancho, el largo por el ancho y largo al cuadrado por ancho al cuadrado, encontrándose mayor correlación con el resultado del largo por ancho. Se procedió a realizar una regresión lineal simple para, a partir del resultado de multiplicar el largo por el ancho, estimar el área foliar de la hoja y, sin destruirla, medirla directamente en la planta. Se midió el largo y el ancho de cada hoja en una muestra de ocho plantas por tratamiento. Con estos datos se estimó el área foliar de las hojas de cada planta y con ello se estimó el índice de área foliar de cada tratamiento.

Con base en el resultado de la regresión realizada para largo (L) y ancho (A), la fórmula para estimar el área foliar de las hojas fue: $AF_{estimada} = (L \times A) \times 0.26718 + (-1.3)$

Debido a que las hojas de algunas de las hileras, por su tamaño, sobresalían del metro cuadrado de suelo de parcela útil, se tomó en cuenta el largo de la hoja promedio y se realizó un ajuste en la hilera norte de los tratamientos escaleriformes, al igual que a las hileras de los extremos en los tratamientos uniformes. El IAF estimado de la hilera norte de los tratamientos escaleriformes, así como el de las hileras del norte y del sur de los tratamientos uniformes se dividió entre el valor de ajuste resultante (Cuadro 5), calculándose de esa forma el IAF considerado para cada tratamiento en el análisis estadístico.

Se midió la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa con un ceptómetro marca Decagon Sunfleck modelo SF-40 (Decagon Divices, Inc. USA), que consta de una barra con 40 sensores, uno cada 2 cm. El ceptómetro mide la densidad media del

flujo fotónico que cae sobre una línea colocada horizontalmente en el dosel. En este caso, se colocó en la parte sur a lo largo de cada hilera en el estrato superior, intermedio e inferior del dosel, tomando tres lecturas y obteniendo su promedio. La lectura se tomó entre 12:00 y 14:00 h a pleno sol.

Cuadro 5. Valor de ajuste para la estimación del índice de área foliar de los tratamientos estudiados.

	Tratamiento							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Valor	1.352	1.344	1.404	1.412	1.428	1.221	1.302	1.145

Con los datos obtenidos del FFF se calculó el porcentaje de radiación interceptada en los niveles intermedio y bajo del dosel, respecto a la intercepción en la parte superior. A fin de garantizar una distribución normal de los valores, éstos se transformaron mediante la fórmula: $T = \arcseno \sqrt{y/100 * (180/3.1416)}$

Se procedió a realizar el análisis de varianza y prueba de Tukey a los datos transformados (T), para posteriormente reconvertirlos a porcentajes, mediante la siguiente fórmula: $Y = 100 \text{ Sen}^2 T$

4.6.2. Comparación entre las hileras de los tratamientos escaleriformes que coincidieron en tiempo con el primero y segundo ciclo de los tratamientos uniformes, despuntados a tres y seis racimos

La hilera uno (ubicada al norte) de los tratamientos escaleriformes conducidos a tres y seis racimos coincidió en el tiempo de cosecha con el ciclo de los tratamientos

uniformes despuntados a tres y seis racimos, respectivamente. De igual forma, la hilera cuatro (ubicada al sur) de los tratamientos escaleriformes coincidió en el tiempo con el ciclo del tratamiento uniforme despuntados a seis racimos. También la hilera cinco, ubicada al sur, de los tratamientos escaleriformes coincidió en el tiempo con el ciclo del tratamiento uniforme despuntados a tres racimos. Con base en lo anterior, todas estas hileras y tratamientos uniformes formaron un conjunto de tratamientos , a los que se les realizó un análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y una prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), con la finalidad de comparar el efecto de los tratamientos en las siguientes variables:

- Rendimiento (kg m^{-2})
- Número de frutos por unidad de superficie (frutos m^{-2})
- Peso medio de fruto (g)
- Tamaño medio de fruto (diámetro ecuatorial, cm)
- Índice de área foliar (m^2) (sólo realizado para el segundo ciclo)

El IAF se estimó de igual forma que para la comparación global de todos los tratamientos.

4.6.3. Comparación del rendimiento entre hileras dentro de cada tratamiento

Con el objeto de analizar el efecto que tuvo en el rendimiento la ubicación de las hileras dentro de cada uno de los tratamientos se realizó un análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y pruebas de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$), mediante el paquete estadístico

SAS (Statistical Analysis System), con la finalidad de comparar el efecto de los tratamientos en las siguientes variables:

- Rendimiento (kg m^{-2}),
- Número de frutos por unidad de superficie (frutos m^{-2}),
- Peso medio de fruto (g),
- Tamaño medio de fruto (diámetro ecuatorial, cm).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Comparación general de tratamientos

5.1.1. Comparación del rendimiento y sus componentes

De acuerdo con el análisis de varianza correspondiente, hubo diferencias significativas entre tratamientos en las variables rendimiento por unidad de superficie y en número, peso y diámetro de fruto (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados medios			
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos	Diámetro de frutos
Bloques	3	12.58*	765.44	20.49	0.01
Tratamientos	7	95.89*	13237.62 *	104.31*	0.06*
Error	21	3.89	694.14	27.29	0.02
CV %		9.69	10.68	7.01	2.79
Media		20.4 kg m ⁻² año ⁻¹	247	74.6	5.05

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 7), se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la variable rendimiento. Se obtuvo mayor rendimiento en los tratamientos escaleriformes que en los uniformes, excepto en el tratamiento escaleriforme de tres hileras despuntado a seis racimos, con intervalo entre transplantes de 45 días (E3H-75R) y en el tratamiento escaleriforme, cuatro hileras, con intervalo de transplante a 30 días, tres racimos y densidad baja (E4H-

65R). En el tratamiento escaleriforme con cuatro hileras, despuntado a tres racimos y densidad alta ($17.5 \text{ plantas m}^{-2}$), se obtuvo el mayor rendimiento ($24.87 \text{ kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$), aunque sólo fue significativamente superior a los tratamientos E3H-75R, E4H-65R y U2H-38R. Se obtuvo significativamente menor rendimiento en el tratamiento uniforme despuntado a 15 racimos (U2H-38R).

La principal razón del mayor rendimiento anual por unidad de superficie es el mayor número de racimos que se obtuvo con arreglos escaleriformes, y se muestran tendencias similares en trabajos experimentales de distintos autores trabajando con doseles uniformes y escaleriformes en jitomate. Por ejemplo, Sánchez *et al.* (1999b) señalan que para cultivares indeterminados conducidos en doseles uniformes a tres racimos por planta, los mejores rendimientos y calidad se han obtenido con 10 a 12 plantas m^{-2} de superficie útil; para plantas a dos racimos, la mejor densidad fue de 16 a 18 plantas m^{-2} de superficie útil; y para plantas a un racimo de 20 a 25 plantas m^{-2} de superficie útil. Con trasplantes tardíos los arreglos anteriores permiten hacer 4, 4.5 y 5 ciclos de cultivo al año, respectivamente, obteniéndose un total de 144, 144 y 125 racimos al año por m^2 de parcela útil, contra los 60 a 70 que se pueden obtener con sistemas comerciales de baja densidad y alto número de racimos por planta.

Por otro lado, el tratamiento E4H-92R fue el más rendidor posiblemente debido a que presentó también el mayor número de frutos por m^2 , aunque sólo superó significativamente a cuatro tratamientos (Cuadro 7); sin que, en general, éstos fueran de menor peso promedio y diámetro, ya que sólo el tratamiento U3H-67R fue significativamente superior en estos caracteres.

Cuadro 7. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie anualizado en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Rendimiento (kg m ⁻² de invernadero)	Frutos		
		Número (por m ²)	Peso medio (g)	Diámetro (cm)
E4H, 3R, T a 30 días, 17.5 pl/m ² , 92 R/año (E4H-92R)	24.87 a ^z	363 a	68.5 b	4.92 b
E4H, 3R, T a 30 días, 15 pl/m ² , 78 R/año (E4H-78R)	22.65 ab	287 b	78.8 b	4.91 ab
E3H, 6R, T a 45 días, 7.5 pl/m ² , 60 R/año (E3H-60R)	22.63 ab	287 b	78.8 ab	4.99 ab
U3H, 6R, T único, 5.6 pl/m ² , 67 R/año (U3H-67R)	22.36 ab	270 ab	82.8 a	5.27 a
U4H, 3R, T único, 10 pl/m ² , 60 R/año (U4H-60R)	20.84 ab	275 ab	75.5 ab	5.11 ab
E3H, 6R, T a 45 días, 9.4 pl/m ² , 75 R/año (E3H-75R)	19.99 b	268 ab	76.6 ab	5.12 ab
E4H, 3R, T a 30 días, 12.5 pl/m ² , 65 R/año (E4H-65R)	19.55 b	277 b	70.4 b	4.94 ab
U2H, 15R, T único, 2.5 pl/m ² , 38 R/año (U2H-38R)	9.12 c	120 c	75.8 ab	5.12 ab
DMS	4.68	62	12.4	0.34

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante Pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

5.1.2. Comparación del índice de área foliar entre tratamientos

Se determinó el IAF de todos los tratamientos en febrero, marzo, abril y mayo de 2002, encontrándose diferencias significativas entre tratamientos en todos los meses (Cuadro 8).

Como se observa en el Cuadro 9, el tratamiento con mayor IAF fue el E4H-92R, que superó significativamente a todos los tratamientos en la medición de febrero, a cuatro en las de marzo y abril, y a tres en la de mayo. El tratamiento que mostró significativamente un menor IAF fue el U2H-38R con intervalo de 0.27 a 0.51 de IAF.

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de área foliar en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios			
		Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Bloques	3	0.03	0.34*	0.62*	0.34*
Tratamientos	7	1.78*	0.91*	1.16*	0.95*
Error	21	0.02	0.03	0.06	0.73
CV %		9.3	15.4	16.5	15.5
Media general		1.6	1.2	1.5	1.7

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

Cuadro 9. Índice de Área Foliar en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Índice de Área Foliar			
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
E4H, 3R, T a 30 días, 17.5 pl/m ² , 92 R/año (E4H-92R)	2.47 a ^z	1.73 a	2.21 a	2.36 a
E4H, 3R, T a 30 días, 15 pl/m ² , 78 R/año (E4H-78R)	2.08 b	1.42 ab	1.20 c	2.19 ab
E3H, 6R, T a 45 días, 7.5 pl/m ² , 60 R/año (E3H-60R)	1.06 d	1.40 ab	1.60 bc	1.98 abc
E3H, 6R, T a 45 días, 9.4 pl/m ² , 75 R/año (E3H-75R)	2.08 b	1.52 ab	1.78 abc	1.91 abc
E4H, 3R, T a 30 días, 12.5 pl/m ² , 65 R/año (E4H-65R)	1.91 b	1.27 b	1.47 bc	1.72 abc
U3H, 6R, T único, 5.6 pl/m ² , 67 R/año (U3H-67R)	1.05 d	0.85 c	1.62 abc	1.61 bc
U4H, 3R, T único, 10 pl/m ² , 60 R/año (U4H-60R)	1.43 c	0.67 cd	1.99 ab	1.34 cd
U2H, 15R, T único, 2.5 pl/m ² , 38 R/año (U2H-38R)	0.50 e	0.34 d	0.44 d	0.83 d
DMS	0.34	0.42	0.60	0.64

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

En general, se observó un mayor IAF en los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos, con un IAF mayor a 1.2, seguidos de los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos, y finalmente los tratamientos uniformes. Una vez establecidos los tratamientos con arreglos de doseles escaleriformes, se observó en ellos un mayor IAF que en los tratamientos uniformes, aún en el momento que estos estuvieron completamente desarrollados, por ejemplo en mayo (Cuadro 9). Es conveniente destacar que el IAF registrado en todos los tratamientos fue bajo (menor a 2.5), pues distintos autores han encontrado índices mayores a densidades parecidas (de 4 a 6.99) (Ucán, 1999; Jorge, 1999; Méndez, 2002). Esto pudo deberse a que la variedad utilizada no presenta un follaje tan abundante como otras, a que las condiciones ambientales no hayan favorecido el desarrollo adecuado del área foliar (bajas y altas temperaturas, problemas nutricionales, problemas fitosanitarios) y/o al manejo, principalmente las podas, ya que éstas se realizaron de inmediato, una vez que se cosechaban los racimos, hasta una hoja por debajo del racimo en proceso de maduración. Probablemente al método utilizado para estimar el IAF también influyó (ver apartado de materiales y métodos).

5.1.3. Comparación general del porcentaje de radiación interceptada en los distintos niveles del dosel de todos los tratamientos

Se midió la radiación incidente en la parte alta, intermedia y en la parte baja del dosel de todas las hileras en los distintos tratamientos. Al hacer la evaluación en términos de porcentaje de disminución de la radiación con respecto a la incidente encima del dosel, se tuvieron diferencias significativas en los niveles bajo e intermedio (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cuadrados medios del análisis de varianza en los niveles intermedio e inferior (% respecto al Flujo de Fotones Fotosintéticos del nivel superior) del dosel jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrado medios	
		Nivel intermedio	Nivel bajo
Bloques	3	41.31	28.05
Tratamientos	7	299.56*	79.61*
Error	21	39.75	20.69
CV (%)		27.4	20.0
Media General		67.4	77.3

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

En el nivel intermedio del dosel se registró una significativamente menor disminución de la radiación interceptada en el tratamiento uniforme despuntado a 15 racimos, sin registrarse diferencias significativas entre el resto de los tratamientos, aunque numéricamente se registró una menor disminución en los tratamientos escaleriformes que en los dos uniformes restantes. En el nivel inferior del dosel se mantuvo la misma tendencia que en el nivel intermedio registrando diferencias significativas, respecto a U2H-38R, sólo los tratamientos uniformes despuntados a tres y seis racimos, con 91 % y 92 % de disminución de la radiación, respecto a la interceptada en la parte superior (Cuadro 11).

Se observó que en el tratamiento uniforme despuntado a 15 racimos fue menor el porcentaje de disminución de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), seguramente a causa de su baja densidad ($2.5 \text{ plantas m}^{-2}$) y en consecuencia bajo IAF (0.83), lo cual permitió menos interferencia del dosel al paso del Flujo de Fotones Fotosintéticos (FFF). De los tratamientos restantes, a pesar de que entre ellos no hubo diferencias significativas, se observó que los tratamientos escaleriformes despuntados a

seis racimos y tres racimos en su versión de baja densidad (7.5 y 12.5 plantas m⁻², respectivamente), tuvieron una distribución más uniforme en cuanto a su porcentaje de disminución del FFF en los distintos niveles del dosel que el resto de los tratamientos, y por lo tanto una distribución más homogénea de la radiación.

Cuadro 11. Radiación en los distintos niveles del dosel en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapirgo, México. 2002.

Arreglo	Radiación (% de disminución)	
	Nivel intermedio	Nivel inferior
U2H, 15R, T único, 2.5 pl/m ² , 38 R/año (U2H-38R)	37 a ^z	74 a
E3H, 6R, T a 45 días, 7.5 pl/m ² , 60 R/año (E3H-60R)	70 b	84 ab
E4H, 3R, T a 30 días, 12.5 pl/m ² , 65 R/año (E4H-65R)	73 b	80 ab
E4H, 3R, T a 30 días, 17.5 pl/m ² , 92 R/año (E4H-92R)	75 b	85 ab
E4H, 3R, T a 30 días, 15 pl/m ² , 78 R/año (E4H-78R)	80 b	85 ab
E3H, 6R, T a 45 días, 9.4 pl/m ² , 75 R/año (E3H-75R)	79 b	87 ab
U3H, 6R, T único, 5.6 pl/m ² , 67 R/año (U3H-67R)	69 b	91 b
U4H, 3R, T único, 10 pl/m ² , 60 R/año (U4H-60R)	81 b	92 b
DMS	14.9	10.7

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

5.1.4. Discusión general de los resultados obtenidos

El tratamiento escaleriforme conducido a tres racimos y densidad alta (17.5 plantas y 92 racimos año⁻¹ m⁻² de invernadero) superó en rendimiento anual por unidad de superficie a los demás tratamientos. A pesar de no presentarse diferencias significativas, los tratamientos escaleriformes podados a tres racimos tendieron a rendir más que los podados a seis racimos y que los tratamientos uniformes, seguramente debido a la mayor

cantidad de racimos cosechados por unidad de superficie por año, sin una disminución significativa en el peso medio del fruto.

Como se observa en los cuadros 7, 9 y 11, los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos, densidades intermedia y alta (15 y 17.5 plantas m^{-2}), así como el tratamiento despuntado a seis racimos densidad baja (7.5 plantas m^{-2}), en promedio presentaron un mayor rendimiento, un mayor IAF y tuvieron una distribución más uniforme del FFF, lo cual muestra coincidencia con lo obtenido por Cockshull y Ho (1995), quienes en un cultivo establecido a densidad alta no sólo obtuvieron más fruto por metro cuadrado sino un IAF más alto, que interceptó más de la radiación solar incidente.

Como se señaló anteriormente, la principal razón del mayor rendimiento anual por unidad de superficie es el mayor número de racimos que se obtuvo con arreglos escaleriformes. Se han encontrado tendencias similares en trabajos experimentales de distintos autores trabajando con doseles uniformes y escaleriformes en jitomate. Jorge (1999) logró mayor rendimiento en un arreglo escaleriforme al alojar 45 racimos m^{-2} de parcela útil, por ciclo de cuatro meses de trasplante a cosecha. Con esta disposición en escalera de plantas, obtuvo un rendimiento de 25.5 kg m^{-2} , contra sólo 19.8 kg m^{-2} en los tratamientos testigo uniformes sin despunte y 6 plantas m^{-2} de parcela útil.

Los resultados obtenidos coinciden también con la tendencia encontrada por Méndez (2002), quien logró mayor rendimiento al obtener 49 racimos por m^2 de superficie útil, por ciclo de cuatro meses de trasplante a cosecha, mediante cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas a diferentes alturas formando un dosel escaleriforme,

contra sólo 36 racimos por m^2 por ciclo de cuatro meses de trasplante a cosecha en el tratamiento testigo con dosel uniforme y cuatro hileras de plantas manejadas a tres racimos. Con esa disposición escaleriforme de plantas obtuvo 27.3 kg m^{-2} de parcela útil contra solo 18.6 kg m^{-2} de parcela útil en el testigo uniforme por ciclo de cuatro meses. También Vázquez (2002) obtuvo mayor rendimiento (29.3 kg m^{-2} de parcela útil) al obtener de un sistema escaleriforme 48 racimos m^{-2} de parcela útil, contra 36 kg m^{-2} de parcela útil del testigo uniforme con 6 plantas m^{-2} despuntadas a seis racimos (21.3 kg m^{-2} de parcela útil).

Estos resultados confirman en parte lo planteado por varios autores en el sentido de que es posible incrementar el rendimiento mejorando la intercepción y distribución de la radiación en espacio y tiempo, manipulando la densidad y distribución de plantas, y mediante imbricaciones (Harper *et al.*, 1979; Papadopoulos y Ormrod, 1990), con arreglos de plantas que permitan mejorar la distribución de la radiación solar (directa y difusa) en cada una de las hojas del dosel, permitiendo un incremento en la Tasa de Asimilación Neta (TAN) o un incremento en el IAF (sin una disminución importante de la TAN) que se refleje en la obtención de más racimos por unidad de superficie y tiempo, sin detrimento significativo del número de frutos por racimo ni del peso medio de éstos, para así incrementar el rendimiento y la productividad anual (Brougham, 1960; Verhagen *et al.*, 1963; Shibles y Weber, 1966; Loomis y Williams, 1970; Harper *et al.*, 1979; Gardner *et al.*, 1985; Charles Edwards *et al.*, 1986; Papadopoulos y Ormrod, 1990; Sánchez *et al.*, 1999a).

Los tratamientos uniformes despuntados a tres, seis y 15 racimos, el tratamiento escaleriforme despuntado a seis racimos en alta densidad ($9.4 \text{ plantas m}^{-2}$ y $74 \text{ racimos m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y el tratamiento escaleriforme despuntado a tres racimos en densidad baja

(12.5 plantas m^{-2} y 65 racimos m^{-2} año^{-1}) presentaron un menor rendimiento, lo cual probablemente se deba a que en estas densidades de población y niveles de despunte se esté en el límite de incrementar el número de plantas por unidad de superficie, sin afectar el rendimiento, en los dos primeros casos; y en el tercer caso, quizás debido a que no se ha llegado a ese límite de densidad y despunte. Al respecto, algunos autores (Sánchez y Corona, 1994; Jorge, 1999; Méndez, 2002) indican que para doseles uniformes el límite se encuentra alrededor de 36 racimos m^{-2} por ciclo de cinco meses, pues sobrepasar este límite implica una reducción proporcional en el número de frutos por racimo y/o en el peso medio de frutos, permaneciendo relativamente constante el rendimiento por unidad de superficie. Otros autores encontraron que los espacios reducidos pueden tener un efecto perjudicial en el amarre de fruto, debido a un suministro inadecuado de fotosintatos como efecto del sombreamiento. Ferry y Janick (1970) encontraron que el número de entrenudos, el número de racimos y el número de flores por planta, así como el porcentaje de frutos amarrados, disminuyó significativamente conforme la densidad de población aumentaba. De manera similar, se han reportado aumentos en el total de flores por planta y porcentaje de frutos amarrados, a las densidades más bajas en los tomates de invernadero (Rodríguez y Lambeth, 1975).

Los resultados obtenidos, sobre todo con los arreglos escaleriformes despuntados a tres racimos, apoyan la hipótesis planteada en el presente trabajo, en el sentido de que los arreglos escaleriformes formados con hileras de plantas de distinta edad y orientadas en dirección este-oeste producen mayor rendimiento anual por unidad de superficie que los arreglos uniformes formados con hileras de plantas de la misma edad, y que el sistema

de cultivo de doseles escaleriformes, basado en hileras de plantas de distinta edad orientado en dirección este-oeste intercepta más eficientemente la RFA incidente que el sistema uniforme basado en hileras de plantas de la misma edad. En las figuras 14 a 19 se presenta el aspecto de los tratamientos estudiados.

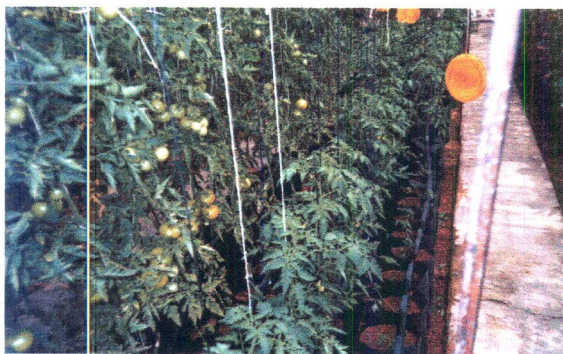


Figura 14. Arreglo escaleriforme, tres hileras, despuntado a seis racimos.



Figura 15. Arreglo escaleriforme, cuatro hileras, despuntado a tres racimos.

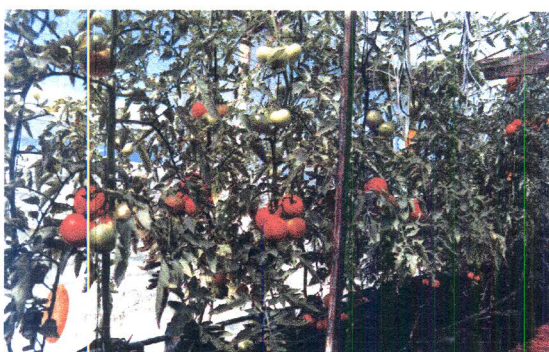


Figura 16. Arreglo uniforme a seis racimos.



Figura 17. Arreglo uniforme a tres racimos.



Figura 18. Arreglo uniforme, quince racimos.



Figura 19. Imágenes con síntomas de virosis en plantas de jitomate, despuntadas a tres y seis racimos

También se corroboran las hipótesis de que los arreglos escaleriformes, formados por hileras de plantas despuntadas a tres racimos por planta, producen mayor rendimiento anual por unidad de superficie que los arreglos escaleriformes formados por hileras de plantas despuntadas a seis racimos, y que dentro de ciertos límites, a mayor densidad de población se incrementa el rendimiento por unidad de superficie y tiempo.

Es conveniente recalcar que los rendimientos obtenidos en la presente investigación resultaron inferiores a los obtenidos a nivel experimental por otros autores (Jorge, 1999; Méndez, 2002; Vázquez, 2002), pues se tuvo que convivir con producción comercial en el mismo invernadero, lo cual propició que el cultivo fuera atacado por elevadas poblaciones de mosquita blanca durante todo su ciclo, difícil de controlar, presentando síntomas de incidencia de enfermedades virosas; motivado también por presencia de altas temperaturas (hasta 42° C) por una deficiente ventilación de los invernaderos, bajas temperaturas (hasta 2° C) en los momentos en que, por falta de recursos económicos, la empresa no contaba con gas para el sistema de calefacción, y, por la misma causa, falta de los fertilizantes en forma oportuna, pasando varios días el cultivo sin fósforo, calcio o micronutrientes.

5.2. Comparación del rendimiento e índice de área foliar entre ciclos de los distintos tratamientos

Con la intención de comparar el efecto en el rendimiento y sus componentes de los tratamientos con ciclos escaleriformes que coincidieron en el tiempo con los ciclos de

los tratamientos uniformes, se realizaron los cálculos para extrapolar el rendimiento a kg por m² de invernadero y se realizaron el análisis de varianza y comparaciones de medias.

Partiendo del supuesto de que, al coincidir en el tiempo y en su manejo: la primera hilera (primer ciclo) de los tratamientos escaleriformes, con el primer ciclo de los tratamientos uniformes; la cuarta hilera o cuarto ciclo (la cual se transplantó al sur y se fue moviendo cada 45 días hasta terminar su ciclo ubicada al norte) de los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos por planta se comparó con el segundo ciclo del tratamiento uniforme despuntado a seis racimos por planta; al igual que la quinta hilera o quinto ciclo (la cual se transplantó al sur y se fue moviendo cada 30 días hasta terminar su ciclo ubicada al norte) de los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos por planta, se comparó con el segundo ciclo del tratamiento uniforme despuntado a tres racimos por planta. Es posible hacer esta comparación, para evaluar el potencial de los tratamientos a base de doseles escaleriformes respecto a los tratamientos a base de doseles uniformes, establecidos en condiciones ambientales y de manejo relativamente similares, ya que al haber variación de éstas en el transcurso de un año, cabe la posibilidad de que los resultados se vean afectados por factores difíciles de evaluar, por no coincidir los tratamientos en el tiempo (tales como la Radiación Fotosintéticamente Activa, las variaciones extremas de temperatura, las variaciones de humedad relativa, la incidencia de plagas y enfermedades, el manejo de la nutrición, la frecuencia y duración de los riegos, la frecuencia y momento de las podas, el tutorio, etc.).

5.2.1. Comparación entre la hilera del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, con el primer ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos

Dado que la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes podados a seis racimos se sembró y transplantó en la misma fecha que el primer ciclo del tratamiento uniforme con trasplante de todas las hileras en la misma fecha y conducido a seis racimos (Figura 22), se compararon entre sí, mostrando el análisis de varianza que hubo diferencias significativas entre tratamientos para las variables rendimiento y número de frutos por unidad de superficie, sin presentar diferencias significativas para peso y diámetro de fruto (Cuadro 12). Para hacer la comparación del rendimiento y número de frutos por planta se tradujo a rendimiento y número de frutos por unidad de superficie.

Cuadro 12. Cuadrados medios y del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera de plantas del ciclo uno de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, comparado con el primer ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios			
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos	Diámetro de frutos
Bloques	3	4.83	189.92	66.71	0.0286
Tratamientos	2	72.65*	8839.99*	28.82	0.0323
Error	6	6.59	691.25	27.89	0.0086
CV %		16.40	14.17	6.39	1.75
Media general		15.65	186	82.67	5.29

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

En el tratamiento escaleriforme E3H-75R (tres hileras con intervalo de trasplante de 45 días, podado a seis racimos y 9.5 plantas m⁻² y 74 racimos anuales), se obtuvo

significativamente mayor rendimiento y número de frutos que en el tratamiento similar al anterior pero con 7.5 plantas m⁻², y que el tratamiento uniforme despuntado a seis racimos (Cuadro 13).

Cuadro 13. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie en la hilera del ciclo uno de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, comparado con el primer ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Rendimiento (kg m ⁻² de invernadero)	Frutos		
		Número (por m ²)	Peso (g)	Diámetro (cm)
E3H, 6R, T a 45 días, 9.4 pl/m ² , 75 R/año (E3H-75R)	20.3 a ^z	236 a	85.7 a	5.4 a
E3H, 6R, T a 45 días, 7.5 pl/m ² , 60 R/año (E3H-60R)	14.7 b	177 b	81.8 a	5.2 a
U3H, 6R, T único, 5.6 pl/m ² , 67 R/año (U3H-67R)	11.9 b	143 b	80.6 a	5.2 a
DMS	5.6	57	11.5	0.20

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

5.2.2. Comparación entre la hilera del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos

Puesto que la hilera del cuarto ciclo (transplantada al sur, recorriéndose al centro y con término de cosecha al norte) de los tratamientos escaleriformes a seis racimos se sembró y trasplantó al mismo tiempo que el segundo ciclo del tratamiento uniforme despuntado a seis racimos (Figura 20), se comparó su rendimiento y componentes, resultando diferencias significativas entre tratamientos en las variables rendimiento y número de

frutos, sin presentar diferencias significativas en las variables diámetro y peso de fruto (Cuadro 14).

Cuadro 14. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios			
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos	Diámetro de frutos
Bloques	3	6.31	1216.03	62.12	0.06
Tratamientos	2	42.37*	5713.28*	44.31	0.09
Error	6	4.90	932.70	65.22	0.15
CV %		16.02	18.20	9.77	7.56
Media general		13.81	168	82.69	5.19

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

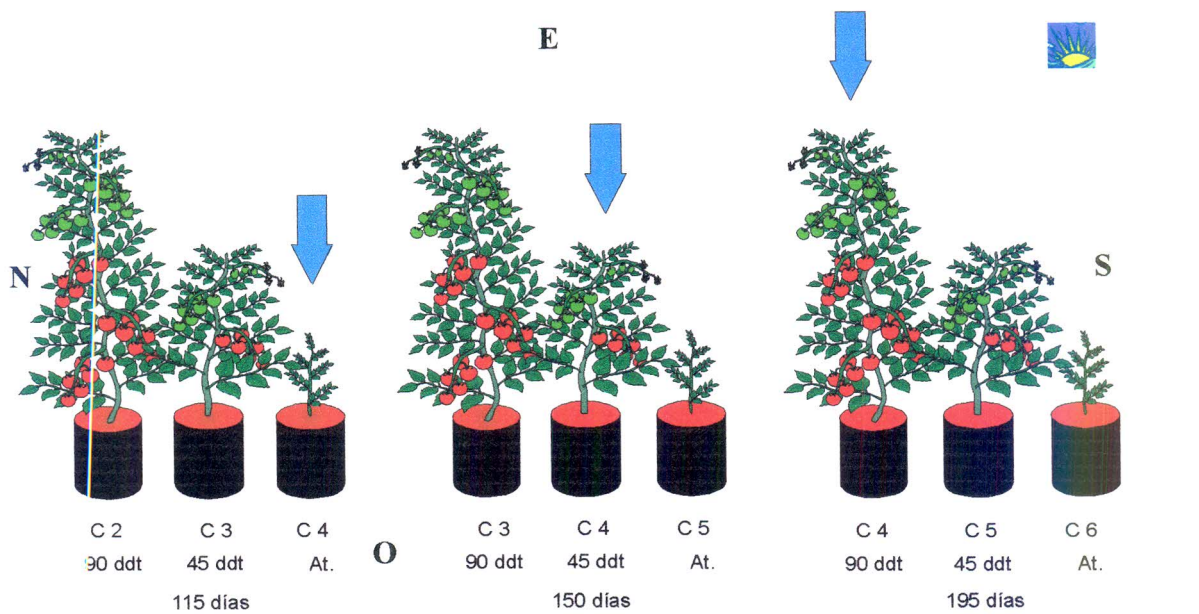


Figura 20. Esquema mostrando la ubicación del cuarto ciclo, indicado por la flecha, durante el desarrollo de los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos.
C=ciclo, ddt=días después de trasplante, At.=al trasplante, días=días transcurridos a partir del trasplante del primer ciclo

En el Cuadro 15 se observa que en la hilera del cuarto ciclo del tratamiento escaleriforme a tres hileras (con intervalos de transplantes de 45 días, despuntado a seis racimos y 7.5 plantas m⁻²) se obtuvo mayor rendimiento que la hilera del cuarto ciclo del tratamiento similar pero a una densidad de 9.4 plantas m⁻², y que el tratamiento uniforme despuntado a seis racimos, que rindió significativamente menos; a pesar de que el tratamiento con 9.4 plantas m⁻² produjo significativamente que los otros tratamientos, los cuales fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 15. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie por ciclo en la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos, comparado con el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponia bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Rendimiento (kg m ⁻² de invernadero)	Frutos		
		Número (por m ²)	Peso (g)	Diámetro (cm)
E3H, 6R, T a 45 días, 7.5 pl/m ² , 60 R/año (E3H-60R)	17.1 a ^z	177 b	85.3 a	5.0 a
E3H, 6R, T a 45 días, 9.4 pl/m ² , 75 R/año (E3H-75R)	13.7 ab	236 a	79.0 a	5.3 a
U3H, 6R, T único, 5.6 pl/m ² , 68 R/año (U3H-68R)	10.6 b	143 b	83.8 a	5.3 a
DMS	4.8	57	17.5	0.85

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

Se comparó el IAF de la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos, con el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos, por establecerse en la misma fecha, con diferencias en el IAF, en los meses de marzo y abril, pero no en febrero y mayo (Cuadro 16).

Cuadro 16. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de área foliar de la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos, en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios			
		Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Bloques	3	0.17	0.38	0.43	0.27
Tratamientos	2	0.03	2.88*	1.79*	0.39
Error	6	0.18	0.06	0.11	0.19
CV %		41.27	14.31	15.45	33.33
Media general		1.03	1.78	2.138	1.29

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

En todos los meses evaluados se encontró un mayor IAF en la hilera cuatro de los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos que en el segundo ciclo del tratamiento uniforme despuntado a seis racimos, aunque la diferencia sólo fue estadísticamente significativa en los meses de Marzo y Abril (Cuadro 17).

Cuadro 17. Índice de área foliar de la hilera de plantas del cuarto ciclo de los tratamientos escaleriformes a seis racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Índice de Área Foliar			
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
E3H, 6R, T a 45 días, 7.5 pl/m ² , 60 R/año (E3H-60R)	1.13 a ^z	2.25 a	2.63 a	1.64 a
E3H, 6R, T a 45 días, 9.4 pl/m ² , 75 R/año (E3H-75R)	0.99 a	2.29 a	2.41 a	1.21 a
U3H, 6R, T único, 5.6 pl/m ² , 67 R/año (U3H-67R)	1.05 a	0.85 b	1.62 b	1.61 a
DMS	0.92	0.55	0.72	0.94

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante PI = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

Respecto a la comparación entre las hileras de los arreglos escaleriformes despuntados a seis racimos que coincidieron en el tiempo con el primero y segundo ciclo del tratamiento en doseles uniformes despuntado a seis racimos, los resultados obtenidos (cuadros 12 a 17) muestran que fue mayor el rendimiento en la hilera de plantas el primer ciclo de los tratamientos con doseles escaleriformes a alta densidad (Cuadro 15), seguramente debido a la mayor cantidad de racimos cosechados (74 m^{-2} , contra 68 m^{-2} del arreglo uniforme) y a que durante buena parte de su desarrollo no tuvo competencia por luz de hileras de plantas adyacentes, pues durante 45 días después de su trasplante no hubo ninguna hilera adicional. Además, el resto del tiempo durante su desarrollo, en las hileras siguientes las plantas eran más pequeñas, por lo que seguramente se presentó una mejor distribución de la RFA en todo el dosel. La hilera de plantas del cuarto ciclo mantuvo tendencia similar, pero con mayor rendimiento para el tratamiento escaleriforme a seis racimos de menor densidad, $7.5 \text{ plantas m}^{-2}$ de invernadero (Cuadro 15) reforzado por una tendencia parecida en el IAF que presentaron (Cuadro 17). La hilera del cuarto ciclo rindió menos que la del primer ciclo en ambos tratamientos, seguramente a causa de que, durante el desarrollo de la hilera de plantas del cuarto ciclo, ya se encontraba completamente establecido el tratamiento, por lo que hubo mayor competencia por luz y probablemente una distribución menos eficiente de la misma, aunado a que parte de su crecimiento transcurrió durante el invierno (diciembre a junio), por lo que sufrió efectos de temperatura relativamente bajas.

Es pertinente señalar que se registró un descenso del IAF de abril a mayo, debido principalmente al recorrido que se hizo de las hileras, eliminando la hilera con plantas de

mayor tamaño que terminaron su ciclo, y a la poda de las hojas por encima de los racimos cosechados y por debajo del racimo en proceso de maduración.

5.2.3. Comparación entre la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos, con el primer ciclo del tratamiento uniforme despuntado a tres racimos

Al comparar los resultados de la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a cuatro hileras (con intervalos entre trasplantes de 30 días, despuntados a tres racimos y distintas densidades de plantación) con el tratamiento uniforme a tres racimos (Figura 23), se encontraron diferencias significativas para la variable rendimiento, pero no para número, diámetro y peso de fruto (Cuadro 18).

Cuadro 18. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos, y el primer ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios			
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos	Diámetro de frutos
Bloques	3	19.48	40314.84	118.97	0.11
Tratamientos	3	39.34*	33888.28	99.88	0.09
Error	9	5.30	35820.49	62.58	0.06
CV %		14.83	74.22	10.01	4.88
Media general		15.52	225	79.0	5.2

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

En la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos densidad alta e intermedia (17.5 y 15 plantas m⁻², respectivamente) se obtuvo mayor

rendimiento que en la hilera de plantas del primer ciclo del tratamiento escaleriforme a tres racimos densidad baja (12.5 plantas m⁻²) y que el tratamiento uniforme a tres racimos (Cuadro 19), aunque sólo el último fue superado significativamente por los dos primeros, tanto en rendimiento como en número de frutos por m².

Cuadro 19. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie por ciclo en la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos, y el primer ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Rendimiento (kg m ⁻² de invernadero)	Frutos		
		Número (por m ²)	Peso (g)	Diámetro (cm)
E4H, 3R, T a 30 días, 17.5 pl/m ² , 92 R/año (E4H-92R)	18.4 a ^z	284 a	72.3 a	5.0 a
E4H, 3R, T a 30 días, 15 pl/m ² , 78 R/año (E4H-78R)	17.6 a	225 b	79.1 a	5.2 a
E4H, 3R, T a 30 días, 12.5 pl/m ² , 65 R/año (E4H-65R)	14.5 ab	169 c	84.3 a	5.3 a
U4H, 3R, T único, 10 pl/m ² , 60 R/año (U4H-60R)	11.6 b	147 c	80.3 a	5.3 a
DMS	5.08	41	17.5	0.56

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

5.2.4. Comparación entre la hilera de plantas del quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos con el segundo ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos

Puesto que la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes fueron establecidos en las mismas fechas que el tratamiento uniforme y todo este grupo de tratamientos se despuntó a tres racimos (Figura 21), se compararon los resultados

obtenidos, mismos que mostraron diferencias significativas en el número de frutos, pero no en el rendimiento ni en diámetro y peso de fruto (Cuadro 20).

Cuadro 20. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en la hilera 5 (sur-norte) de los tratamientos escaleriformes a tres racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios			
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos	Diámetro de frutos
Bloques	3	1.45	302.50	23.65	0.05
Tratamientos	3	24.32	5643.13*	81.72	0.09
Error	9	7.11	940.82	84.71	0.10
CV %		22.52	17.37	13.54	6.30
Media general		11.84	176	67.96	4.94

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

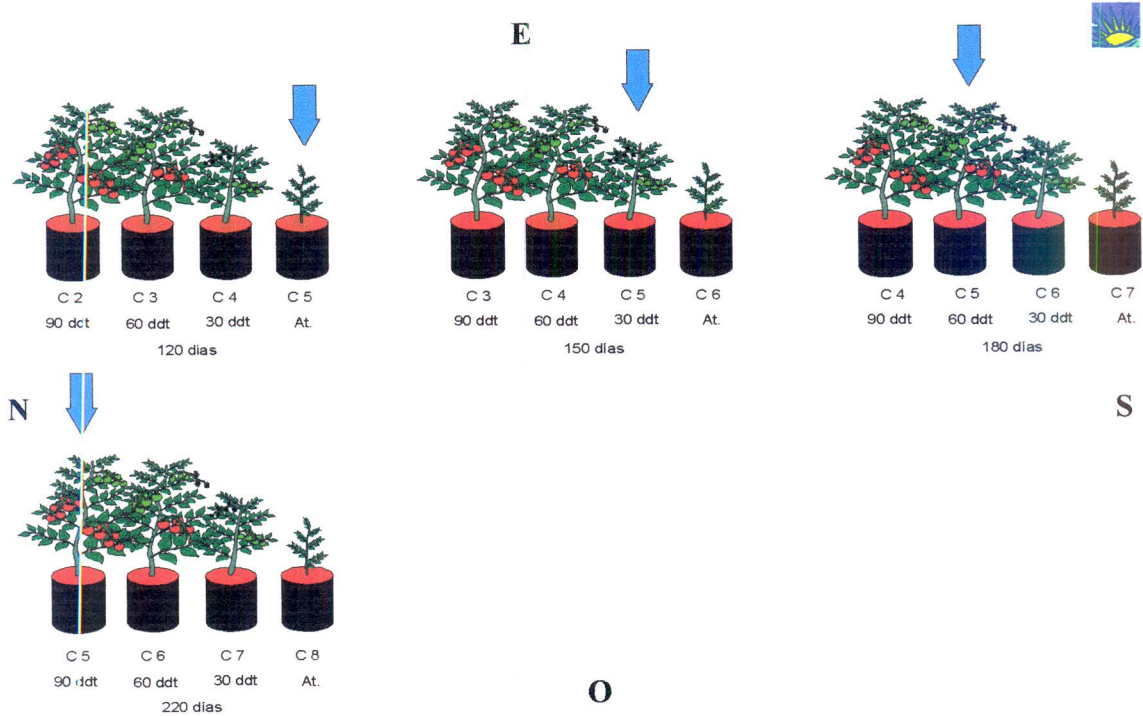


Figura 21. Ubicación durante su ciclo de desarrollo de la hilera de plantas el quinto ciclo en los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos

C=ciclo, ddt=días después de trasplante, At.=al trasplante, días=días transcurridos a partir del trasplante del primer ciclo

Como se observa en el Cuadro 21, en la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a cuatro hileras, con intervalo de transplante a 30 días y despuntados a 3 racimos (12.5, 15 y 17.5 plantas m^{-2} , respectivamente) se obtuvo significativamente un mayor número de frutos solo que en el tratamiento uniforme con 10 plantas m^{-2} ; esto se reflejó en el rendimiento, pues en la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes se obtuvo un mayor rendimiento (10.6 a 14.3 kg m^{-2} de invernadero) que en el tratamiento uniforme (con 9.1 kg m^{-2} de invernadero), sin que las diferencias fueran significativas.

Cuadro 21. Rendimiento y sus componentes por unidad de superficie por ciclo en la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos y el segundo ciclo del tratamiento uniforme despuntado a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Rendimiento (kg m^{-2} de invernadero)	Frutos		
		Número (por m^2)	Peso (g)	Diámetro (cm)
E4H, 3R, T a 30 días, 17.5 pl/ m^2 , 92 R/año (E4H-92R)	14.4 a ^z	216.6 a	67.7 a	5.1 a
E4H, 3R, T a 30 días, 15 pl/ m^2 , 78 R/año (E4H-78R)	13.3 a	189.4 ab	70.4 a	5.0 a
E4H, 3R, T a 30 días, 12.5 pl/ m^2 , 65 R/año (E4H-65R)	10.6 a	173.4 ab	61.7 a	4.7 a
U4H, 3R, T único, 10 pl/ m^2 , 60 R/año (U4H-60R)	9.1 a	127.0 b	72.0 a	5.0 a
DMS	5.9	67.7	20.3	0.41

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

Al establecer una comparación del índice de área foliar de la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes (conducidos a cuatro hileras y despuntados a tres racimos) con el segundo ciclo del tratamiento uniforme (cuatro hileras a tres

racimos) se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los meses de marzo, abril y mayo (Cuadro 22).

Cuadro 22. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de área foliar de la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos y segundo ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2003.

FV	GL	Cuadrados medios		
		Marzo	Abril	Mayo
Bloques	3	1.16*	0.14	0.78*
Tratamientos	3	1.47*	4.90*	3.00*
Error	9	0.12	0.15	0.10
CV %		24.2	12.11	14.72
Media general		1.41	3.21	2.17

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

Cuadro 23. Índice de área foliar de la hilera hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes a tres racimos y segundo ciclo del tratamiento uniforme a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Arreglo	Índice de Área Foliar		
	Marzo	Abril	Mayo
E4H, 3R, T a 30 días, 17.5 pl/m ² , 92 R/año (E4H-92R)	1.77 a ^z	4.43 a	3.26 a
E4H, 3R, T a 30 días, 15 pl/m ² , 78 R/año (E4H-78R)	1.95 a	3.38 b	2.29 b
E4H, 3R, T a 30 días, 12.5 pl/m ² , 65 R/año (E4H-65R)	1.30 ab	3.28 b	1.92 b
U4H, 3R, T único, 10 pl/m ² , 60 R/año (U4H-60R)	0.67 b	1.99 c	1.34 c
DMS	0.75	0.86	0.70

E = escaleriforme, U = uniforme, H = hileras, R = racimos, T = transplante pl = plantas

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

En general, se registró un mayor IAF en la hilera de plantas el quinto ciclo de los tratamientos escaleriformes que en el segundo ciclo del tratamiento uniforme, siendo

éste mayor (1.77 en marzo, 4.43 en abril y 3.26 en mayo) en la hilera de plantas el quinto ciclo del tratamiento a mayor densidad (17.5 plantas m⁻²), mismo que superó a todos los tratamientos en Abril y Mayo, y en Marzo solo al testigo uniforme, que en general también fue superado significativamente por los otros dos tratamientos escaleriformes, excepto por el E4H-78R en el mes de Marzo (Cuadro 23).

Respecto a la comparación entre tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos, de algunas de sus hileras que coincidieron en el tiempo con el primero y segundo ciclo del tratamiento con dosel uniforme despuntado a tres racimos, los resultados obtenidos (cuadros 18 al 23) muestran que fue mayor el rendimiento en la hilera de plantas del primer ciclo de los tratamientos con doseles escaleriformes (Cuadro 19), debido seguramente a la mayor cantidad de racimos cosechados (65-92 racimos m⁻² contra 60 racimos m⁻² del arreglo uniforme) en la misma y a que durante la mayor parte de su desarrollo no tuvo competencia por luz, pues 30 días después de su transplante no hubo ninguna hilera adicional; además el resto del tiempo durante su desarrollo, en las hileras siguientes las plantas eran más pequeñas, por lo que se presentó probablemente una buena distribución de la RFA en todo el dosel de las plantas de dicha hilera. La hilera de plantas del quinto ciclo mantuvo una tendencia similar (Cuadro 21), reforzado por un comportamiento parecido en el IAF que presentaron (Cuadro 23), aunque dicha hilera rindió menos que la del primer ciclo, seguramente a causa de que durante el desarrollo de la hilera de plantas del quinto ciclo, el tratamiento ya se encontraba completamente establecido, por lo que hubo mayor competencia por luz y una distribución menos eficiente de la misma, aunado a que parte de su crecimiento transcurrió durante el invierno (diciembre-abril).

Como se puede observar en los cuadros del 12 al 23, en los cuales se muestra el análisis de varianza y las pruebas de Tukey para comparar rendimiento e índice de área foliar de las hileras de los ciclos escaleriformes y uniformes que coincidieron en el tiempo, la tendencia general muestra que los arreglos escaleriformes superaron tanto en rendimiento por unidad de superficie como en índice de área foliar a los arreglos uniformes, lo cual confirma la tendencia observada al analizar en su conjunto todos los tratamientos. Además de coincidir con resultados similares de otros autores, lo anterior permite indicar que, mediante doseles escaleriformes se mejora la distribución de la RFA verticalmente en el dosel, además de que permite acomodar una mayor cantidad de racimos por metro cuadrado, aspectos fundamentales para incrementar el rendimiento.

5.3. Comparación del rendimiento entre las hileras dentro de cada tratamiento

Con la intención de comparar el efecto en el rendimiento y sus componentes entre hileras del mismo tratamiento (entendidas éstas como ciclos de cultivo diferentes), se realizaron los cálculos para convertir a rendimiento en kg por m² de invernadero por ciclo y se realizaron el análisis de varianza y comparación de medias. Bajo el supuesto de que, al no coincidir en el tiempo y condiciones ambientales (particularmente condiciones de luz y temperatura por la época del año en que se establecieron y por su ubicación como hilera dentro de cada tina) se podían presentar diferencias, ya que al haber variación de éstas en el transcurso de un año, cabía la posibilidad de que los resultados se vieran afectados por factores difíciles de evaluar por no coincidir los ciclos en el tiempo (como la RFA, la temperatura, la humedad relativa, la incidencia de plagas y enfermedades, la nutrición, el riego, las podas y tutoreo, etc.)

5.3.1. Comparación del rendimiento entre ciclos dentro de los tratamientos escaleriformes de tres hileras despuntados a seis racimos

Al comparar el efecto en el rendimiento de los distintos ciclos (considerando a las hileras como tales) de los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos, tres hileras transplantadas a intervalos de 45 días (Figura 22), se registraron diferencias significativas entre ciclos de ambos tratamientos ($7.5 \text{ plantas m}^{-2}$ y $9.4 \text{ plantas m}^{-2}$) (Cuadro 24).

En el tratamiento a densidad baja ($7.5 \text{ plantas m}^{-2}$), se obtuvo mayor rendimiento en el tercer ciclo de cultivo que en el resto, aunque éste no superó significativamente al primer ciclo. En el tratamiento a densidad alta ($9.4 \text{ plantas m}^{-2}$) el ciclo que mostró significativamente un mayor rendimiento fue el primero, con 20.302 kg m^{-2} por ciclo de cinco meses (Cuadro 25).

Los resultados obtenidos (Cuadro 25) muestran que en el tratamiento escaleriforme despuntado a seis racimos con $9.4 \text{ plantas m}^{-2}$, en el primer ciclo se obtuvo un mayor rendimiento (20.3 kg m^{-2} de invernadero por ciclo), posiblemente debido a que durante la mayor parte de su desarrollo no tuvo competencia por luz por hileras adyacentes de ciclos de cultivo posteriores, pues durante 45 días después de su transplante no hubo ninguna hilera adicional. Además, el resto del tiempo durante su desarrollo, en las hileras siguientes las plantas eran más pequeñas, por lo que se presentó una buena distribución de la RFA en todo el dosel de dicha hilera. No ocurrió así en el tratamiento escaleriforme despuntado a seis racimos con $7.5 \text{ plantas m}^{-2}$ (Cuadro 25), ya que la hilera

con mayor rendimiento fue la del tercer ciclo de cultivo (la cual se trasplantó en el lado sur, se movió a los 45 días al centro y terminó su ciclo ubicada al norte de la tina), lo cual probablemente se debió a que durante su desarrollo no hubo condiciones ambientales tan adversas como el resto de las hileras, establecidas posteriormente.

Cuadro 24. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento y sus componentes entre hileras de los tratamientos escaleriformes, tres hileras a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios	
		Tratamiento 1	Tratamiento 2
Bloques	3	1.32	7.08
Hileras	3	42.78*	70.16*
Error	9	3.13	5.62
CV %		13.22	16.62
Media general		13.37	14.27

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.
 Tratamiento 1 = 7.5 plantas m⁻²; Tratamiento 2 = 9.4 plantas m⁻²

Cuadro 25. Medias de rendimiento por unidad de superficie (kg m⁻²) entre hileras de los tratamientos escaleriformes, tres hileras a seis racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Ciclo	Periodo de establecimiento	Rendimiento	
		Tratamiento 1	Tratamiento 2
Hilera 1 (norte)	Julio-diciembre	14.71 ab ^z	20.30 a
Hilera 2 (centro-norte)	Septiembre-enero	9.5 c	10.90 b
Hilera 3 (sur-centro-norte)	Octubre-mayo	17.10 a	13.75 b
Hilera 4 (sur-centro-norte)	Diciembre-junio	12.17 bc	12.12 b
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)		3.9	5.2

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

Tratamiento 1 = 7.5 plantas m⁻²; Tratamiento 2 = 9.4 plantas m⁻²



Figura 22. Ubicación durante un año de los ciclos de cultivo, en los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos.

C=ciclo, ddt=días después de trasplante, At.=al trasplante, días=días transcurridos a partir del trasplante del primer ciclo

5.3.2. Comparación del rendimiento entre hileras de los tratamientos con arreglos escaleriformes y cuatro hileras a tres racimos

Al comparar el efecto en el rendimiento de los ciclos de cultivo correspondientes a los tratamientos escaleriformes, despuntados a tres racimos, con cuatro hileras trasplantadas a intervalos de 30 días entre sí (Figura 23), se obtuvieron diferencias significativas entre ciclos en los tratamientos establecidos a densidades baja e intermedia (12.5 y 15 plantas m^{-2} , respectivamente), sin encontrarse diferencias significativas en el efecto en rendimiento entre ciclos del tratamiento establecido a alta densidad (17.5 plantas m^{-2}) (Cuadro 26).

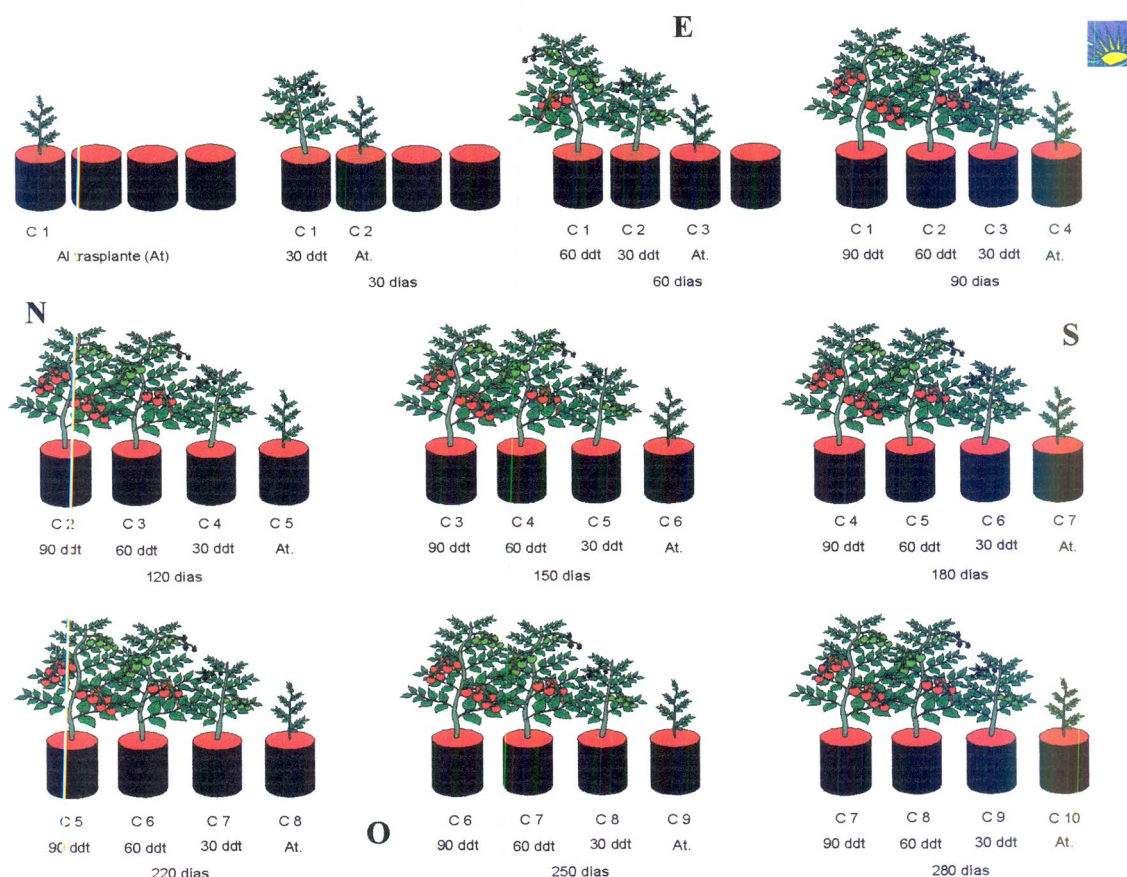


Figura 23. Ubicación de las hileras durante un año en los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos.

C=ciclo, ddt=días después de trasplante, At.=al trasplante, días=días transcurridos a partir del trasplante del primer ciclo

Cuadro 26. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento entre ciclos de cultivo de los tratamientos escaleriformes, cuatro hileras a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	GL	Cuadrados medios		
		Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
Bloques	3	24.40*	2.61	31.42
Hileras	4	25.67*	40.10*	41.06
Error	12	3.67	11.51	15.40
CV %		15.95	23.22	26.23
Media general		12.01	14.61	14.96

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

En los tratamientos escaleriformes con cuatro hileras a intervalo entre trasplantes de 30 días, despuntados a tres racimos, se obtuvo un mayor rendimiento en el primer ciclo de cultivo. En el tratamiento a baja densidad (12.5 plantas m⁻²) el cuarto ciclo y el primero no presentaron diferencias significativas entre sí (con 14.3 y 14.5 kg m⁻², respectivamente), obteniéndose en ambas mayor rendimiento que en el resto de los ciclos de cultivo de dicho tratamiento, aunque sólo el primer ciclo superó significativamente al tercero. En el tratamiento con alta densidad (17.5 plantas m⁻²), aunque no hubo diferencias significativas, las hileras con mayor rendimiento también fueron las ubicadas en la parte norte (Cuadro 27).

Con los resultados obtenidos al comparar los ciclos de cultivo de los tratamientos despuntados a tres racimos, se presentó un mayor rendimiento en el primer ciclo que se trasplantó y permaneció en la parte norte de la tina (14.4 a 18.4 kg m⁻² de invernadero por ciclo), posiblemente por las mismas causas que en los tratamientos escaleriformes despuntados a seis racimos, ya que durante la mayor parte de su desarrollo no tuvo una marcada competencia por luz, pues durante 30 días después de su transplante no hubo

ninguna hilera adicional y el resto del tiempo durante su desarrollo, en las hileras siguientes las plantas eran más pequeñas, por lo que se presentó una buena distribución de la RFA en todo el dosel de dicha hilera.

Cuadro 27. Rendimiento por unidad de superficie (kg m^{-2}) entre ciclos de cultivo de los tratamientos escaleriformes, cuatro hileras a tres racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Ciclo	Periodo de establecimiento	Rendimiento		
		Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5
Primer ciclo	Julio-noviembre	14.46 a ^z	17.64 a	18.42 a
Segundo ciclo	Agosto-diciembre	12.30 ab	16.50 ab	17.66 a
Tercer ciclo	Septiembre-febrero	8.47 b	9.72 b	10.58 a
Cuarto ciclo	Octubre-marzo	14.27 a	15.92 ab	14.79 a
Quinto ciclo	Diciembre-abril	10.60 ab	13.29 ab	13.36 a
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)		4.32	7.64	8.84

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

Tratamiento 3 = 12.5 plantas m^{-2} ; Tratamiento 4 = 15 plantas m^{-2} ; Tratamiento 5 = 18 plantas m^{-2} .

El hecho de que el tercer ciclo de cultivo haya presentado un menor rendimiento en todos los tratamientos probablemente se debió a que, por su época de establecimiento (septiembre-febrero), los factores ambientales, particularmente las bajas temperaturas, afectaron más a las plantas durante etapas fenológicas críticas, como la floración y el crecimiento del fruto (Ho, 1996; Jones, 1999). Estos efectos que se podrían minimizar o eliminar contando con invernaderos bien equipados o en localidades con mejor clima invernal.

5.3.3. Comparación del rendimiento entre hileras de los tratamientos uniformes despuntados: a seis, tres a 15 racimos

No se encontraron diferencias significativas entre hileras en los tratamientos uniformes: tres hileras despuntado a seis racimos, cuatro hileras despuntadas a tres racimos y dos hileras despuntadas a 15 racimos (Cuadro 28). Se presentaron diferencias significativas entre bloques, lo que indica cierto grado de heterogeneidad en las condiciones ambientales, a pesar de haberse establecido el experimento en un invernadero, lo cual indica que el uso de este diseño experimental se justifica aún bajo invernadero.

Cuadro 28. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento entre hileras de los tratamientos uniforme a seis racimos, uniforme a tres racimos, y uniforme a quince racimos en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

FV	Tratamiento 6		Tratamiento 7		Tratamiento 8	
	GL	C. Medios	GL	C. Medios	GL	C. Medios
Bloques	3	13.40*	3	6.90	3	5.77*
Hileras	5	6.51	7	9.91	1	0.52
Error	15	2.89	21	5.20	3	4.45
CV %	15.30		22.13		7.50	
Media general	11.11		10.30		9.11	

* significativo $\alpha \leq 0.05$; GL = Grados de libertad; CV = Coeficiente de variación.

Tratamiento 6 = 5.6 plantas m⁻²; Tratamiento 7 = 10 plantas m⁻²; Tratamiento 8 = 2.5 plantas m⁻².

A pesar de no presentarse diferencias significativas entre hileras, se observa un mayor rendimiento en la hilera del centro para el caso del tratamiento uniforme despuntado a seis racimos; mayor rendimiento en la hilera cuatro sur primer ciclo en el tratamiento uniforme, con cuatro hileras despuntado a tres racimos; y más elevado rendimiento en la hilera norte en el tratamiento uniforme despuntado a 15 racimos (Cuadro 29).

Cuadro 29. Rendimiento por unidad de superficie (kg m^{-2}) entre hileras de los tratamientos uniformes despuntados a seis, tres y quince racimos, respectivamente, en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado a distintas edades en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, México. 2002.

Tratamiento 6		Tratamiento 7		Tratamiento 8	
Hilera	Rendimiento	Hilera	Rendimiento	Hilera	Rendimiento
1 norte ciclo 1	11.44 a ^z	1 norte ciclo 1	11.78 a	1 norte	9.37 a
2 centro ciclo 1	13.42 a	2 centro norte ciclo 1	11.06 a	2 sur	8.86 a
3 sur ciclo 1	10.04 a	3 centro-sur ciclo 1	11.62 a		
4 norte ciclo 2	9.91 a	4 sur ciclo 1	11.89 a		
5 centro ciclo 2	11.09 a	5 norte ciclo 2	9.31 a		
6 sur ciclo 2	10.75 a	6 centro norte ciclo 2	7.34 a		
		7 centro sur ciclo 2	9.79 a		
		8 sur ciclo 2	9.65 a		
DMS (Tukey $\alpha=0.05$) 3.9		5.41		1.54	

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

^z Medias con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias estadísticas significativas, al nivel del 0.05 %, de acuerdo a la prueba de Tukey.

Tratamiento 6 = 5.6 plantas m^{-2} ; Tratamiento 7 = 10 plantas m^{-2} ; Tratamiento 8 = 2.5 plantas m^{-2} .

Como ya se señaló, los resultados obtenidos al comparar las hileras de los tratamientos establecidos en doseles uniformes no presentaron diferencias significativas, lo cual indica que, para el presente estudio, la ubicación de las hileras dentro de cada bancal no fue determinante en su efecto sobre el rendimiento de las mismas. Será necesario continuar con las evaluaciones de estos sistemas, pues estos resultados contradicen lo encontrado por Ucan (1999) quien indica que las plantas ubicadas en las hileras de las orillas rinden más en comparación con las plantas en hileras centrales dentro de la tina; posiblemente tuvo que ver que la distribución de las hileras en dirección este-oeste favorece una mayor penetración de RFA que la orientación norte-sur ensayada por los autores mencionados, aspecto que habrá que corroborar en ensayos posteriores.

VI. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se estableció el experimento, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los tratamientos escaleriformes, formados con cuatro hileras de plantas y despuntados a tres racimos, rindieron más que los tratamientos uniformes formados con dos, tres y cuatro hileras de plantas y despuntados a quince, seis y tres racimos, respectivamente.
2. El tratamiento en el que se obtuvo mayor rendimiento ($24.87 \text{ kg año}^{-1} \text{ m}^{-2}$ de invernadero), índice de área foliar (2.36) y eficiencia en la distribución de la radiación fotosintéticamente activa, fue el que formó una escalera de cuatro hileras transplantadas con intervalo de 30 días, despuntado a tres racimos, con densidad alta ($17.5 \text{ plantas m}^{-2}$) lo que permitió cosechar $92 \text{ racimos año}^{-1} \text{ m}^{-2}$ de invernadero.
3. El mayor rendimiento anual por unidad de superficie se obtuvo con las densidades altas ($17.5 \text{ plantas m}^{-2}$) en los tratamientos escaleriformes formados por cuatro hileras de plantas, despuntados a tres racimos.
4. Se obtuvo un mayor rendimiento anual por unidad de superficie en los ciclos de cultivo de los arreglos escaleriformes que en las hileras de las plantas de los tratamientos con doseles uniformes.
5. En los tratamientos uniformes no se encontraron diferencias significativas para rendimiento entre hileras.

VII. LITERATURA CITADA

- Acocck, B. 1991. Modelling canopy photosynthetic response to carbon dioxide, light interception, temperature and leaf traits. pp. 41-51. *In*: Modelling Crop Photosynthesis-from Biochemistry to Canopy. Boote K. J., and R. S. Loomis (eds). Crop Science Society of America, Inc. Madison. Wisconsin, USA.
- Acocck, B., D. A. Charles-Edwards, D. J. Fitter, D. W. Hand, J. Ludwig, J. Warren-Wilson, and A. C. Withers. 1978. The contribution of leaves from different levels within a tomato crop to canopy net photosynthesis: an experimental of two canopy models. *J. Exp. Bot.* 29: 815-827.
- Adams, M. W., and J. D. Kelly. 1992. The role of architecture, crop physiology and recurrent selection in ideotype breeding for yield in dry beans. Crop and Soil Sciences Department. Michigan State University. Mich., USA. 224 p.
- Ammerlaan, A. W. S., M. H. A. J. Joosten, and R. I. Grange. 1986. The starch content of tomato leaves grown under glass. *Sci. Hortic.* 29: 1-9.
- Arkebauer, T. J., A. Weiss, T. R. Sinclair, and A. Blum. 1994. In defense of radiation use efficiency: a response to Demetriades-Shah *et al.* (1992). *Agricultural and Forest Meteorology* 68: 221-227.
- Baille M., A. Baille, and M. Tchamitchian. 1990. A simple model for the estimation of greenhouse transmissivity: influence of estructures and internal equipment. *Acta Hortic.* 281: 35-46.
- Ballaré, C. L., A. L. Scopel, and R. A. Sánchez. 1995. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth and yield. *HortScience* 30: 1172-1181.
- Beadle, C. I. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 17-20. *In*: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Coombs, J., D. O. Hall, S. P. Long, y J. M. Scurlock (eds). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Björkman O. 1981. Responses to different quantum flux densities. pp. 57-107. *In*: Physiological plant ecology. Langer, I. O. L., P. S. Nobel, C. B. Osmond, and H. Ziegler. (eds.). *Encyc. Plant Physiol.; New Series*, v 12A. Springer-Verlag, New York, USA.
- Blackman, G. E. 1961. The limit of plant productivity. Annual Report. East Malling Research Station. pp: 39-50.
- Boardman, N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology* 28: 355-377.

- Broughan, R. W. 1960. The relationship between the critical leaf area total chlorophyll content and maximum growth-rate of some pasture and crop plants. *Ann. Bot.* 24: 463-474.
- Bruggink, G. T. and E. Heuvelink. 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: effects on relative growth rate, net assimilation rate and leaf area ratio. *Sci. Hortic.* 31: 161-174.
- Calvert, A. 1964. Growth and flowering on the tomato in relation to natural light conditions. *J. Hortic. Sci.* 39: 182-193.
- Campbell, G. S. 1981. Fundamentals of radiation and temperature relations. pp. 11-40. *In: Physiological Plant Ecology*. Lange, O. L. S., Nobel, C. B. Osmond, and H. Ziegler (eds.). Springer-Verlag. New York, USA.
- Campbell, G. S., and Norman, J. M. 1989. The description and measurement of plant canopy structure. pp. 1-19. *In: Plant Canopies: Their Growth, Form and Function* G. Russell, B. Marshall and P. G. Jarvis (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK. England.
- Cancino B., J., F. Sánchez del C., P. Espinoza R. 1990. Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. *Revista Chapingo* 73-74: 26-30.
- Challa, H. and E. Heuvelink. 1993. Economic evaluation of crop photosynthesis. *Acta Hortic.* 328: 219-228.
- Challa, H., and A. H. C. M. Shapendonk. 1984. Quantification of effects on light reduction in greenhouse on yield. *Acta Hortic.* 148: 501-510.
- Charles-Edwards, D. A., D. Doley, and G. M. Rimmington. 1986. Modelling plant growth and development. Academic Press. Sydney, Australia. 235 p.
- Charles-Edwards, D. A., and J. H. M. Thorpe. 1976. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. *Ann. Bot.* 40: 603-613.
- Cockshull, K. E. 1988. The integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. *Acta Hortic.* 229: 113-123.
- Cockshull, K. E., C. J. Graves, and C. R. J. Cave. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J. Hortic. Sci.* 67: 11-24.
- Cockshull, K. E., and L. C. Ho. 1995. Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. *J. Hortic. Sci.* 70(3): 395-407.

- Crompton, H. J., D. G. Hill-Cottingham, G. A. Hudd, and C. P. Lloyd-Jones. 1984. Effect of plant density on the uptake and distribution of ^{14}C in the field bean, *Vicia faba*. Plant Physiology 60: 543-546.
- De Koning, A. N. M. 1993. Growth of a tomato crop-measurements for model validation. Acta Hortic. 328: 141-146.
- Dhillon, G. S., and Kler, D. S. 1981. Relation of shape of canopy to interception of radiation and yield of wheat. J. Agric. Sci. 97: 135-142.
- Donald, C. M. 1968. The breeding of crop ideotypes. Euphytica 17: 385-403.
- Donald, C. M., and J. Hamblin. 1983. The convergent evolution of annual seed crops in agriculture. Advances in Agronomy 36: 97-143.
- Ehret, D. I., and L. C. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. J. Hortic. Sci. 61: 361-367.
- Fails, B. S., A. J. Lewis, and J. A. Barden. 1982. Net photosynthesis and transpiration of sun and shade grown *Ficus benjamina* leaves. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 107: 758-761.
- Ferguson, J. H. A. 1960. A comparison of two planting system in orchards as regards the amount of radiation intercepted by the trees, Neth. J Agric. Sci. 8: 271-280.
- Ferry, R. L., and J. Janick. 1970. Response of the tomato population pressure. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 91: 47-60.
- Fisher, K. J. 1977. Competition effects between fruit trusses of the tomato plant. Sci. Hortic. 7: 37-42.
- Gallagher, J. N., and P. V. Biscoe. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. J. Agric. Sci. 91: 47-60.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. 219 p.
- Gardner, P. F., R. B. Pearce, and R. L. Mihtchel. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Iowa, USA. 327p.
- Gijzen, H. 1995. CO_2 uptake by the crop. Pp. 16-35. In: Greenhouse Climate Control-An Integrated Approach. Bakker, J. C., G. P. A. Boot, H. Challa, and N. J. van de Braak (eds.). Wageningen Pers. Netherlands.
- Hancock, J. F., J. W. Moon, and J. A. Flore. 1984. Within-row spacing and dry weight distribution in two strawberry cultivars. HortScience 19: 412-413.

- Hand, D. W., W. J. Warren, and M. A. Hannah. 1993. Light interception by a row crop and glasshouse peppers. *J. Hortic. Sci.* 68: 695-703.
- Harper, L. A., J. E. Pallas Jr., R. R. Bruce, and J. B. Jones Jr. 1979. Greenhouse microclimate for tomatoes in the southeast. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 104(5): 659-663.
- Heuvelink, E. 1995a. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Sci. Hortic.* 61: 77-99.
- Heuvelink, E. 1995b. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Sci. Hortic.* 64: 193-201.
- Heuvelink, E., L. G. G. Batta, and T. H. J. Damen. 1995. transmission of solar radiation by a multispan Venlo-type glasshouse: validation of a model. *Agricultural and Forest Meteorology* 74: 41-59.
- Heuvelink E., T. H. J. Damen, and J. R. De Rutter. 1996. Influence of irradiance, CO₂ concentration and leaf area index on tomato crop photosynthesis. *J. Exp. Bot.* (Submitted).
- Heuvelink E. and R. P. M. Buisson. 1995. Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. *Ann. Bot.* 75: 381-389.
- Hewitt, J. D. and M. Marrush. 1986. Remobilization of nonstructural carbohydrates from vegetative tissues to fruits in tomato. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 111(1): 142-145.
- Ho, L. C. 1996. Tomato. pp. 709-728. *In: Photoassimilate Distribution in Plants and Crops.* Zamski, E., and A. A. Schaffer (eds.). Source-Sink Relationships-Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Ho, L. C., and J. D. Hewitt. 1986. Fruit development. pp. 201-239. *In: The Tomato Crop.* Atherton, J. G., and J. Rudich. (eds.). Chapman and Hall. New York, USA.
- Ho, L. C., R. I. Grange, and A. J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell Environment* 10: 157-162
- Hurd, R. G., A. P. Gay, and A. C. Mountfield. 1979. The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. *Ann. Appl. Biol.* 93: 77-89.
- INEGI. 1997. El sector alimentario en México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 323 p.
- Iwaki, H. 1958. The influence of density on the dry matter production of *Fagopyrum esculentum*. *Jpn. J. Bot.* 16: 210-226.

- Jackson, J. E. 1980. Light interception and utilization by orchard systems. *Hortic. Rev.* 2: 208-267.
- Jackson, J. E., and J. W. Palmer. 1972. Interception of light by model hedgerow orchards in relation to latitude, time of year and hedgerow configuration and orientation. *J. Appl. Ecol.* 9: 341-357.
- Joliet, O. 1993. Modelling of water uptake, transpiration and humidity in greenhouses, and of their effects on crops. *Acta Hortic.* 328: 69-78.
- Jones, J. B. Jr. 1999. Tomato Plant Culture: In the field, greenhouse, and home garden. CRC Press LLC, Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 199 p.
- Jorge S., M. 1999. Densidades, arreglo de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponía bajo invernadero. Tesis de maestría en ciencias. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Kappel, F., and J. A. Flore. 1983. Effect of shade on photosynthesis, specific leaf weight, leaf chlorophyll content, and morphology of young peach trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 108: 541-544.
- Kinet, J. M. 1977. Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato. *Sci. Hortic.* 6: 27-35.
- Lawlor, D. W. 1993. Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes. Longman Scientific and Technical. Londres, Inglaterra. 318 p.
- Loomis, R. S., and W. A. Williams. 1969. Productivity and the morphology of crop stands: Patterns with leaves. pp. 27-47. *In: Physiological Aspects of Crop Yield.* Eastin, J. D., F. A. Haskins, C. Y. Sullivan and C. H. M. Van Bavel (eds.). American Society of Agronomy/Crop Science Society of America. Madison, WI., USA.
- Loomis, R. S., W. A. Williams, and W. G. Duncan. 1967. Community Architecture and the Productivity of Terrestrial Plant Communities. *Photosynthesis in Plant Life.* pp. 291-306. *In: Harvesting the Sun.* San Pietro, A., F. A. Greer, and T. J. Army (eds.). Academic Press. New York, USA.
- Longuenesse, J. J., C. Gary, and M. Tehamitchian. 1993. Modeling CO₂ exchanges of greenhouse crops a matter of scales and boundaries. *Acta Hortic.* 328: 33-47.
- Louwerse, W., and W. V. D. Zweerde. 1977. Photosynthesis transpiration and leaf morphology on *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays* grown at different irradiances in artificial and sunlight. *Photosynthetica* 11: 11-21.

- Ludlow, M. M., and T. T. Ng. 1976. Photosynthetic light response curves of leaves from controlled environment facilities, glasshouses or outdoors. *Photosynthetica* 10: 457-462.
- Major, D. J., H. H. Janzen, R. S. Sadasivaiah, and Carefoot. 1992. Morphological characteristics of wheat associated with high productivity. *Can. J. Plant Sci.* 72: 689-698.
- Marcelis, L. F. M., and A. N. M. de Koning. 1995. Biomass partitioning in plants. pp. 84-92. *In: Greenhouse Climate Control-An Integrated Approach*. Bakker, J. C., G. P. A. Boot, H. Challa, and N. J. van de Braak (eds.). Wageningen Pers. Netherlands.
- Matallana G., A., y J. I. C. Montero. 1995. Invernaderos. Diseño, construcción y climatización. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid, España. 209 p.
- McAvoy, R. J., H. W. Janes, B. L. Godfriaux, M., Secks, D. Duchai, and W. K. Wittman. 1989. The effect of total available photosynthetic photon flux on single truss tomato growth and production. *J. Hortic. Sci.* 64(3): 331-338.
- Miyaji, K. I. 1984. *Glycine max* Merrill. II. Productivity of leaves in relation to their longevity, plant density and sowing time. *New Phytol.* 97: 479-488.
- Méndez G., T. 2002. Formación de doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) orientadas en dirección este-oeste. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 136 p.
- Mock, J. J. And R. B. Pearce. 1975. An ideotype of maize. *Euphytica* 24: 613-623
- Monteith, J. L. 1994. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agricultural and forest Meteorology*. 68: 213-220.
- Nederhoff, E. M. 1984. Light interception of a cucumber crop at different stages of growth. *Acta Hortic.* 148: 525-534.
- Nederhoff, E. M., and J. G. Vegter. 1994. Photosynthesis of stands of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouse under various CO₂-concentrations. *Annals of Botany* 73: 353-361.
- Nobel, P. S., y S. P. Long. 1988. Estructura del dosel e intercepción de luz. pp. 34-41. *In: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad*. Scurlock, J. M., S. P. Long, D. O. Hall and J. Coobs (eds.). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Nogueira P., R. M. 2000. Radiación solar interceptada y crecimiento del pepino cultivado en NFT. Tesis doctoral. Universidad de Almería. Escuela Politécnica Superior. Almería, España. 112 p.

- Nuez, F. 1999. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Quinta edición. Madrid, España. 793 p.
- Papadopoulos, A. P. 1985. Plant spacing effects of photosynthetically active radiation interception and utilization by greenhouse tomatoes. Ph. D. Thesis. University of Guelph. Ontario, Canada. 428 p.
- Papadopoulos A. P., and D. P. Ormrod. 1988a. Plant spacing effects on light interception by greenhouse tomatoes. Can. J. Plant Sci. 68: 1197-1208
- Papadopoulos, A. P., and D. P. Ormrod. 1988b. Plant spacing effects on photosynthesis and transpiration of the greenhouse tomato. Can. J. Plant Sci. 68: 1209-1218.
- Papadopoulos, A. P., and D. P. Ormrod. 1990. Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. Can. J. Plant Sci. 70: 565-573.
- Papadopoulos, A. P., and D. P. Ormrod. 1991. Plant spacing effects on growth and development of the greenhouse tomato. Can. J. Plant Sci. 71: 297-304.
- Papadopoulos, A. P. and S. Pararajasingham, 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill): A review. Sci. Hortic. 69(1-2): 1-29.
- Pearce, R. B., R. H. Brown, and R. E. Blaser. 1965. Relationships between leaf area index, light interception and net photosynthesis in orchardgrass. Crop Sci. 5: 553-556.
- Pearce, B. D., R. I. Grange, and K. Hardwick. 1993. The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. J. Hortic. Sci. 68(1): 1-11.
- Pendleton, J. W., G. E. Smith, S. R. Winter, and T. J. Johnston. 1968. Field investigations of the relationships of leaf angle in corn (*Zea mays* L.) to grain yield and apparent photosynthesis. Agronomy Journal 60: 422-424.
- Peat, W. E. 1970. Relationships between photosynthesis and light intensity in the tomato. Ann. Bot. 34: 319-328.
- Picken, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Hortic. Sci. 59: 1-13.
- Picken, A. J. F., R. G. Hurd, D. Vince-Prue. 1985 *Lycopersicon esculentum*. pp. 330-346. In: CRC Handbook of Flowering. Vol. II. Halevy A. H. (ed.). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA.

- Ponce, O. J. 1998. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). en hidroponía. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 96 p.
- Resh, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Quinta edición. Madrid, España. 558 p.
- Rodríguez, B. R., and V. N. Lambeth. 1975. Artificial lighting and spacing as photosynthetic and yield factors in winter greenhouse tomato culture. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 100(6): 694-697.
- Rodríguez, B. R., and V. N. Lambeth. 1976. Photosynthetic rate-yield component relationships in winter greenhouse tomatoes. HortScience 11: 430-431.
- Russel, C. R., and D. A. Morris. 1983. Pattern of assimilate distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.) . Ann. Bot. 52: 357-363.
- Sager, J. C., J. L. Edwards, and W. H. Klein. 1982. Light energy utilization efficiency for photosynthesis. Trans. ASAE 25: 1737-1746.
- Salisbury, F. B.; Ross, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica, S. A. de C. V. México, D. F. 759 p.
- Sánchez del C., F. 1977. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis doctoral. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 189 p.
- Sánchez del C., F. 2001a. Fotosíntesis, respiración y biosíntesis. pp. III-147-III-170. In: Riego localizado y Ferti-irrigación. Memorias del VII Curso Internacional de Sistemas de Riego. Sánchez B., R., S. Pérez N., J. Reyes S. F. R. Hernández S. (eds.). Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Sánchez del C., F. 2001b. Producción comercial de jitomate en hidroponía bajo invernadero. pp. III-259-III-285. In: Riego localizado y Ferti-irrigación. Memorias del VII Curso Internacional de Sistemas de Riego. Sánchez B., R., S. Pérez N., J. Reyes S. y F. R. Hernández S. (eds.). Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Sánchez del C., F., T. Corona S. 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo un sistema hidropónico de producción a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo, Serie Horticultura 2: 109-114.

- Sánchez del C., F., y E. Escalante R. 1989. Hidroponía. Un Sistema de Producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez del C., F., P. Espinosa R., E. Escalante R. 1999a. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en hidroponía bajo invernadero: Avances de Investigación. Revista Chapingo 78: 62-68.
- Sánchez del C., F., J. Ortiz C. M. C. Mendoza C., V. González H. y J. Bustamante O. 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. Revista Fitotecnia Mexicana 21: 1-13.
- Sánchez del C., F., J. Ortiz C., M. C. Mendoza C., V. González H., M. T. Colinas L. 1999b. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Agrociencia 33(1): 21-29.
- Sedgley, R. H. 1991. An appraisal of the Donald ideotype after 21 years. Field Crops Res. 26: 93-112.
- Serrano C., Z. 1994. Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 210 p.
- Shibles. R. M., and C. R. Weber. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. Crop Sci. 6: 55-59.
- Shishido, Y., N. Seyama, S. Imada, and Y. Hori. 1989. Carbon budget in tomato plants as affected by night temperature evaluated by steady state feeding with $^{14}\text{CO}_2$. Ann. Bot. 63: 357-367.
- Sinclair, T. R. 1991. Canopy carbon assimilation and crop radiation-use efficiency dependence on leaf nitrogen content. pp. 95-107. In: Modeling crop photosynthesis-from biochemistry to canopy. Boote, K. J., and R. S. Loomis (eds). American Society of Agronomy. Madison, WI. USA.
- Sonnewald, W. and L. Willmitzer. 1992. Molecular approaches to sink-source interactions. Plant Physiology 99: 1267-1270.
- Tanner, J. W., C. J. Gardener, N. C. Stoskopf, and E. Reinbergs. 1966. Some observations on upright-leaf-type small grains (barley, wheat, oats, herbicide treatment). Can. J. Plant Sci. 46: 690.
- Ucan C., I. 1999. Efecto del manejo de relaciones fuente-demanda sobre el tamaño del fruto en jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- van de Vooren J., G. W. H. Welles, and G. Hayman. 1986. Glasshouse crop production. pp: 581-623. In: The tomato crop. Atherto, G., and J. Rudich (eds.). Chapman and Hall. London, England.

- Vázquez R., J. C. 2002. Formación de doseles escaleriformes para la producción de jitomate en ambientes no restrictivos. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. 114 p.
- Verhagen, A. M. W., T. H. Wilson, and E. J. Britten. 1963. Plant production in relation foliage illumination. *Ann. Bot.* 27: 627-640.
- Verheij E.W. y Verwer F. 1971. Light interception and yield of peppers grown under glass in relation to plant spacing. *Acta Hortic.* 32: 149-158
- Wardlaw, I. F. 1990. The control of carbon partitioning in plants. *New Phytol.* 116: 341-381.
- Warren Wilson, J., D. W. Hand, and M. A. Hannah. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. *J. Exp. Bot.* 43: 363-373.
- Watson, D. J. 1958. Optimum leaf area index in kale and sugar beets. *Ann. Bot.* 11: 41-76.
- Watson, D. J., and K. J. Wits. 1959. The net assimilation rates of wild and cultivated beets. *Ann. Bot.* 23: 431-439.
- Williams, W. A., R. S. Loomis, and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density: I. Productivity in relation to interception of solar radiation. *Crop Sci.* 5: 211-215.
- Wittwer, S. H. 1963. Photoperiod and flowering in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 83: 688-694.
- Zahara, M., and H. Timm. 1973. Influence of plant density of growth, nutrient composition, yield and quality of mechanically harvested tomatoes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 98(5): 513-516.