

Universidad Autónoma Chapingo

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA POSGRADO EN HORTICULTURA

**FORMACIÓN DE DOSELES ESCALERIFORMES CON
HILERAS DE PLANTAS DE JITOMATE (*Lycopersicon
esculentum*, Mill.) ORIENTADAS EN DIRECCIÓN ESTE-OESTE**

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS

EN

HORTICULTURA

PRESENTA:

TOMÁS MÉNDEZ GALICIA

Chapingo, México, febrero de 2002.



BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

Bib. 97033

**FORMACIÓN DE DOSELES ESCALERIFORMES CON HILERAS DE PLANTAS
DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ORIENTADAS EN DIRECCIÓN
ESTE-OESTE.**

**Tesis realizada por TOMÁS MÉNDEZ GALICIA 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



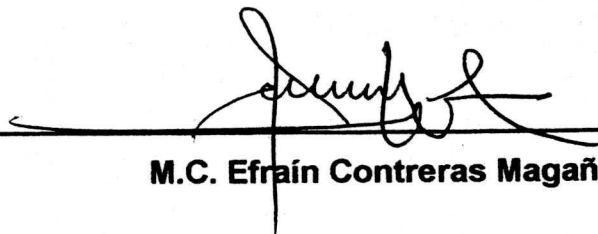
Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

ASESOR



Dr. Jaime Sahagún Castellanos

ASESOR



M.C. Efraín Contreras Magaña

**Universidad Autónoma Chapingo
Chapingo, Estado de México, Febrero de 2002**

A-39388

**FORMACIÓN DE DOSELES ESCALERIFORMES CON HILERAS DE PLANTAS
DE JITOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ORIENTADAS EN DIRECCIÓN
ESTE-OESTE.**

**El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de TOMÁS MÉNDEZ
GALICIA autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura
estuvo constituido por:**

PRESIDENTE _____



Dr. Felipe Sánchez Del Castillo

ASESOR _____



Dr. Jaime Sahagún Castellanos

ASESOR _____



M.C. Efraín Contreras Magaña

DATOS BIOGRÁFICOS.

El autor de la presente tesis Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia TOMÁS MÉNDEZ GALICIA, es originario de San Sebastián Xolalpan, municipio de Teotihuacán, Estado de México. México; donde nació el 7 de marzo de 1972. Realizó estudios de Educación Media Superior en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 27, ubicado en San Felipe Teotitlán, municipio de Nopaltepec, Estado de México. Posteriormente ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, donde realizó los estudios de Educación Superior en el Departamento de Fitotecnia, cursando la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, de la que egresó en 1995. Titulado con la tesis: Descripción de los sistemas de producción de jengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) en los municipios de Huixtla, Chiapas y Matías Romero, Oaxaca. En el aspecto laboral ha trabajado como asesor técnico en el manejo de cultivos hidropónicos bajo invernadero en las siguientes empresas: Hidroponía, Tepetlaoxtoc durante un año y medio, Complejo Agrícola de Morelos 2001, S.A de C. V durante un año y tres años en la empresa Industrial Agropecuaria Junco.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Autónoma Chapingo y en especial a la Coordinación de Posgrado en Horticultura del Departamento de Fitotecnia, por haberme brindado sus frutos de sabiduría y por las facilidades otorgadas.

Al Dr. Felipe Sánchez del Castillo por su valiosa dirección, enseñanzas y apoyo, pero sobre todo por la amistad que siempre me ha brindado.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos por haber colaborado grandemente en la revisión del presente trabajo y el cúmulo de conocimientos que directa e indirectamente me ha ayudado a adquirir.

Al M. C. Efraín Contreras Magaña por su asesoramiento y consejos en la realización de este trabajo, pero sobre todo por la amistad que nos une.

Al Dr. Alejandro Barrientos Priego por las facilidades otorgadas y por sus sabios consejos.

Al Dr. L Krishnamurthy por su gran ayuda en la traducción del resumen y sobre todo por su amistad.

Al Ing. Rodrigo Ortiz y al Sr. Fernando Fonseca por ser el vínculo entre el conocimiento generado y su aplicación en el ámbito empresarial.

Al Biólogo. José Cutberto Vázquez por sus sabios consejos, pero sobre todo por esa gran amistad que nos une.

Al Sr. Antonio Junco Naranjo por las facilidades otorgadas para realizar el experimento en sus instalaciones, espero que el conocimiento generado repercuta en su beneficio.

Al Sr. Antero Vera Hernández, jefe del almacén del Departamento de Fitotecnia, por todas las facilidades otorgadas y por la amistad que nos une.

Al Sr. Telésforo Espejel Ortiz, encargado del almacén del Departamento de Fitotecnia, por toda la ayuda brindada.

Al Sr. Isidro Ayala Rivero y a su esposa, por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado.

A la Sra. Rosa Blancas y al Sr. Alfredo Pacheco por la gran ayuda brindada en el trabajo de campo.

También deseo expresar mi agradecimiento a todos los profesores de la Universidad Autónoma Chapingo que directa e indirectamente contribuyeron con mi formación.

A todos los compañeros y amigos que colaboraron en la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

Con mucho amor y Fe a “Dios” por haberme dado la vida.

Con mucho amor a mis padres: Rodolfo Méndez Santana y Magdalena Galicia Sánchez.

Con el mismo amor a Ana María y a mí hija Abril quienes siempre han sido un estímulo para mi superación personal y profesional.

A mis hermanos Samuel+, Miguel, Esteban, Julia, Georgina y Fabián.

A mis sobrinos: Samuel, Brenda, Lluvia Jazmín, Juan Pablo, Sindi Berenice, Fabiola y Pamela.

A mis tíos Francisco, Ernesto, Sabás y Margarito.

A todos mis primos, amigos y cuñados.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
III. HIPÓTESIS	6
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1. Clasificación taxonómica	7
4.2. Origen y domesticación del jitomate	8
4.3. Importancia del jitomate	10
4.4. Características morfológicas	12
4.5. Producción continua de jitomate	16
4.6. Hidroponia	18
4.7. Invernaderos	21
4.8. Factores esenciales para la fotosíntesis	24
4.8.1. Luz	24
4.8.2. CO ₂	28
4.8.3. Temperatura	29
4.8.4. Agua	30
4.8.5. Edad de la hoja y contenido de nutrimentos minerales	30
4.9. Fotosíntesis a nivel de dosel y rendimiento	31
4.10. Índice de área foliar y tasa de producción de materia seca	34
4.10.1. Índice de área foliar crítico e índice de área foliar óptimo	36
4.10.2. Área foliar e intercepción de radiación solar	38
4.11. Disminución de la radiación a través del dosel	39
4.12. Inclinação de las hojas y eficiencia fotosintética	40
4.13. Separación vertical de las hojas	43
4.14. Estrategias para maximizar el uso de la energía solar	43

4.14.1. Densidad de plantas y su manejo	44
4.14.2. Distribución de plantas	46
4.15. Análisis del rendimiento	48
4.15.1. Cantidad de radiación interceptada por el dosel	48
4.15.2. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel	50
4.15.3. Proporción de nueva materia seca traslocada al producto de interés agronómico	51
4.15.4. Tasa de pérdida de materia seca	53
4.15.5. Duración del crecimiento	54
4.16. Efecto del espaciamiento de plantas en la fotosíntesis del cultivo	55
4.17. Efecto del espaciamiento de plantas en el crecimiento del jitomate	58
4.18. Efecto del espaciamiento de plantas en el desarrollo del jitomate	61
4.19. Efecto del espaciamiento de plantas en la repartición de asimilados al producto de interés agronómico	62
V. MATERIALES Y MÉTODOS	67
5.1. Ubicación del experimento	67
5.2. Material vegetal	67
5.3. Descripción de los tratamientos y diseño experimental	68
5.4. Manejo del cultivo	73
5.4.1. Semillero	73
5.4.2. Trasplante	74
5.4.3. Riego y solución nutritiva	74
5.4.4. Podas y tutorio	76
5.4.5. Polinización	76
5.4.6. Control de plagas y enfermedades	76
5.5. Variables evaluadas	77
5.5.1. Comparación global de todos los tratamientos	77
5.5.2. Análisis por hilera de plantas para comparar los tratamientos escaleriformes y uniformes, formados por hileras de plantas de la misma densidad y nivel de despunte (tres racimos) incluyendo al testigo uniforme	79

5.5.3. Análisis comparativo de las hileras dentro de cada tratamiento de doseles escaleriformes y uniformes formados por hileras de plantas de la misma densidad (cada hilera) y nivel de despunte (tres racimos)	81
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
6.1. Comparación global de todos los tratamientos	82
6.1.1. Rendimiento y sus componentes primarios	82
6.1.2. Tamaño de frutos	87
6.1.3. Índice de área foliar	90
6.2. Análisis por hilera de plantas para comparar los tratamientos escaleriformes y uniformes, formados por hileras de plantas de la misma densidad y nivel de despunte (tres racimos) incluyendo al testigo uniforme	92
6.2.1. Hilera sur a tres racimos por planta	93
6.2.2. Hilera centro sur a tres racimos por planta	98
6.2.3. Hilera centro norte a tres racimos por planta	103
6.2.4. Hilera norte a tres racimos por planta	108
6.3. Discusión sobre variables morfológicas	
6.4. Análisis comparativo de las hileras dentro de cada tratamiento de doseles escaleriformes y uniformes formados por hileras de plantas de la misma densidad (cada hilera) y nivel de despunte (tres racimos)	114
6.5. Discusión sobre rendimiento y sus componentes, para doseles escaleriformes y uniformes formados con plantas despuntadas a tres racimos y el testigo comercial	119
VII. CONCLUSIONES	121
VIII. LITERATURA CITADA	122

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro	Página
4.1. Análisis de las exportaciones globales de jitomate de México 1999-2001.	11
4.2. Relaciones calculadas entre orientación de las hojas, fotosíntesis de las hojas y fotosíntesis total del dosel por unidad de área de suelo.	41
5.1. Nutrientes, concentraciones y fertilizantes con los que se preparó la solución nutritiva.	75
6.1. Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes primarios en jitomate cultivado en distintos arreglos de plantación.	82
6.2. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes por unidad de superficie en jitomate, para distintos arreglos de plantación.	83
6.3. Cuadrados para el tamaño de frutos de jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.	87
6.4. Medias de tamaño de fruto de jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.	88
6.5. Cuadrados medios para la variable índice de área foliar, en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.	90
6.6. Medias de índice de área foliar, en jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.	91
6.7. Cuadrados medios para cuatro variables en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.	93
6.8. Comparación de medias de cuatro variables, en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.	94
6.9. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.	95

6.10. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.	96
6.11. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, para la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.	97
6.12. Medias de tamaño de fruto de jitomate, para la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.	97
6.13. Cuadrados medios para cuatro variables en la hilera centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes	98
6.14. Comparación de medias para cuatro variables, en la hilera centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de arreglos de plantación.	99
6.15. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes, en la hilera ubicada en la parte centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.	100
6.16. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.	101
6.17. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, para la hilera centro sur de las camas de cultivo.	102
6.18. Medias de tamaño de fruto de jitomate, para la hilera centro sur, en diferentes arreglos de plantación.	102
6.19. Cuadrados medios para cuatro variables, en la hilera centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.	103
6.20. Comparación de medias para cuatro variables, en la hilera centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.	104

6.21. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en la hilera ubicada en la parte centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.	105
6.22. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.	106
6.23. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, para la hilera centro norte de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.	107
6.24. Medias de tamaño de fruto de jitomate, para la hilera centro norte, en diferentes arreglos de plantación.	107
6.25. Cuadrados medios para cuatro variables, en la hilera norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.	108
6.26. Comparación de medias para cuatro variables, en la hilera norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación	109
6.27. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en la hilera norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.	110
6.28. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera ubicada al norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.	111
6.29. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, para la hilera ubicada al norte de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación	112
6.30. Medias de tamaño de frutos de jitomate, para la hilera ubicada al norte de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación	112
6.31. Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes primarios, con un análisis por hilera y por tratamiento, con arreglos escaleriformes y uniformes.	116
6.32. Comparación de medias para rendimiento y sus componentes primarios, con un análisis por hilera y por tratamiento, con arreglos escaleriformes y uniformes.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Dosel escaleriforme con tres hileras de plantas de distinta altura, utilizado en los tratamientos 1, 2, 3 y 4.	69
2. Dosel escaleriforme en dirección este oeste conformado por cuatro hileras de plantas de jitomate despuntadas para dejar tres racimos por planta y colocadas a distintas alturas, utilizado en los tratamientos 5 y 6.	70
3. Dosel uniforme con plantas despuntadas a tres racimos, mostrando algunos detalles de la tina, usado en el testigo.	71
4. Dosel uniforme con plantas despuntadas a tres racimos, mostrando algunos detalles de la tina, usado en los tratamientos 8 y 9.	72
5. Croquis del diseño experimental.	73
6. Medidor de área foliar LI 3000.	79

RESUMEN

Formación de doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste.

Con el objetivo de incrementar el rendimiento por unidad de superficie de jitomate en hidroponía bajo invernadero, se compararon diferentes disposiciones de plantas conformando doseles en forma de escalera (escaleriformes) y doseles uniformes, contra un testigo de dosel uniforme ya validado comercialmente. Se utilizó un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones, cada unidad experimental se conformó por un área de 1.56 m² útiles. El invernadero lo mismo que las hileras de plantas estaban orientados en dirección este-oeste. Los tratamientos de dosel escaleriforme se lograron acomodando tres hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos o cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos pero colocadas en tinas a diferente altura. Para el primer tipo de dosel se tuvieron cuatro tratamientos (43, 49, 53 y 56 racimos·m⁻² útil) y para el segundo dos tratamientos (50 y 66 racimos·m⁻² útil). Los dos tratamientos de dosel uniforme y el testigo se lograron con cuatro hileras de plantas a tres racimos (36, 50 y 66 racimos·m⁻² útil, respectivamente). Además del rendimiento por unidad de superficie se evaluaron el número de frutos por unidad de superficie, peso medio de frutos, tamaño de frutos (grandes, medianos y chicos), índice de área foliar, altura de planta, diámetro de tallo y número de flores por metro lineal. El rendimiento, lo mismo que el IAF, resultaron significativamente mayores utilizando doseles escaleriformes formados con hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos. Se concluye que las plantas manejadas con disposición escaleriforme, rindieron más por unidad de superficie que el testigo basado en un dosel uniforme y que el mayor rendimiento por unidad de superficie que se logró en los doseles escaleriformes se debió a la cosecha de mayor número de frutos por unidad de superficie, con poca disminución en el peso medio de frutos.

Palabras clave: alta densidad, podas, despuntes, hidroponia, jitomate.

ABSTRACT

Formation of stair like canopies with rows of tomato plants in the east-west direction

With the objective of increasing the yield of tomato per unit area in hydroponics under greenhouse, different disposition of plants forming canopies in the form of stairs and uniform canopies were compared, against an already commercially validated uniform canopy as test. A random block design with nine treatments and four replications was used; each experimental unit covered an area of 1.56 m². The greenhouse as well as the plant rows were in the east-west direction. The treatments of stair like canopy were done accommodating three rows of plants decapitate at different number of clusters, or four rows of plants decapitate at three bunches, but placing in jars at different heights. The first type of canopy consisted four treatments (43,49,53 and 56 clusters·m⁻² of usable area) and the second type two treatments (50 and 66 clusters). The two treatments of uniform canopy and the test canopy were ordered with four rows of plants at three clusters (36,50, and 66 clusters·m⁻² of usable area, respectively). The yield per unit area was evaluated by quantifying the number of fruits per unit area, average fruit weight, fruit size (large, medium, and small), leaf area index, plant height, stem diameter and number of flowers·m⁻¹. The yield, as well as leaf area index, were significantly higher in stair like canopies formed with rows of plants decapitate at different number of bunches. It is inferred that the plants managed in stair like canopy yielded more per unit area than the test crop with uniform canopy. The higher yield per unit area observed in stair like canopies was due to harvest of greater number of fruits per unit area with little reduction of average fruit weight.

Key words: high density, pruning, decapitate, hydroponics, tomato.

I. INTRODUCCIÓN

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 falta de agua y las heladas, y de serias limitaciones en la fertilidad de los suelos acentuados por topografía accidentada, erosión hídrica y eólica y salinidad, ha llevado a considerar como opción tecnológica el uso de sistemas de producción intensivas como la hidroponía y los invernaderos.

La instalación y operación de estos sistemas implica una fuerte inversión, por lo que la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, y a un manejo eficiente del espacio, del tiempo, de la tecnología y de los factores ambientales para alcanzar la máxima productividad, entendida ésta como el rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$).

El uso de invernaderos en conjunción con un sistema hidropónico permite reducir al mínimo las restricciones del clima, agua y nutrientes y lograr un eficiente control de plagas, enfermedades y maleza. Por ello adquiere gran importancia la búsqueda de arquetipos (modelos de planta) que, en altas densidades de población, respondan con muy alto rendimiento por unidad de superficie en ese ambiente no restrictivo.

Sin lugar a dudas existen productos de origen agrícola que son más consumidos que otros en algunas regiones del mundo. Sin embargo, existen otros que son ampliamente utilizados en la dieta de la población de todos los continentes, variando sólo la presentación del producto; es decir, en algunos lados éste es consumido en su forma natural, mientras que en otros sitios su consumo se hace ya en alguna de sus transformaciones. Dentro de estos se encuentra el tomate o jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), producto de origen americano que es muy demandado en todo el mundo por su amplio uso en la cocina internacional, ya sea en su consumo directo o en su empleo como sasonante.

En el ámbito mundial el jitomate es la segunda hortaliza que más superficie de cultivo ocupa, en 1994 se sembraron 2,789,000 hectáreas y se obtuvo una producción de 72.78 millones de toneladas métricas. De la producción total mundial, podemos distinguir cinco países como los principales productores: Estados Unidos, China, Turquía, Italia e India; que en conjunto contribuyen con el 47.3 % de la producción mundial (Anónimo, 1995).

En México el jitomate es la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada que ocupa; la más importante por su volumen en el mercado nacional, y la primera por su valor de producción. Además su cultivo utiliza una gran cantidad de mano de obra redundando en beneficio social. A esta hortaliza de fruto se le encuentra en los mercados durante todo el año; su fruto se consume tanto fresco como procesado (puré), y es una fuente rica en vitaminas. A pesar de cultivarse en 27 estados de México, sólo cinco concentran en promedio el 74.2 % de la producción, destacándose Sinaloa, como el principal productor, tanto para abastecer el mercado nacional como el de exportación; seguido de Baja California, San Luis Potosí, Jalisco y Nayarit (en orden de importancia). En 1994 se sembraron 76,219 hectáreas y la producción alcanzó la cifra de 1,596,694 toneladas (Anónimo, 1995).

En la Universidad Autónoma Chapingo se ha definido una nueva tecnología de producción de jitomate en hidroponía que consiste en manejar altas densidades de población de plantas para dejar sólo una, dos o tres inflorescencias (racimos) por planta; además se eliminan mecánicamente todos los brotes laterales que emite la planta antes, durante y después del despunte, todo con el propósito de establecer muy altas densidades de población. Así, mediante prácticas de manejo se ha logrado un arquetipo de jitomate que, a diferencia de las plantas bajo sistemas convencionales (bajas densidades de población y varios racimos por planta), incorpora varias características adecuadas para el logro de altos rendimientos en un ambiente no restrictivo, invernadero y condiciones hidropónicas (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Sánchez y Ponce, 1998).

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 solo 50 cm, así como el área foliar por planta y se fuerza a ésta a un hábito 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. Gracias a la reducción de la altura se puede incrementar la densidad de población hasta $25 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$, lo que permite el establecimiento rápido y temprano, en el ciclo de cultivo, de un índice de área foliar (IAF) óptimo para la fotosíntesis. El periodo desde el trasplante hasta el fin de la cosecha se reduce, de más de 200 días a menos de 80, sin disminución del rendimiento por ciclo, lo que permite varios ciclos por año incrementando la productividad anual (Sánchez *et al.*, 1999)

La biomasa que se logra por m^2 por año es muy superior y el índice de cosecha casi igual al del sistema convencional por lo que la productividad anual puede sobrepasar las $600 \text{ toneladas} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, lo que representa potencialmente el doble de lo que logran los invernaderos hidropónicos holandeses con su tecnología de punta. Otra ventaja del paquete de despuntar temprano (dejando uno, dos o tres racimos por planta) y alta densidad, es la de concentrar las producciones en fechas de mayor demanda, logrando mucho mejor precio para el productor (Sánchez y Escalante, 1989).

Aunque el rendimiento por unidad de superficie es alto, podría esperarse más, debido a que no hay restricciones de agua, nutrientes, etc., pero se limita por la heterogénea distribución de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en el dosel, ya que se siembra en tinas largas de aproximadamente 1.2 m de ancho con dirección Norte-Sur y en cada tina se siembran varias hileras de plantas, quedando aproximadamente 50 % de plantas con competencia completa por luz (hileras centrales) y 50 % con menos competencia (hileras exteriores), ya que se ven favorecidas por el espacio de los pasillos que se dejan entre tina y tina.

Se ha observado en experiencias comerciales y comprobado en trabajos experimentales (Ucan, 1999) que las plantas alineadas en hileras centrales interceptan menor Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) y rinden menos que las alineadas en hileras exteriores de dicha tina.

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 y la producción máxima del cultivo, se logra cuando el mayor número de hojas del mismo interceptan luz a una irradiancia media; es decir, cuando la distribución de la radiación sea lo más uniforme en el dosel.

Entonces, para una misma irradiancia fotosintética se puede lograr una mayor producción de biomasa, si un alto porcentaje de las hojas es iluminado a una intensidad media, que si una menor proporción de hojas recibe alta intensidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) y una mayor proporción reciben poca, como consecuencia del sombreamiento mutuo. Hojas muy sombreadas pueden inclusive perder más materia seca a través de la respiración que la que ganan en la fotosíntesis (Donald, 1968).

Considerando la latitud a la que se encuentra ubicada la Universidad Autónoma Chapingo (19° 29' latitud Norte y 98° 51' longitud Oeste) y la estación de crecimiento del cultivo y la dirección del sol (Este-Oeste). Sánchez y Vázquez (inédito) conformaron un dosel escaleriforme de jitomate en tinas de 1.3 m de ancho orientada en dirección Este-Oeste, para ello se formaron tres hileras de plantas, cada hilera se sembró a distinta densidad y se despuntó para dejar un número diferente de racimos por planta, logrando así hileras de plantas de distinta altura; la hilera de plantas más bajas se colocó al Sur de la tina y la hilera de plantas más altas al Norte de la tina. De tal manera que por la orientación Este-Oeste y la estación de crecimiento, las hileras de plantas más altas nunca sombrearon las hileras de plantas más bajas. Se tuvo así una mejor distribución de la RFA entre las

distintas hojas del dosel permitiendo el manejo de un mayor índice de área foliar y la producción de un mayor número de racimos por unidad de superficie. El rendimiento fue de $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 50 % mayor que los testigos manejados en los doseles uniformes con el sistema desarrollado por la Universidad Autónoma Chapingo y manejado comercialmente (cuatro hileras de planta, cada una con tres plantas por metro lineal despuntadas para dejar tres racimos por planta).

Con base en lo anterior en la presente investigación se pretende evaluar el rendimiento por unidad de superficie que se puede lograr con el arreglo de plantas en doseles en forma de escalera a base de hileras de plantas orientadas en dirección Este—Oeste. La idea de formar los doseles escaleriformes con plantas de la misma edad y nivel de despunte (tres racimos por planta), pero con hileras de plantas colocadas en tinajas a distintos niveles (formando escalones) conteniendo cada una, una hilera de plantas, es la de mantener la ventaja del sistema desarrollado en la Universidad Autónoma Chapingo de concentrar la cosecha en las ventanas donde el precio del producto es mayor y comparar esto con las formas desarrolladas por Vázquez (2000) y con el testigo uniforme.

II. OBJETIVO

Con el presente proyecto se tiene como objetivo evaluar diferentes doseles en forma de escalera, con el fin de desarrollar un sistema de producción que incremente el rendimiento por unidad de superficie. Particularmente se pretende estudiar y comparar en cuanto a interceptación de RFA y rendimiento por unidad de superficie, diferentes arreglos de plantas para lograr los doseles en forma de escalera y también comparar su rendimiento con los sistemas comerciales de producción hidropónica de jitomate bajo invernadero con plantas arregladas en doseles uniformes.

III. HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis General

Es posible incrementar el rendimiento por unidad de superficie en el cultivo de jitomate mediante la formación de doseles en forma de escalera a partir del manejo de altas densidades de población, formando hileras de plantas a diferente altura y orientadas en dirección Este-Oeste, debido a que con ello se logra una distribución más homogénea de la radiación fotosintéticamente activa entre las distintas hojas que conforman el dosel en relación a las plantas manejadas con doseles uniformes (hileras de plantas a la misma altura).

3.2. Hipótesis particulares

1. El máximo rendimiento por unidad de superficie se logra con un sistema de producción de jitomate donde coexisten hileras de plantas con diferente nivel de despunte, ubicadas en dirección este-oeste.
2. El máximo rendimiento por unidad de superficie se obtiene con un sistema de producción basado en hileras de plantas colocadas en contenedores a diferente nivel (formando escalones) y orientadas en dirección este-oeste, manejadas a tres racimos por planta.
3. La disposición de hileras de plantas con distinta altura, orientadas en dirección este-oeste, permite incrementar el rendimiento por unidad de superficie con relación a los doseles uniformes, mediante la siguiente estrategia incrementando el IAF a mayores niveles debido a una mejor distribución de la radiación fotosintéticamente activa.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Clasificación Taxonómica

La clasificación taxonómica del jitomate según Valadez (1994), es la siguiente:

Familia: Solanaceae

Género: *Lycopersicon*

Especie: *Lycopersicon esculentum*

Nombre común: Jitomate o tomate

Var. commune: Tomate común.

Var. grandifolium: Tomate hoja de papa.

Var. validium: Tomate arbusto o erecto

Var. cerasiforme: Tomate cherry

Var. pyriforme: Tomate pera

Subgénero Eulycopersicon** 1) *L. Esculentum*

2) *L. Pimpinellifolium*

Subgénero Eriopersicon*** 1) *L. Peruvianum*

2) *L. Chilense*

3) *L. Glandulosum*

4) *L. Hirsutum*

* Se dividen en dos subgéneros

** Frutos rojos y amarillos

*** Frutos verdes

4.2. Origen y domesticación del jitomate

Picken *et al.* (1986), señalan que el jitomate (*Lycopersicon esculentum* Miller) probablemente sea originario de la costa oeste seca de Sudamérica tropical; consecuentemente, aunque puede crecer bajo un amplio rango de condiciones no es tolerante al frío ni a condiciones de exceso de humedad en el suelo.

Por otra parte Rick, (1976); Rick y Holle (1990), mencionan que el centro de origen del género *Lycopersicon* es la región andina que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. En esta área crecen espontáneamente las diversas especies del género. También en esta zona muestra *Lycopersicon esculentum* su mayor variación.

Todavía son muchos los aspectos poco claros con respecto al origen y la domesticación del jitomate cultivado. Sin embargo, hay algunos puntos con un grado razonable de certeza (Rick, 1976, 1978).

- a) El jitomate cultivado tuvo su origen en el Nuevo Mundo. No era conocido en Europa antes del descubrimiento de América.
- b) El jitomate había alcanzado una fase avanzada de domesticación antes de su llegada a Europa y Asia. Había ya una variedad de tipos caracterizados por la forma, acostillado, tamaño y color de los frutos.
- c) El antepasado más probable del jitomate cultivado es el tomate pequeño silvestre (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). Crece espontáneamente en las regiones tropicales y subtropicales de América y se ha extendido a lo largo de los trópicos del Viejo Mundo.

El lugar donde se produjo la domesticación ha sido controvertido. Los nombres de mala *peruviana* o *pomi* del Perú dados al jitomate por algunos botánicos del siglo

XVI hicieron suponer, que la planta se había recibido del Perú, donde presumiblemente se habría domesticado. Sin embargo estos nombres no parecen tener una base fundamentada. Hay motivos que inducen a creer que el origen de la domesticación de los tomates está en México (Pick, 1978):

a) Mediante estudios electroforéticos de la variación de las aloenzimas se ha demostrado la existencia de analogías mucho mayores entre los cultivares (tanto europeos como primitivos) y los tomates pequeños silvestres de México y América Central que entre los cultivares europeos y las plantas primitivas de la zona andina.

b) A la llegada de los españoles a América el jitomate está integrado en la cultura azteca y en la de otros pueblos del área mesoamericana. Lo cultivan, lo venden y lo consumen en una variedad de formas. Sin embargo, ello no ocurre en la región andina.

c) Además, el jitomate no tiene ningún nombre conocido en quechua, aymara o cualquier otro de los idiomas andinos, mientras que el nombre moderno tiene su origen en el de *tomatl*, en la lengua náhuatl de México.

d) Otro argumento es que en la cerámica y otros utensilios primitivos de la zona andina no se ha encontrado ninguna representación de jitomates o de partes de la planta. Ello resulta extraño en algunas culturas que sistemáticamente representaban las plantas que utilizaban. Así, por ejemplo, el ají figura en la iconografía de las culturas andinas desde el primer horizonte, Chavin. Está grabado en las piedras, modelado y pintado en la cerámica y bordado o pintado en los textiles. En los huacos mochicas aparecen modelados o pintados con realismo un sin número de plantas. Sin embargo, no se conocen representaciones del jitomate.

e) No se han hallado restos de esta planta en los yacimientos arqueológicos de la región andina, mientras que sí se han localizado partes de la mayoría de las plantas nativas cultivadas.

4.3. Importancia del jitomate

En el ámbito mundial el jitomate es la segunda hortaliza que más superficie de cultivo ocupa. En términos de promedio, de 1991 a 1994 la producción de jitomate fresco a nivel mundial registró 72.78 millones de toneladas métricas. Respecto a la producción total mundial se pueden distinguir cinco países, que han contribuido en la presente década con aproximadamente el 47.3 % del total, estos países son Estados Unidos, China, Turquía, Italia e India (Anónimo, 1995).

Por lo que respecta a Estados Unidos, esta nación contribuye con el 14 % del total mundial, obteniendo en promedio 10.6 millones de toneladas métricas anuales de 1991 a 1994; China participa con el 12 % del total, con una producción promedio de 8.56 millones de toneladas; Turquía obtuvo una producción promedio anual de 6.27 millones, lo que le permite contribuir con el 8.3 % del total mundial; por su parte Italia obtiene en promedio una producción de 5.18 millones de toneladas métricas, lo que representa el 7 % mundial y finalmente India, que con una producción promedio anual de 4.41 millones de toneladas métricas, le permite contribuir con el 6 % del total mundial, en el mismo período. Es importante remarcar que de la producción total mundial el 34.2 % lo aporta el continente asiático; el 24.85 % América y el 21.2 % Europa (Anónimo, 1995).

En México el jitomate o tomate está considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada que ocupa y es la principal hortaliza de exportación del país; se considera que representa un poco más del 37 % del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas y el 16 % del valor total de las exportaciones agropecuarias, solo superadas por el ganado vacuno. Como se puede observar en el Cuadro 4.1., el volumen de las exportaciones de

jitomate se ha mantenido más o menos estable, con un promedio de 586 mil toneladas anuales. Sin embargo en el aspecto del valor, se observa una constante variación que coloca al precio del jitomate en 763 dólares por tonelada (Santiago, 2001).

Cuadro 4.1. Análisis de las exportaciones globales de jitomate de México 1991-2001.

Concepto	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Volumen	423.2	219.2	487.5	458.5	717.2	754.2	687.6	759.1	670.2	689.9
(miles de toneladas)										
Valor total	261.7	166.9	394.9	394.5	585.6	539.8	523.4	638.1	541.5	466.1
(millones de dólares)										
Valor promedio	610	760	810	860	810	710	760	840	800	670
(dólares por tonelada)										

Fuente: Banco de comercio exterior, Secretaría de economía 2001. Citado por Santiago, 2001.

Su importancia es fundamental en cuanto a la generación de mano de obra que utiliza esta industria, ya que se estima que una posible guerra comercial de tomates entre México y Estados Unidos, podría provocar una pérdida de 500,000 empleos. La producción de jitomate en nuestro país se extiende a un gran número de estados. Se estima que el año agrícola 1994 abarcó un total de 27 entidades federativas del norte, centro y sur de la nación. Pese a esta enorme diversidad podemos señalar que Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Jalisco y Nayarit (en orden de importancia) contribuyeron en promedio con el 62 % en lo que se refiere a superficie sembrada y cosechada; y con el 74.2 % en lo que respecta a producción (Anónimo, 1995).

Villarreal (1982), expresa que la importancia potencial que tiene el jitomate como opción de producción para los países tropicales, entre ellos México, es muy grande, ya que su cultivo presenta como ventajas: a) la generación de empleo en el campo, ya que demanda un gran número de jornales por hectárea; b) puede generar altos ingresos a los productores a partir de pequeñas superficies; c) como

producto de exportación, es una fuente importante de divisas; d) su contenido de vitaminas y minerales lo hace un producto importante en la nutrición humana.

4.4. Características morfológicas

La planta de jitomate originada de semilla presenta una raíz principal que crece hasta 25 mm diarios (hasta los 60 cm de longitud). Simultáneamente se producen numerosas ramificaciones que pueden alcanzar un diámetro de hasta 1.5 m (Iñiguez, 1991).

El tallo es de consistencia herbácea, aunque tiende a lignificarse en las plantas viejas. En la base llega a medir hasta 4 cm de diámetro y de su epidermis brotan gran número de pelos glandulares y no glandulares (Iñiguez, 1991).

Según Maroto (1986), dependiendo del tipo de crecimiento del tallo, los cultivares se han clasificado como: a) Cultivares con tallos de desarrollo determinado, en los que el tallo principal, una vez que ha producido varias inflorescencias laterales (normalmente entre cada una o dos hojas), detiene su crecimiento como consecuencia de la formación de una inflorescencia terminal; aunque ocasionalmente puede alcanzar los dos metros de altura, son generalmente erectos y arbustivos, con un periodo restringido de floración y fructificación. b) Cultivares con tallos de desarrollo indeterminado, que tienen la particularidad de que el tallo principal no forma una inflorescencia terminal, continuando su crecimiento indefinidamente; la planta puede alcanzar hasta 10 m de altura produciendo inflorescencias de manera continua cada tres o cuatro hojas.

Sin embargo, como lo subrayan Picken *et al.* (1986), ambos tipos son estrictamente determinados ya que, con la aparición de la primera inflorescencia, la yema axilar de la hoja iniciada inmediatamente antes de la inflorescencia es la que continua el crecimiento del tallo. Esta yema se desarrolla de manera diferente a las demás, ya que conforme crece, la hoja mencionada cambia a una posición

por encima de la inflorescencia, pues ésta es desplazada, dando la apariencia de un crecimiento continuo (indeterminado del tallo) principal, con inflorescencias laterales internodales.

Las hojas son compuestas, suaves y carnosas, de tamaño variable según el cultivar, la posición y las condiciones ambientales. Las dos primeras son de menor tamaño, con menos folíolos; las siguientes pueden alcanzar unos 50 cm de largo, con un folíolo terminal grande y hasta 8 folíolos laterales también grandes, los que a su vez, pueden llegar a ser compuestos. Puede haber muchos folíolos simples más pequeños intercalados entre los grandes. Los folíolos grandes son generalmente peciolados, lobulados irregularmente y con bordes dentados; de la misma manera que en el tallo, presentan pelos glandulares causantes del olor característico de la planta (Picken *et al.*, 1986; Maroto, 1986).

Cada folíolo se comporta como una hoja, el folíolo terminal madura primero y puede estar aportando sacarosa cuando los demás la están importando. La transición de una hoja de jitomate, de importadora a exportadora, se da cuando ésta alcanza un 15 a 25 % de su expansión total (Ho y Shaw, 1977).

Kahn y Sagar (1967) y Russell y Morris (1983), mencionan que en cultivos de jitomate bajo condiciones normales de ambiente en invernadero, una nueva hoja es iniciada aproximadamente cada dos días. Cada hoja, según su posición en la planta, abastece preferiblemente ciertos órganos. Pero las hojas pueden exportar simultáneamente en ambas direcciones y se ha encontrado una tendencia del floema interno de translocar sacarosa en dirección ascendente en el tallo y del floema externo en sentido contrario. Los autores citados piensan que la dualidad de direcciones de traslocación de asimilados por el floema es más importante para el abastecimiento de asimilados que el arreglo de las conexiones vasculares.

La inflorescencia del jitomate es formada terminalmente en el tallo, y la iniciación floral es precedida por el alargamiento y achatamiento del ápice del eje principal. La primera flor formada se origina del ápice y un punto de crecimiento lateral que

surge debajo de ella se diferencia como la segunda flor iniciada. Una sucesión de flores es derivada de puntos laterales de crecimiento de la misma manera, hasta que la inflorescencia se completa. Durante el desarrollo de las flores laterales, sus regiones basales se van alineando para formar el eje principal de la inflorescencia de donde derivan los pedicelos de las flores individuales (Hussey, 1963).

Ho y Hewitt (1986), mencionan que una vez que la primera inflorescencia se desarrolla, todas las demás inflorescencias de una planta de tipo indeterminado quedan del mismo lado del tallo, separadas cada una por tres hojas. Las dos primeras hojas por debajo de cada inflorescencia quedan a un ángulo de 90 grados con respecto a dicha inflorescencia, mientras que la hoja por encima de ella queda del lado opuesto (180°).

Las flores del jitomate son hermafroditas, autocompatibles, hipogíneas, de corola de color amarillo canario, con 6 pétalos persistentes de forma estrellada que forman un tubo corto en la base y se abren en un sólo plano. Miden aproximadamente 2 cm de diámetro, tienen pedicelos de 1 a 2 cm de largo, con una articulación engrosada a la mitad, que corresponde a la zona de abscisión. El cáliz es verde y persistente, se forma de un tubo corto terminado en 5 a 10 sépalos agudos, verdes, muy pubescentes. Los estambres son generalmente 6 están insertos sobre el corto tubo de la corola, con filamentos cortos formando una columna. Las anteras son bilobuladas y contienen varios cientos de granos de polen, los cuales son lanzados a través de hendiduras longitudinales; miden unos 5 mm de largo, son verticales y unidas, de color amarillo brillante y rodean al estilo. El pistilo está constituido por un ovario de varios lóculos, generalmente de 5 a 9, con una placenta carnosa central y un estilo largo que ejerce presión sobre las anteras circundantes de las que apenas sobresale y termina en un estigma achatado. Cuando el polen es liberado cae directamente sobre el estigma (principalmente de la misma flor) donde eventualmente germina. (Picken *et al.*, 1986; Iñiguez, 1991).

La floración del jitomate se produce en forma de racimos simples o bifurcados (llamadas corimbos o cimas racimosas), siendo lo normal que en cada inflorescencia simple pueda haber entre 3 a 10 flores, aunque en ocasiones, para ciertos cultivares puede haber 50 o más (Vriesenga y Honma, 1974 b; Rodríguez *et al.*, 1984. Maroto, 1986).

Dependiendo del genotipo, pero sobre todo del ambiente, en la mayoría de los cultivares comerciales puede ocurrir el bifurcado del eje principal de la inflorescencia, de tal manera que se forma una inflorescencia compuesta (Picken *et al.*, 1986). Según Lewis (1953) y Calvert (1973), una inflorescencia compuesta con dos ejes principales puede producir aproximadamente el doble de flores y frutos que una simple.

El fruto es una baya carnosa de color rojo (rosa u amarillo en algunos cultivares), lisa y brillante, sobre la placenta se desarrollan las semilla y contiene una mayor cantidad de haces vasculares que el tejido de parénquima. Cuando madura, su peso varía de 15 g en los cultivares tipo cereza, hasta 450 g en los de tipo "Beefsteak". Presenta formas muy variadas: esférica, oblonga, cuadrada, piriforme, cilíndrica, acorazonada; puede ser lisa o surcada con lóbulos u hombros. En su interior puede presentar de 2 a 30 celdas o lóculos, donde se encuentran las semillas. La epidermis es una capa de células con paredes externas engrosadas por la cutícula, debajo hay tres o cuatro estratos de colénquima que, junto con la epidermis, forman una cáscara fina y resistente que contiene los pigmentos responsables de la coloración. El resto del fruto se forma de parénquima cargado de pigmentos que aparecen como cristales suspendidos en el líquido que rellena las células (Calvert, 1973; Folquer, 1976; Maroto, 1986).

Los frutos jóvenes de jitomate tienen clorofila y fijan CO_2 ; sin embargo, aún a altas irradiancias la tasa de fijación es muy baja ($0.064 \text{ mg CO}_2 \text{ g de peso fresco}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) en frutos jóvenes, e indetectable en frutos próximos a madurar; hay también fijación oscura de CO_2 , que involucra a la fosfoenol piruvato carboxilasa y que

contribuye a preservar el carbón desprendido por la respiración del fruto (Ho y Hewitt, 1986).

4.5. Producción Continúa de Jitomate

Varios autores (Sánchez-Román, 1981; Adamson y Mass, 1981; Romero y Díaz, 1982; Sánchez *et.al.*, 1999) presentan esquemas para producción continua de jitomate y otras hortalizas en hidroponía, tanto a cielo abierto (para climas tropicales secos) como bajo invernadero. En ellas se involucran técnicas como trasplantar las plántulas a mayor edad, las imbricaciones de ciclos, el tutoreo y las podas.

A través de varios trabajos de investigación, en la Universidad Autónoma Chapingo se ha definido una nueva tecnología de producción de jitomate en hidroponía que consiste en manejar altas densidades de población despuntando las plantas para dejar sólo una, dos o tres inflorescencias (racimos); además se eliminan mecánicamente todos los brotes laterales que emite la planta antes, durante y después del despunte, todo con el propósito de establecer muy altas densidades de población (Cancino *et. al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Sánchez, 1994; Ponce, 1995). Así a través de prácticas de manejo se ha logrado un arquetipo de jitomate que, a diferencia de las plantas bajo sistemas convencionales (bajas densidades de población y varios racimos por planta), incorpora varias características adecuadas para el logro de altos rendimientos en un ambiente no restrictivo (invernadero y condiciones hidropónicas).

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 solo 50 cm, así como el área foliar por planta y se fuerza a la planta a un hábito determinado, reduciendo notablemente la competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo, lo que favorece a éste último; además, al dejar una sola inflorescencia por planta, se elimina por completo la competencia entre racimos. Gracias a la reducción de la altura se puede incrementar la densidad de población hasta 25 plantas·m⁻², lo que permite

el establecimiento rápido y temprano, en el ciclo de cultivo, de un índice de área foliar óptimo. El periodo desde el trasplante hasta el fin de la cosecha se reduce, de más de 200 días a menos de 80, sin disminución del rendimiento por ciclo, lo que permite varios ciclos por año incrementando la productividad anual. La biomasa que se logra por m^2 por año es muy superior y el índice de cosecha casi igual al del sistema convencional, por lo que la productividad anual puede sobre pasar las 600 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, lo que representa potencialmente el doble de lo que logran los invernaderos hidropónicos holandeses con su tecnología de punta (Sánchez *et al.*, 1999).

Otras ventajas del sistema de despuntar temprano (dejando 1, 2 ó 3 racimos por planta) y manejar alta densidad son mencionadas por Veliath y Ferguson (1972); Mc Avoy *et al.*, (1989); Cancino *et al.*, (1990); y Sánchez y Corona, (1994): a) concentrar las producciones en fechas de mayor demanda, logrando mucho mejor precio para el productor, b) Disminuir el ciclo de cultivo (70 a 90 días de trasplante cosecha) comparada con los sistemas convencionales (150 a 210 días), lo que da la posibilidad de escapar a enfermedades virosas, fungosas o bacterianas disminuyendo los daños económicos producidas por ellas. c) Eliminar el tutoreo, lo que disminuye considerablemente los costos de instalación y operación. d) Escapar a heladas, bajas temperaturas u otros fenómenos meteorológicos cuando se cultiva bajo invernaderos sin calefacción o a campo abierto.

Otro argumento más a favor del sistema de plantas despuntadas a un racimo en altas densidades, es que sus frutos, por crecer sin la competencia de otros racimos, crecen y pesan más que cuando sí la tienen. Al respecto se puede mencionar el trabajo de Ponce (1995), quien manejó plantas despuntadas para dejar uno, dos o tres racimos por planta y un testigo sin despuntar, encontrando que entre más racimos se dejaban, menor era el peso medio por racimo, a pesar de que las plantas a un racimo se encontraban a la mayor densidad ($24 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$), contra 16, 12 y 6 $\text{plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ en los tratamientos a dos y tres racimos y el testigo, respectivamente.

4.6. Hidroponia

La hidroponia según Merle H. Jensen (1999), es una tecnología para producir plantas en soluciones nutritivas de agua y fertilizantes, donde las raíces se desarrollan en agua o en un sustrato inerte en vez de suelo. Los sistemas hidropónicos se categorizan en sistemas hidropónicos líquidos y con agregados. En los sistemas líquidos las raíces están directamente expuestas a la solución nutritiva, sin ningún otro medio de crecimiento y la solución es reutilizada o reciclada. En los sistemas con agregados, un medio sólido inerte da apoyo a las plantas. Entre los más comunes destacan la arena, la grava, la vermiculita, la turba de musgo o cualquier otro material típico de la región que permite reducir los costos. En ambos sistemas, la solución se suministra directamente a las raíces. Los dos sistemas requieren de cálculos específicos para que, según la variedad de la planta, se le suministre la cantidad adecuada de nutrimento y se desarrolle de manera óptima.

Sánchez y Escalante (1989), definen a la Hidroponia como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan 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 generalmente inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva, con el objeto de proporcionar las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo vegetal. Según los mismos autores, la hidroponia como un sistema de producción de flores y hortalizas es ya una realidad a nivel mundial. Existen empresas en países como Holanda, Inglaterra, Alemania, Estados Unidos, Canadá, Japón, Israel, Italia, España, Australia, Nueva Zelandia, Sudáfrica, Bahamas, Belice, Puerto Rico e inclusive México que obtienen elevadas utilidades económicas de sus unidades. Año con año aparecen numerosas publicaciones sobre este tópico en revistas especializadas.

El interés por esta técnica a nivel mundial obedece fundamentalmente a los altos rendimientos que por unidad de superficie se pueden obtener (100 a 1000 % más que en el cultivo convencional) y a la mejor calidad de los productos obtenidos (lo que significa mejor mercado y precio de venta). Ello es debido fundamentalmente al logro de un balance ideal entre el oxígeno para la respiración de la raíz, el agua y los nutrimentos; a la ausencia de malas hierbas, al mayor control que se tiene sobre plagas y enfermedades, al mantenimiento del pH dentro de los límites óptimos y a que se permite una mayor densidad de población.

Otras ventajas que varios autores (Sholto, 1976; Sánchez y Escalante, 1989; FAO 1990; Resh, 1992) subrayan son: Se puede producir donde el suelo es limitante para la agricultura normal (ya que se prescinde de él); se logra un sustancial ahorro de agua y fertilizantes, hay la oportunidad de usar aguas duras y/o relativamente salinas; no se produce contaminación (ni de agua, ni de aire, ni de suelo) pues se trata de sistemas pequeños y cerrados por lo que es posible y conveniente su uso cerca de los núcleos urbanos con un mercado importante.

El jitomate es la hortaliza que con más frecuencia se cita en la bibliografía referente a los cultivos hidropónicos realizados en todo el mundo; en la mayoría de los casos se señalan más altos rendimientos en promedio (100 a 400 toneladas por hectárea por año) y más calidad cuando se les compara con los sistemas convencionales de cultivo en suelo (20 a 30 toneladas por hectárea por cosecha y con mucho más riesgo). Esto constituye un atractivo comercial para agricultores con poca extensión de terreno, con poco agua o con serias limitantes de suelo (Sholto, 1976; Sánchez y Escalante, 1989; FAO 1990; Resh, 1992).

Es importante realizar una descripción breve de los factores más importantes a tomar en cuenta en dicho sistema de producción; con el objetivo de obtener alta calidad y rendimientos máximos. De tal manera Sánchez y Ponce (1998), mencionan que los factores más importantes a tomar en cuenta en un sistema de producción hidropónico de jitomate bajo invernadero son los siguientes:

a) Agua. Debe ser suministrada sin limitación a la raíz, manteniendo al menos el 75 % de capacidad de retención del sustrato, pero asegurándole, al mismo tiempo, un abastecimiento suficiente de oxígeno. De acuerdo a las condiciones de temperatura, luz, humedad relativa, viento y edad de la planta, el consumo medio de agua (o, mejor dicho, solución nutritiva) será de 4 a 8 L·m⁻²·día⁻¹.

b) Aire. El sustrato con drenaje libre, en su máxima capacidad de retención, debe tener al menos un 20 % de su volumen como espacio ocupado por aire, a fin de proporcionar el oxígeno suficiente para la respiración óptima de la raíz, propiciando así las condiciones para una adecuada absorción y asimilación de agua y nutrimentos.

c) Nutrimentos. Todos los nutrimentos deben estar disponibles sin restricciones ni excesos, a partir de una solución nutritiva balanceada con el pH y la conductividad eléctrica adecuados para una óptima asimilación (pH de 6 a 6.5 y CE de 1.5 a 2.5 mmhos·cm⁻¹). Todos los riegos se hacen con la solución nutritiva, la cual se prepara a partir de fertilizantes comerciales y la concentración de los diferentes nutrimentos esenciales puede variar según las condiciones climatológicas, la especie a cultivar y la edad de la planta.

d) Temperatura. Para un óptimo funcionamiento en cuanto absorción de agua y nutrimentos la raíz debe tener temperaturas similares a las de la parte aérea, por ello debe controlarse la temperatura del sustrato y la de la solución nutritiva con la que se irrigan las plantas.

e) Factores bióticos. En la búsqueda de rendimientos máximos hay que considerar y manejar un conjunto de factores bióticos. En primer lugar se debe partir de variedades (genotipo) que expresen al máximo su potencial genético de rendimiento en medios ambientes muy favorables. En segundo lugar hay que lograr un control efectivo de plagas, enfermedades y maleza. Por último, se debe de contemplar el mejor manejo de las plantas en población a través de aspectos

como la edad de trasplante, la distribución y densidad de plantas, el tipo e intensidad de poda y las formas de tutoreo; todo ello con la finalidad de lograr el establecimiento y mantenimiento de un índice de área foliar óptimo para una máxima intercepción de luz (90 a 95 % de la luz incidente sobre el conjunto de plantas) durante la mayor parte del ciclo de cultivo y con una distribución lo más uniforme posible de la intensidad de esa luz incidente en todas las hojas que conforman el dosel de plantas, pues es así como se logra la máxima tasa de acumulación de materia seca por unidad de superficie por día.

Proporcionando las condiciones climáticas, edáficas y bióticas mencionadas mediante un sistema hidropónico bajo invernadero, además de productos de gran calidad, se pueden lograr sobresalientes expresiones en el rendimiento (por ejemplo 500 a 1000 ton·ha⁻¹·año⁻¹ para jitomate).

4.7. Invernaderos

Sánchez y Escalante (1989); Serrano (1979), entre otros, mencionan que para el caso de los invernaderos es posible controlar de manera económica varios de los factores que actúan como limitantes para la producción y son los siguientes:

a) Heladas y bajas temperaturas. Durante el día la radiación solar capturada por el invernadero permite su calentamiento, de tal manera que manejando la ventilación natural (apertura o cierre de ventanas) es posible lograr temperaturas de 5 a 15 °C mayores a la exterior; sin embargo, durante la noche, la cubierta del invernadero con las ventanas cerradas sólo permite temperatura 1 a 3 °C superior a la exterior. Por ello, en climas donde se presentan heladas o temperaturas por debajo de un mínimo crítico, es necesario aportar calor artificial recurriendo a aparatos como los calefactores a base de gas propano o butano. La rentabilidad de estos equipos estará dada por la frecuencia, duración e intensidad de las bajas temperaturas en la zona y el valor económico del cultivo.

b) Vientos intensos. Aparte del efecto erosivo, los vientos intensos pueden afectar significativamente el rendimiento de los cultivos al ocasionar acames, desecación de las plantas o daños mecánicos (heridas) que propician la introducción de inoculo causante de enfermedades. El invernadero se puede diseñar como una herramienta para controlar la velocidad del viento en el interior; las mallas anti-áfidos que se colocan en las ventanas actúan como rompe vientos disminuyendo en gran medida la velocidad con que el aire penetra, y también ayudan a disminuir la presión que el viento ejerce sobre la estructura del invernadero al dejarlo entrar y salir. En caso de vientos muy intensos, las cortinas de ventilación se pueden cerrar completamente, en cuyo caso habrá que considerar mucha resistencia en la estructura del invernadero ó mecanismos para desviar los embates del aire como pueden ser superficies cóncavas o convexas.

c) Control de la radiación. Si bien la luz es un factor esencial para la fotosíntesis y ésta para el rendimiento, la insolación excesiva (intensa) puede ocasionar daños a los productos hortícolas y a las flores, como por ejemplo: el “golpe de sol” en frutos de jitomate, así como también desordenes fisiológicos como la fotoinhibición (disminución de la fotosíntesis) y la fotooxidación (daños a las membranas celulares y destrucción de la clorofila) que conducen a la disminución de la producción. Mediante la cubierta del invernadero y con la ayuda de mallas es posible lograr una mejor distribución de la luz en las diferentes hojas de las plantas que conforman el dosel (luz difusa) y a intensidades menos fuertes, conduciendo así a una optimización de la fotosíntesis y de producción de materia seca por unidad de área y por unidad de tiempo.

d) Control de plagas y enfermedades. La cubierta del invernadero, incluyendo la malla anti-áfidos actúa como una barrera física contra un gran número de especies de insectos que, a cielo abierto, constituyen plagas de importancia económica ya que merman considerablemente el rendimiento potencial de los cultivos; este control permite una notable disminución en el número de aplicaciones de plaguicidas necesarios para la obtención de la cosecha, lo que constituye una

ventaja económica y ecológica. La cubierta del invernadero también evita daños a los cultivos ocasionados por fenómenos como el granizo, la precipitación excesiva y el anegamiento del suelo consecuencia de la misma; así, indirectamente se logra un control de muchas enfermedades que se presentan como efecto de esas lluvias que presentan heridas en las plantas o que mantienen el follaje mojado o salpicado por lodo el tiempo suficiente para permitir la brotación de esporas de hongos patógenos. El control de insectos vectores, la disminución de daños mecánicos ocasionados por la lluvia o los vientos fuertes, y el mantenimiento del follaje limpio y seco, favorecen el control de muchas enfermedades, por lo que también se reduce notablemente el número de aplicaciones de productos químicos.

En resumen, la obtención de muy altos rendimientos y calidad implica no sólo el control de las condiciones climatológicas sino también de los factores del medio donde crece la raíz (agua, aire, nutrimentos, pH, conductividad eléctrica, temperatura, plagas y enfermedades). Bajo condiciones de invernadero este control se logra más fácilmente, de manera más precisa y a un menor costo económico utilizando un sistema hidropónico con base en sustratos biológicamente estériles y químicamente inertes.

Robledo y Martín (1988); Sánchez y Escalante (1989) y Serrano (1996), expresan que en climas relativamente benignos, (como los existentes en buena parte del país), con invernaderos sencillos y relativamente baratos se puede lograr un control adecuado de los factores anteriores dando como resultado ventajas económicas como las siguientes: a) Aumentar significativamente el rendimiento por unidad de superficie y la calidad de los productos obtenidos, al tiempo que se acorta el ciclo del cultivo; b) Producir varios ciclos de cultivo por año y programar las cosechas para cuando el mercado ofrezca los mejores precios; c) Producir altos ingresos a partir de pequeñas superficies mediante el cultivo de especies con alto valor económico, con mayor seguridad de éxito al no depender de los fenómenos meteorológicos; d) Por las pequeñas superficies involucradas se tiene

la posibilidad de acercar geográficamente las unidades de producción al mercado de consumo, bajando los costos de transporte.

4.8. Factores esenciales para la fotosíntesis

La luz, el CO_2 y la temperatura son los factores que directamente afectan a la fotosíntesis. El abastecimiento de agua y nutrimentos minerales influyen de manera más indirecta.

4.8.1. Luz.

La luz o radiación solar, son pequeños paquetes de materia y energía que viajan en el espacio en forma de longitudes de onda, en donde a mayor longitud de onda menor contenido de energía y que al entrar en contacto con algún cuerpo, la referida energía es liberada en forma de calor o luminosidad. Si no hay luz, no hay fotosíntesis pero sí respiración; la cual, para una hoja es generalmente del orden de 5 a 10 % del CO_2 absorbido con luz plena. Conforme se incrementa gradualmente el nivel de luz (intensidad o irradiancia según las unidades que se manejen) la fotosíntesis se va incrementando hasta alcanzar el punto de compensación por luz, que es el nivel de luz al cual la absorción de CO_2 por la fotosíntesis es igual a la pérdida de CO_2 por la respiración y la fotorespiración (la fotosíntesis neta es igual a 0). Si la intensidad luminosa sigue aumentando hay un incremento de la tasa de fotosíntesis neta, pero, después de cierto punto, hay cada vez menos incremento en la tasa de fotosíntesis neta por cada unidad que aumenta la intensidad luminosa o irradiancia fotosintética, hasta que se alcanza el punto de saturación por luz. Cualquier incremento de intensidad de luz después del punto de saturación ya no incrementa significativamente la tasa de fotosíntesis neta.

De la forma hiperbólica de la curva se deduce, que las hojas son más eficientes en utilizar la energía luminosa a bajos niveles de irradiancia fotosintética. Entre el 41

y el 50 % de la radiación que atraviesa la atmósfera y llega a la superficie de la tierra procedente del sol es luz visible con longitudes de onda entre 400 y 700 nm, un porcentaje similar es radiación infrarroja con longitudes de onda por arriba de los 700 nm y entre un 5 a 9 % es considerada radiación de onda corta (principalmente ultravioleta) con longitudes de onda menores de 300 nm. Se le llama constante solar o flujo solar a la cantidad de energía recibida sobre una superficie plana perpendicular a los rayos del sol ubicada inmediatamente fuera de la atmósfera de la tierra y equivale a $2 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ o $1395 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ($1395 \text{ J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$). La radiación solar recibida en la superficie de la tierra perfectamente perpendicular a los rayos del sol en un día sin nubosidad se reduce de 1395 a entre 976 y $1185 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (1.4 a $1.7 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$) (Gardner *et al.*, 1990).

Según el mismo autor, el eje sobre el que la tierra rota, está inclinado $23^{\circ} 27'$, de tal manera que durante la primavera y el verano el polo norte de la tierra esta inclinado hacia el sol, mientras que el polo sur se encuentra alejado de este. Así que en esas estaciones en el hemisferio norte los días son mayores de 12 horas y duran más entre mayor sea la latitud de una localidad dada (en el polo norte los días duran medio año); la situación contraria ocurre en el otoño y el invierno de este hemisferio. Tomando en cuenta esta inclinación de la tierra los ciclos anuales y diurnos de radiación solar están gobernados principalmente por la latitud y, debido a este efecto de latitud, los siguientes factores influyen en la cantidad de radiación solar recibida en una determinada superficie en un día:

- a) Ángulo de los rayos solares que inciden sobre una superficie dada. A medida que la radiación solar penetra con menor ángulo con respecto a la perpendicular de la superficie terrestre, la radiación se reparte sobre una mayor área de terreno, reduciendo el nivel de radiación por unidad de superficie.
- b) Longitud del día.- A mayor longitud del día mayor radiación solar por día.
- c) Cantidad (longitud) de atmósfera que la radiación debe atravesar como una función del ángulo de los rayos solares.- Por ejemplo, si el sol esta perpendicular (90°) a la superficie del suelo, el número de atmósferas que la

radiación atraviesa equivale a 1; en cambio si la inclinación del sol con respecto a la horizontal es de 60° el número de atmósferas se incrementa a 2 y si el ángulo es de 30° el número equivaldría a 3 atmósferas.

- d) Densidad de partículas (polvo, nubes, smog, etc.) en la atmósfera.- Debido a la presencia de nubes, en muchas regiones tropicales llega mucho menos radiación a la superficie terrestre en la estación húmeda que en la estación seca.

De la radiación solar absorbida durante un día por un dosel de plantas, 75 a 85 % es usada para evaporar agua; 5 a 10 % es almacenada temporalmente como calor sensible en el suelo; 5 a 10 % se intercambia como calor sensible con la atmósfera por procesos convectivos y sólo de 1 a 5 % se utiliza directamente en el proceso fotosintético (Salisbury y Ross, 1994).

Según Pearce *et al.* (1993), la agricultura es básicamente un sistema de explotación de la energía solar a través de la fotosíntesis. Por lo tanto, una estrategia para la producción eficiente esta dada por una máxima intercepción de luz, por la eficiencia con que la energía interceptada por el dosel es usada en la producción de materia seca y por la proporción de nueva materia seca que es traslocada al producto de interés agronómico. Por ello, para lograr un alto rendimiento se debe hacer una manipulación de la densidad de plantación, del arreglo topológico y de la promoción rápida del crecimiento de las hojas.

Así, Mcavoy *et al.* (1989), en plantas de jitomate conducidas a un solo racimo, proporcionando luz suplementaria (más intensidad y duración) sólo durante el período de antesis inicial hasta el amarre del fruto (15 días) que es cuando ocurre el cierre del dosel, incrementó significativamente el número de frutos producidos pero no hubo influencia sobre el peso del fruto, en cambio cuando la luz extra se aplicó en la etapa de crecimiento rápido del fruto (30 días) el aumento fue en el peso del fruto, que ellos atribuyeron a un aumento en la capacidad de la fuente y no a diferencias en la fuerza de la demanda.

Pérez *et al.* (1997), mencionan que la falta de luz detiene la asimilación, formando flores pequeñas, apretadas, defectuosas y pobres en polen. Conviene por ello no usar densidades muy altas para así aminorar este problema. De igual manera, Serrano (1996), indica que la luminosidad tiene una importancia grande, principalmente cuando es escasa, ya que afecta a la floración, fecundación y robustez de las plantas.

Slack y Calvert (1977), indican que cuando varios racimos crecen y se desarrollan casi simultáneamente, los requerimientos de carbohidratos pueden exceder a su producción, lo que llega a afectar el desarrollo de nuevas inflorescencias, sobre todo en condiciones donde el factor luz no es el óptimo. Por ello, se considera que la eliminación de frutos o de una inflorescencia completa puede ser una solución temporal en condiciones de baja irradiancia.

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 baja iluminación, la inflorescencia sólo obtiene asimilados después de que las necesidades del ápice han sido satisfechas (Kinet, 1977). En estas condiciones la inflorescencia puede abortar mientras continúa el crecimiento de las hojas jóvenes.

Dado que las principales fuentes de asimilados para el primer racimo en floración también suministran a las raíces y al ápice (Russell y Morris, 1983), la competencia de estos órganos por los asimilados es crucial para el desarrollo de las primeras flores. Como el brote lateral situado inmediatamente debajo de la inflorescencia también compite por los asimilados, su eliminación puede ayudar a mejorar la floración y la fructificación.

También existe competencia entre racimos. Cuando el suministro de asimilados es limitante por falta de luz, el crecimiento de un racimo en fructificación puede

suprimir la floración de los racimos siguientes. En general, los racimos sucesivos florecen a intervalos de 6 a 7 días, pero hay retrasos de hasta un mes en el desarrollo subsiguiente de algunos racimos posteriores. Tales retrasos no se observan cuando se eliminan de todos los racimos dos tercios de las flores (Hurd *et al.*, 1974).

La actividad fotosintética depende, fundamentalmente, de la iluminación y de la concentración de CO₂, y la velocidad de exportación de asimilados de la hoja durante el periodo de luz es proporcional a la actividad fotosintética. Dado que los asimilados fijados concurrentemente son la principal fuente de suministro de las plantas cultivadas con baja iluminación, la velocidad de exportación está más afectada por la intensidad de luz que por la integral de iluminación (Hand *et al.*, 1993).

4.8.2. CO₂

El aire seco (sin vapor de agua) es una mezcla de gases compuesta por 78 % de nitrógeno (N₂), 21 % de oxígeno (O₂), 0.93 % de argón (Ar), 0.034 % ó 340 ppm de bióxido de carbono (CO₂) y trazas de otros gases. Aunque el contenido de CO₂ es muy bajo en el aire (340 ppm de CO₂ que representan aproximadamente 0.5 g de CO₂·m⁻³ de aire), el 85 a 92 % del peso seco de las plantas es derivado del CO₂ fijado por la fotosíntesis (el resto proviene de la asimilación de nutrimentos minerales). Bajo altas irradiancias, la mayoría de las especies cultivadas muestran una respuesta lineal de la fotosíntesis de la hoja a la concentración de CO₂ atmosférico. El rendimiento de los cultivos se puede incrementar sustancialmente en una atmósfera hasta con 1500 ppm de CO₂. La causa principal de este efecto es la inhibición del proceso de fotorespiración con la alta concentración de CO₂ (Gardner *et al.*, 1990).

El CO₂ llega al cloroplasto por difusión desde el aire a través de los estomas a las células y de ahí al cloroplasto. Hay impedimentos para el movimiento del CO₂ hacia el interior y a través de la hoja, a éstos se les ha dado el nombre de resistencias. Hay tres resistencias principales al flujo del CO₂ hasta el cloroplasto:

resistencia laminar (r_a), también llamada resistencia o efecto de la capa frontera; resistencia estomática (r_s) y resistencia del mesófilo (r_m).

$$r_{CO_2} = r_a + r_s + r_m$$

La resistencia laminar esta relacionada con la concentración de CO_2 en la superficie de la hoja; entre más baja es la concentración mayor es la resistencia. En el campo y, sobre todo en los cultivos bajo invernadero, la turbulencia es el principal factor que influye sobre r_a . Si no ocurre movimiento del aire, la absorción de CO_2 causa una disminución en el gradiente de concentración entre el exterior y el interior que disminuye la velocidad de difusión. Conforme aumenta la turbulencia debida al viento, r_a se reduce a un mínimo, ya que la concentración de CO_2 externa se mantiene prácticamente constante con la renovación del aire (Gardner *et al.*, 1990).

La resistencia estomática es la resistencia a la difusión de CO_2 de afuera hacia dentro de la hoja a través del estoma. Las hojas generalmente tienen la frecuencia estomática necesaria para una eficiente difusión del CO_2 . El principal factor que afecta r_s , es el grado en que los estomas están abiertos. Para calcular esta resistencia se mide la tasa de pérdida de agua de la hoja, que es una medida de la apertura estomática y un indicador de la velocidad de difusión. La resistencia del mesófilo (también llamada residual) es una medida de todo aquello que afecta la absorción de CO_2 excepto r_a y r_s . Esto es porque cualquier cosa que influya sobre la fijación de CO_2 afecta la concentración de CO_2 en el cloroplasto, lo que a su vez influye en la tasa de difusión de CO_2 del aire hacia el cloroplasto (Gardner *et al.*, 1990).

4.8.3. Temperatura

La fotosíntesis debe ser separada en sus partes para establecer su respuesta a la temperatura. La fotofosforilación (reacciones luminosas) es relativamente independiente de la temperatura en el rango en el que las plantas crecen. La

fijación de CO_2 es una reacción controlada enzimáticamente y aumenta exponencialmente con incrementos en la temperatura, hasta que la temperatura alcanza un nivel que provoca la desnaturalización enzimática. La tasa de respiración también se incrementa exponencialmente con la temperatura, lo que ocasiona que haya mucho menos respuesta de la tasa de fotosíntesis neta a la temperatura que la que tiene la tasa de fotosíntesis bruta. La fotorespiración también aumenta exponencialmente con la temperatura en plantas C_3 , dado que también está enzimáticamente controlada, lo que redundará en menores tasas de fotosíntesis neta para especies C_3 que para C_4 a temperaturas relativamente altas (30 a 40 °C) (Berry y Downton, 1982).

4.8.4. Agua

El agua es el sustrato para la fotosíntesis (fuente de electrones y protones), pero solamente el 0.1 % del agua total que pasa por la planta es usada directamente en este proceso. La transpiración consume el 99 % del agua absorbida, mientras que aproximadamente el 1 % es usado para mantener hidratada a la planta, mantener la presión de turgencia celular y hacer posible el crecimiento. La influencia más importante del estrés de agua sobre la tasa de fotosíntesis neta es un incremento en la resistencia estomática debido al cierre de estomas. Si el estrés de agua se hace severo, la resistencia del mesófilo también aumenta debido a daños permanentes en el aparato fotosintético (Gardner *et al.*, 1990).

4.8.5. Edad de la hoja y contenido de nutrimentos minerales

La edad de la hoja tiene un efecto sobre la tasa de fotosíntesis, la senescencia causa una reducción en la velocidad del proceso. El principal factor que influye sobre la tasa de senescencia de las hojas es su contenido de nutrimentos minerales (y de citocininas). El adecuado abastecimiento de nutrimentos minerales permite que tanto las hojas viejas como las nuevas, satisfagan sus requerimientos nutrimentales; sin embargo, si los nutrimentos son limitados, éstos se distribuyen

preferencialmente entre las hojas jóvenes, reduciendo la tasa de fotosíntesis en las hojas viejas. Incluso, se sabe que cuando hay deficiencias de nutrimentos como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, éstos son translocados de las hojas viejas a las nuevas causando que senescan más rápido. Otros nutrimentos que son poco móviles, como el calcio y el fierro pueden reducir la fotosíntesis en las hojas jóvenes al no trasladarse adecuadamente. La reducción de la tasa de fotosíntesis en condiciones de bajos niveles de nutrimentos es debida principalmente a la afectación del aparato fotosintético. Por ejemplo, la clorofila contiene tanto nitrógeno como magnesio; si estos son limitantes, se disminuye la síntesis de clorofila, además nutrimentos como el fierro son precursores para la formación de este pigmento, por lo que su deficiencia también afectará su síntesis (Azcon-Bieto, 1983).

4.9. Fotosíntesis a nivel de dosel y rendimiento

El rendimiento biológico total en materia seca de un cultivo (biomasa total) por unidad de superficie de suelo resulta de la acumulación neta de CO_2 por las plantas a través de toda la estación de crecimiento. Debido a que la asimilación de CO_2 resulta de la absorción de energía solar (irradiancia) y debido a que la radiación solar se distribuye uniformemente sobre una determinada superficie de terreno, 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 de utilización de esa energía para la fijación de CO_2 . La asimilación de CO_2 esta muy estudiada desde el nivel bioquímico y subcelular hasta el nivel de hoja, pero hay poca información a escala de doseles de plantas actuando como población o comunidad. El problema es complejo debido a que los factores ambientales (macro y microambiente) están cambiando continuamente y varían de un sitio del dosel a otro y además las plantas o sus órganos, según se ubiquen en ese dosel, responden de manera diferente (Gardner *et al.*, 1990).

El rendimiento se puede aumentar, incrementando la eficiencia fotosintética y/o la fotosíntesis del dosel, esta última como consecuencia de incrementos en el índice de área foliar, en la duración de la fotosíntesis o mediante una buena distribución de la luz en el dosel para mantener activas, fotosintéticamente tanto a hojas superiores como inferiores. Por lo que se puede decir que, mientras más dure el intervalo entre la siembra y el fin de la cosecha, más energía luminosa podrá interceptar el dosel, produciéndose más materia seca y por ende un mayor peso y tamaño de los frutos, ya que habrá traslocación de asimilados por un mayor período de tiempo, repercutiendo directamente en que el rendimiento agronómico sea mayor (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

Aunque el concepto de índice de área foliar (IAF) puede ser aplicado para estimar la interceptación del Flujo Fotónico Fotosintético (FFF) en un dosel cerrado, muchos cultivos hortícolas se plantan en filas. Para el cultivo de jitomate en invernadero, la estructura del dosel se basa en una, dos o cuatro filas separadas por pasillos que proveen acceso para la colecta de frutos y otras operaciones. Esta estructura del dosel tiene dos características que contrastan con el dosel horizontalmente uniforme de extensiones muy grandes a menudo usadas para estudios de la interceptación del FFF y fotosíntesis de cultivos: Primero, es una extensión horizontal finita y que en el borde del invernadero hay una cara del dosel alta que recibe un FFF adicional de un lado. Segundo el dosel está confinado a filas discretas (Warren Wilson *et al.*, 1992), donde diferentes hojas a una profundidad dada en el dosel pueden recibir cantidades completamente diferentes del FFF (Longuenesse *et al.*, 1993).

En uno de los primeros reportes de jitomate en invernadero donde se midió la interceptación del FFF, Warren Wilson *et al.* (1992), observaron que la interceptación del FFF incidente en lo alto del dosel sumó el 76.5 % mientras casi el 20 % se perdió por los espacios entre filas. La radiación transmitida a través de la profundidad del dosel se reflejó por el plástico blanco en el suelo, por lo tanto la superficie inferior del dosel recibió aproximadamente el 13 % de la radiación

incidente de la superficie superior. El FFF incidente en uno de los lados del dosel (aproximadamente 2 m de altura y 6 m² en área) fue de aproximadamente el 19 % de la incidente en la superficie superior. Warren Wilson *et al.* (1992), sugirieron que la pérdida considerable del FFF por los pasillos puede reducirse cerrando los pasillos, aunque trabajar las plantas puede ser impedido por tales espacios (pasillos).

Loomis y Willians (1970), mostraron que la máxima fotosíntesis del dosel se encuentra cuando la inclinación de las hojas cambia gradualmente de 90° en la capa superior a 0° en la capa inferior del dosel. Basado en la naturaleza hiperbólica de las curvas de respuesta, predijeron una mayor y por lo tanto más eficiente utilización del FFF cuando muchas hojas se iluminan a niveles moderados. Predicciones similares fueron hechas antes por Verhagen *et al.* (1963), quienes sostuvieron que el follaje ideal consiste de capas con cambios continuos en la inclinación de las hojas, así el FFF disponible se dispersa uniformemente sobre el área foliar disponible. Con respecto a la arquitectura del dosel y productividad, Loomis *et al.* (1967), llegaron a las siguientes conclusiones: a) En un ambiente de baja insolación, o con elevaciones solares bajas, una alta eficiencia se puede obtener con ángulos foliares bajos (cercanos a la horizontal) y con bajo IAF; b). Con alta insolación y altas elevaciones solares, la mayor eficiencia se puede alcanzar con una alto IAF y con ángulos foliares grandes, particularmente en el estrato superior del dosel.

Otro estudio donde la intercepción del FFF en un cultivo de jitomate en hileras en invernadero se ha medido es el de Harper *et al.* (1979), quienes reportaron que un incremento en la densidad de jitomates en invernadero en un tercio duplica la intercepción de la radiación. Específicamente, en un cultivo de otoño sembrado a una densidad normal (2.5 plantas·m⁻²), del 15 – 25 % de la radiación solar disponible dentro del dosel foliar se transmitió a la superficie de la cama. Aproximadamente el 30 – 70 % de la radiación solar disponible total se transmitió al piso del invernadero a través de la combinación del dosel foliar y las áreas de

paso. Así, el 30 – 40 % de la radiación solar disponible fue interceptada por las plantas. Sin embargo cuando la densidad de siembra en dos cultivos subsecuentes (primavera) se incrementó a 3.3 plantas·m⁻², el 60 – 70 % de la radiación solar disponible fue interceptada por las plantas.

4.10. Índice de área foliar y tasa de producción de materia seca

Según Pearce (1965), el índice de área foliar no es más que el área hojas que existe por unidad de superficie de suelo. Este mismo autor indica que el número de hojas y tamaño son afectados por el genotipo y el medio ambiente, la posición de las hojas en la planta es controlado principalmente por el genotipo, también tiene un efecto pronunciado sobre la proporción del crecimiento de la hoja y de las dimensiones finales, así como la capacidad para responder a las condiciones imprevistas del medio ambiente y a las condiciones hídricas.

Las hojas son los principales órganos fotosintéticos de las plantas superiores. La luz, el CO₂, la temperatura, el agua y los macro y microelementos son factores que influyen directamente en la fotosíntesis para la producción de fotosintatos así como su mejor aprovechamiento a los productos de interés agronómico (órganos de demanda). Morgan (1986), reporta que estos factores también, junto con el sustrato y el abastecimiento de agua, son de gran importancia en la formación de hojas en las primeras etapas de desarrollo del jitomate como base para acumular fotosintatos en etapas posteriores, así también son significativos el sustrato y el método de riego.

Por otro lado van de Vooren *et al.* (1986), mencionan que, para plantas viviendo en poblaciones, después de que se sobrepasa un cierto de índice de área foliar, como un efecto del sombreado mutuo, 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.

Shishido (1989), menciona que, para el caso del jitomate, las tasas de fotosíntesis de la tercera y séptima hoja decrecen gradualmente con la edad pero la cantidad de fotosintatos producidos se incrementa con el aumento de área foliar, 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 %.

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 al otro. Generalmente se expresa como $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de suelo $\cdot \text{día}^{-1}$. La TCC generalmente esta estrechamente relacionada con la intercepción de radiación solar. Dado que la superficie de las hojas son los órganos fotosintéticos primarios de las plantas, es deseable expresar el crecimiento en base al 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 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de área foliar $\cdot \text{día}^{-1}$). La TAN es una medida de la eficiencia de la fotosíntesis en el promedio de todas las hojas del dosel. Está a su máximo cuando las plantas son pequeñas y la mayoría de las hojas están expuestas a la radiación directa. Conforme el cultivo crece y el IAF aumenta más y más hojas se sombrean, causando una disminución en la TAN conforme el ciclo avanza (Las hojas sombreadas hacen muy poca fotosíntesis y además gastan materia seca para respirar y mantenerse vivas). En doseles con alto IAF, las hojas jóvenes en la punta de las plantas absorben la mayor parte de la radiación solar, tienen una alta tasa de asimilación de CO_2 y translocan grandes cantidades de asimilados a otras partes de la planta. En contraste, las hojas más viejas en el

fondo o en el interior del dosel, bajo condiciones de sombra excesiva tienen muy bajas tasas de asimilación de CO₂ y contribuyen con pocos o ningún asimilado a otras partes de la planta. Cabe aclarar que la TAN no contempla la fotosíntesis no laminar (la que se da en órganos diferentes a las hojas), misma que puede ser importante para el rendimiento en ciertos cultivos (Gardner, *et al.* 1990).

La TAN es pues una medida del promedio de intercambio de CO₂ por unidad de área foliar en el dosel. Cuando se multiplica por el IAF el producto es la TCC.

$$TCC = (TAN) (IAF)$$

Una pregunta crucial para definir prácticas agronómicas encaminadas a incrementar la TCC y eventualmente el rendimiento por unidad de superficie es ¿Cómo hacer que aumente la TAN sin disminuir el IAF ó cómo aumentar el IAF sin una disminución significativa de la TAN?

4.10.1. índice de área foliar crítico e índice de área foliar óptimo

Brougham (1960), trabajando con un dosel integrado por pasto y trébol, mostró que la TCC se incrementa conforme aumenta el IAF hasta alrededor de 5, que es cuando se intercepta en este dosel el 95 % de la radiación solar. Índices de área foliar por arriba de 5 ya no produjeron cambios en la TCC, por ello Brougham denominó IAF crítico a aquél en que el dosel alcanza la máxima TCC (la cual se daba cuando el dosel interceptaba el 95 % de la radiación solar). El término fue adoptado por varios fisiólogos por dos razones: Primero porque la interceptación de energía radiante se aproxima asintóticamente a su máximo, lo que significa que un IAF que intercepta el 100 % de la radiación es muy difícil de medir con precisión y segundo porque la interceptación del 95 % bajo la máxima radiación de 2300 $\mu\text{mol foton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, significa que la radiación en el fondo del dosel es de 115 $\mu\text{mol foton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, que es el punto de compensación por luz para la mayoría de las

especies C_3 . El aumento del IAF para lograr una intercepción de radiación solar superior al 95 % da como resultado incrementos insignificantes o nulos de la TCC.

Watson (1958), realizó un experimento similar al de Brougham con col y betabel en hileras y varió el número de plantas por hilera para cambiar el IAF. Midiendo el IAF y el peso seco a intervalos de 10 días, encontró resultados similares, excepto que con col la máxima TCC se alcanzó a un IAF de 3.5 y luego disminuyó con IAF mayores. Otros autores han encontrado resultados similares, lo que ha dado lugar al concepto de IAF óptimo que es el IAF al cual la TCC es máxima.

Una vez que se alcanza la máxima TCC, los conceptos de IAF crítico e IAF óptimo difieren debido a la respiración del dosel. La fotosíntesis aumenta hasta que toda la radiación es interceptada por las superficies fotosintéticas. Cualquier incremento en el área foliar sólo ocasionará el sombreamiento de las hojas inferiores, las cuales, en estas condiciones serán incapaces de producir suficiente fotosíntesis para satisfacer sus propios requerimientos de respiración y pueden incluso usar fotosintatos producidos en otras hojas (se vuelven parásitas); todo ello conduce a una disminución de la TCC. En varias especies, sin embargo, se ha visto que las hojas expandidas de la parte inferior del dosel no importan fotoasimilados de otras hojas y conforme van quedando sombreadas su respiración se reduce a un mínimo de manera acorde a su reducción de fotosíntesis. En tales especies se tiene una respuesta de IAF crítico. Una respuesta de IAF óptimo puede ocurrir cuando se sombrean hojas jóvenes (Watson, 1958).

En soya desarrollada en cuatro densidades de población (6.4, 12.8, 25.7 y 51.6 plantas·m⁻²) Shibles y Weber (1966) encontraron que la densidad más alta resultó en un incremento en IAF y una reducción en el número de días de emergencia al 95 % de la intercepción de radiación solar. Un ancho espaciado resultó en una menor intercepción en todas las etapas de desarrollo previo a la intercepción máxima, la cual fue considerablemente retrasada. Brougham (1960), comparó el rendimiento del crecimiento de varios cultivos en el mismo sitio y encontró una

correlación positiva entre tasas máximas de producción de biomasa e IAF crítico. Encontró que las plantas que usaron la mayoría de hojas para interceptar el FFF crecieron más rápido, sugiriendo que un dosel eficiente debe permitir alguna penetración del FFF bajo las hojas más altas y que la repartición del FFF disponible entre muchas hojas es un prerequisite de una alta productividad total. Esto no es sorprendente debido a que a niveles normales de CO₂ las hojas individuales de muchas plantas C₃ alcanzan tasas de asimilación máximas con aproximadamente un cuarto de la radiación disponible de la luz solar total de verano en una zona templada (Blackman, 1961); algunas de estas hojas realmente absorben de 80 a 90 % del FFF incidente sobre ellas (Monteith, 1980).

4.10.2. Área foliar e interceptación de radiación solar

En las plantas anuales el área foliar, la encargada de absorber la radiación solar, se desarrolla a partir de plántulas y es pequeña por un periodo relativamente largo; esto ocasiona la absorción de la mayoría de la radiación solar por la superficie del suelo produciendo calor sensible. Las especies de cultivo eficientes tienden a invertir la mayoría de su crecimiento inicial en la expansión de área foliar, lo que resulta en un uso 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 interceptación de luz en fases más tempranas del ciclo de cultivo. Conforme se desarrolla el área foliar, la interceptación de 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 interceptación importante de la radiación por varias semanas. Dado que 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.*, 1990).

El desarrollo del IAF en el tiempo es de suma importancia debido a su relación cercana con la interceptación del FFF, un prerrequisito de la fotosíntesis (Williams *et al.*, 1965; Shibles y Weber, 1966). El desarrollo de un área foliar adecuada para la cubierta 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 elogiado por muchos investigadores por sus beneficios en la interceptación del FFF en la temporada de crecimiento y por lo tanto en la producción final. La manera más conveniente de incrementar el IAF rápidamente es incrementando la población de plantas y esto se ha demostrado en varios cultivos, como por ejemplo soya (Buttery, 1969), chile (Verheij y Verwer, 1971), lupin (Herbert, 1978), jitomate (Harper *et al.*, 1979; Papadopoulos y Ormrod, 1990) y pepino (Nederhoff, 1984).

4.11. Disminución de la radiación a través del dosel

Los cultivos a escala 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 porción bastante menor de luz directa (rayos de sol que llegan a pasar). La radiación indirecta se vuelve dominante debido a la radiación transmitida a través de las hojas y reflejada de las superficies 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. Dado que las plantas absorben energía principalmente entre los 400 y 700 nm, las longitudes de onda más largas se tornan más prominentes en los estratos inferiores del dosel (Gardner *et al.*, 1990; Papadopoulos y Ormrod, 1990).

Wit (1965), mencionó que los doseles se pueden clasificar de acuerdo al ángulo de inclinación de la mayoría de sus hojas. Se les llama planófilos a los doseles que tienen la mayoría de sus hojas horizontales o con muy poca inclinación ($< 35^\circ$

de la horizontal) y erectófilos a los que tienen la mayoría de sus hojas casi verticales ($>$ de 60° con respecto a la horizontal). La inclinación de las hojas afecta la intercepción de la radiación y su distribución en el dosel. Los doseles planófilos necesitan menos área foliar para interceptar la mayoría de la radiación incidente que los doseles erectófilos. Por ejemplo, un dosel planófilo de trébol intercepta un 95 % de la radiación a un IAF de 5, mientras que un dosel erectófilo de pasto lo hace hasta alcanzar un IAF de 9.

4.12. Inclinación de las hojas y eficiencia fotosintética

La fotosíntesis de la hoja es más eficiente (CO_2 fijado por unidad de luz) a bajos niveles de radiación. Por lo general 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 de arriba realizan fotosíntesis máxima por estar saturadas por luz, mientras que las de abajo tienen una fotosíntesis reducida debido al sombreadamiento, esto limita el aumento de la fotosíntesis total del dosel ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}$ de suelo cubierto por el dosel $\cdot\text{s}^{-1}$) al incrementar el IAF. Teóricamente un dosel de este tipo podría ser más eficiente (mayor fotosíntesis total del dosel por unidad de área de suelo) si la radiación estuviera distribuida más homogéneamente entre todas las hojas. Esto último podría lograrse con un dosel donde las hojas de arriba fueran erectas y las de abajo planófilas con el sol ubicado cerca del zenit (Gardner *et al.*, 1990).

El concepto teórico de maximizar la fotosíntesis del dosel a través de una mayor orientación vertical de las hojas. Por ejemplo (en condiciones de no sombreadamiento), cuando las hojas presentan un ángulo de 75° con respecto a la horizontal y con una fuente de radiación vertical, interceptan sólo el 26 % de lo que las hojas horizontales. Debido a que la respuesta de la fotosíntesis a la radiación no es lineal sino hiperbólica y a que la eficiencia de la radiación para producir fotosintatos es mayor a bajos niveles de radiación, las hojas verticales son más eficientes por unidad de radiación interceptada. En el ejemplo anterior, se dijo que

una hoja con 75 % de inclinación sólo intercepta 26 % de radiación (es decir deja escapar un 74 % de ésta) pero su fotosíntesis sólo se reduce alrededor de 21 % con respecto a una hoja horizontal. Dicho de otra manera, una pequeña reducción en la fotosíntesis de las hojas superiores debido a su inclinación vertical permite que mucho más radiación penetre a los estratos inferiores del dosel permitiendo, al menos teóricamente un incremento dramático en la fotosíntesis total del dosel y por lo tanto, en la TCC bajo altos índices de área foliar. En el siguiente cuadro se muestra la tasa de fotosíntesis de la hoja y de todo el dosel, así como el IAF óptimo al hacer variar el ángulo foliar con respecto a la horizontal (Gardner *et al.*, 1990).

Cuadro 4.2. Relaciones calculadas entre orientación de las hojas, fotosíntesis de las hojas, índice de área foliar y fotosíntesis total del dosel por unidad de área de suelo.

Angulo foliar con respecto a la horizontal (°)	Tasa de fotosíntesis de la hoja (mgCO ₂ ·dm ⁻² hoja·s ⁻¹)	Índice de área foliar para interceptar 95 % de luz	Fotosíntesis total del dosel (mg CO ₂ ·dm ⁻² suelo·s ⁻¹)
0	33	1	33
60	31	2	62
75	26	4	104
85	12	10	120

Fuente: Gardner, *et al.*, 1990.

Doseles con hojas verticales tienen máximas TCC a IAF menores de 3. Los doseles con hojas verticales necesitan IAF mayores a 4 para sobrepasar la TCC de doseles basados en hojas horizontales. A bajo IAF hay poca sombra entre hojas, de tal manera que los doseles con hojas horizontales tienen ligera ventaja sobre los basados en hojas verticales debido a mayores irradiancias en la superficie de las hojas; sin embargo, a alto IAF los doseles con hojas verticales tienen ventaja debido a que la luz está distribuida de manera más uniforme sobre el área foliar del dosel; la menor intercepción de radiación por las hojas superiores permite que un mayor porcentaje de luz sea interceptado por las hojas inferiores maximizando la fotosíntesis total del dosel (Loomis y Williams, 1969).

El sol no siempre está verticalmente colocado (en el zenit); el ángulo de los rayos solares incidente sobre el cultivo cambia estacionalmente y durante el día. Loomis y Williams, 1969, citan a Duncan *et al.* (1967), quienes calcularon el efecto del ángulo de las hojas y el IAF sobre la TCC durante un periodo diurno. Durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, cuando los rayos del sol llegan en ángulos casi horizontales, ni el ángulo de las hojas ni el IAF tienen efecto en la TCC. En las horas del mediodía las hojas horizontales tienen la ventaja con un IAF de 4, mientras que doseles basados en hojas a 80° con respecto a la horizontal presentan una TCC mucho mayor a IAF 8 con respecto a IAF 4 ó IAF 2.

La inclinación de las hojas puede variar en los distintos estratos del dosel. Los doseles con las hojas verticalmente inclinadas en la parte superior del dosel y que gradualmente van siendo más horizontales hacia el interior del mismo se han considerado como los follajes mejor arreglados para máxima fotosíntesis del dosel (Pendleton *et al.*, 1968), mostraron que doseles de maíz con las hojas arriba de la mazorca amarradas en posición vertical rindieron más (12.20 ton·ha⁻¹) que aquellos en los que esas hojas se dejaron en su posición horizontal (10.68 ton·ha⁻¹) o cuando se tutoraron todas las hojas en posición vertical (11.38 ton·ha⁻¹). Si la radiación se distribuye uniformemente sobre toda el área foliar, el dosel puede no requerir los índices de área foliar tan extremos que son necesarios para una alta TCC en doseles con todas las hojas verticales.

Muchas especies de plantas dicotiledóneas a menudo cambian el ángulo de inclinación de sus hojas en respuesta al sol (movimientos heliotrópicos). Algunas orientan sus hojas perpendicularmente a los rayos solares, otras pueden angular la superficie foliar en relación a la radiación solar directa. Bajo condiciones de nubosidad se ha observado que cultivos como la soya orientan sus hojas perpendicularmente a la parte más brillante del cielo, mientras que mantienen un ángulo oblicuo con respecto a la insolación directa (Kawashima, 1969). Se han realizado pocos estudios para determinar si esta característica se puede estabilizar y usar para una mejor intercepción de la radiación.

4.13. Separación vertical de las hojas

La densidad vertical de las hojas influye sobre el patrón de luz en el interior del dosel. Una hoja justo debajo de otra puede recibir tanto sombra directa como luz directa de acuerdo con su posición; entre más alejada esté esa hoja de la superior es menos prominente ese contraste de luz y sombra debido a la difusión y dispersión de luz (penumbra). Hojas grandes pero bastante separadas como las del girasol crean un patrón de luz difusa en el interior del dosel. Si las hojas están muy separadas verticalmente o son muy angostas las sombras de las mismas se harán difusas y la distinción entre radiación directa y difusa tenderá a desaparecer. Parece que la mayoría de las plantas ha evolucionado formando hojas a una distancia vertical que es dos veces mayor que el ancho de dichas hojas. Con el desarrollo de variedades enanas este factor de distancia ha cambiado de tal manera que la distancia vertical es menor al doble del ancho de las hojas. Loomis y Williams (1969), sugirieron que el arreglo de las hojas en cultivares enanos puede mejorarse reduciendo el ancho de las hojas, induciendo menos hojas por planta y /o arreglando las hojas en un patrón espiral.

4.14. Estrategias para maximizar el uso de la energía solar

Se puede definir al rendimiento como la acumulación de materia seca en el tiempo. De que tan eficientemente utiliza el cultivo la radiación solar y de 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 y le llamó duración del área foliar, concepto 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 del principio al fin del área foliar. Generalmente la duración de área foliar está estrechamente correlacionada con el rendimiento porque la intercepción de radiación solar por periodos de tiempo más prolongados significa mayor producción total de materia

seca. Dentro de las estrategias para maximizar el uso de la radiación incidente se pueden mencionar las siguientes:

4.14.1. Densidad de plantas y su manejo

Holliday (1960), menciona que, la intercepción eficiente de energía radiante por la superficie del cultivo requiere del desarrollo de un área foliar adecuada, uniformemente distribuida para lograr una completa cobertura del suelo. Esto se logra manipulando la densidad de plantas y su distribución, así como combinando técnicas como los despuntes, las podas, el tutoreo 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 cómo los cultivos logran altos rendimientos; sin embargo, éstas variables son difíciles de medir y por razones prácticas se manejan indicadores como la densidad de plantas y el rendimiento final. Tomando en cuenta esto, al hablar de densidad de plantas, se debe tener claro que lo que se busca con el manejo de la densidad de plantas (u las otras técnicas) es lograr y mantener un IAF óptimo lo más pronto posible en el ciclo para el logro de rendimiento máximo (Harper *et al.*, 1979; Papadopoulos y Ormrod, 1990).

La definición de una densidad de plantas óptima debe basarse en los siguientes aspectos relacionados con las plantas o con el ambiente que las rodea:

- a) El tamaño de las plantas (que es un reflejo primario del área foliar por planta). El área foliar por planta determina el número de plantas necesarias para desarrollar un IAF crítico. La inclinación de las hojas (u otras técnicas como las podas, despuntes, tutoreo, etc.) puede modificar el IAF crítico y la densidad debe ajustarse a esa modificación.
- b) El ramificado. Es una manera efectiva de aumentar el área foliar por planta y disminuir la sensibilidad del rendimiento a la densidad de plantas. En plantas de sorgo que amacollan (ramificado desde la base), el número de panojas por

hectárea aumentó sólo un poco cuando la densidad de plantas cambio de 32,000 a 128,000 plantas·ha⁻¹, indicando la presencia de casi tres macollos por planta a 32,000 plantas·ha⁻¹. Cuando la densidad se duplicó de 128,000 a 256,000 plantas·ha⁻¹, el número de panojas por hectárea también se duplicó, indicando que casi no hubo amacollamiento a 128,000 plantas·ha⁻¹. Sin embargo, el aumento de la densidad no incrementó el rendimiento de grano porque conforme aumentaba el número de panojas por hectárea, el número de semillas por panoja disminuía proporcionalmente.

- c) El acame. Después de cierto límite, el aumento de la densidad causa que las plantas disminuyan su área foliar y se debiliten, los tallos se vuelven, más delgados y débiles y a menudo más altos, ocasionando el acame, lo que ocasiona disminución en el rendimiento económico.
- d) Reducción del amarre de fruto. Conforme aumenta la densidad (mejor dicho el IAF), las flores potenciales y después los frutos{ no amarran o son abortados poco después. Esto va reduciendo el rendimiento por planta y, después de cierta densidad, puede reducir el rendimiento por unidad de superficie.

El ambiente también influye sobre la densidad óptima para rendimientos máximos. Los principales factores involucrados son: irradiancia, humedad y fertilidad del suelo. Entre más escasos estos factores menor será la densidad (IAF) a manejar y en consecuencia menor será el rendimiento. Las malezas compiten con las plantas de cultivo por estos factores (Gardner, *et al.* 1990).

Cuando lo que se busca es 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 el crecimiento vegetativo o para la respiración de mantenimiento y queden menos disponibles para el crecimiento de los frutos o granos. Cuando lo que se busca es rendimiento vegetativo (por ejemplo forraje) la respuesta al incremento de la densidad es asintótico, similar al del IAF crítico. En este caso debe procurarse formar un dosel denso tan pronto como sea posible. Aunque no hay una pérdida de rendimiento por estar sobre el

IAF crítico, tampoco hay ganancia porque no se puede interceptar más del 100 % de la luz (Pendleton *et al.*, 1968).

4.14.2. Distribución de plantas

Generalmente en estudios de interceptación de radiación solar se asume que las plantas están uniformemente distribuidas en el terreno y que sus hojas están distribuidas homogéneamente en el dosel. Sin embargo, cuando se manejan cultivos agrícolas muy rara vez es este el caso. Las plántulas o semillas generalmente se siembran en hileras discretas. 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 el logro de altos rendimientos por unidad de superficie es interceptar tanta radiación solar como sea posible y la distribución equidistante de plantas es la que da la más temprana y máxima interceptación 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 las plantas afecta la densidad óptima. La densidad debe aumentar y la distancia entre hileras disminuir en plantas de poca altura para una interceptación óptima de la radiación fotosintéticamente activa y alcanzar así el potencial de rendimiento del cultivo (Gardner *et al.*, 1990).

Jorge (1999) realizó un experimento en tinas orientadas Norte-Sur, buscando una mejor interceptación de luz por dosel. Formó un dosel en forma de prisma triangular manejando 25 plantas·m⁻² de superficie útil distribuidas en un cuadro real (cinco hileras de plantas por tina 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. De esta manera logro alojar 45 racimos·m⁻² útil de tina contra 25 que se logran con el sistema de despunte a un racimo ó 36 con el esquema a tres racimos y 12 plantas·m⁻² útil. Con esta disposición de plantas,

formando un dosel en forma de pirámide, obtuvo un rendimiento de $30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, superando de manera significativa al testigo comercial ($12 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ y tres racimos por planta).

En otro trabajo Vázquez y Sánchez (inédito), formaron en cada tina de cultivo (de 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad) doseles en forma de escalera (escaleriformes) mediante el manejo de hileras de plantas con diferente nivel de despunte y densidad, con orientación este-oeste, que es el sentido longitudinal de las tinas. Así la hilera de plantas ubicada al lado sur de cada tina se manejó con despuntes para dejar un racimo por planta (dando plantas de aproximadamente 50 cm de altura) y 10 plantas por metro lineal, la hilera central se despuntó para dejar tres racimos por planta (dando alrededor de un metro de altura) y 6.5 plantas por metro lineal; la hilera ubicada al norte de la tina se despuntó a seis racimos por planta (dando aproximadamente 1.8 m de altura) y cuatro plantas por metro lineal. Con esta disposición se lograron $44 \text{ racimos}\cdot\text{m}^{-2}$ de superficie útil, contra sólo 36 en el tratamiento testigo con dosel uniforme y cuatro hileras de plantas manejadas a tres racimos y $12 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ de superficie útil.

Con estos arreglos en forma de escalera el sol corrió en dirección longitudinal de las tinas, pero la mayor parte del ciclo del cultivo (que transcurrió durante parte del invierno y toda la primavera) con un ángulo de inclinación hacia el sur con respecto al zenit. De esta manera se logró que las hileras de plantas más grandes no sombrearan a las hileras de plantas más chicas. EL rendimiento fue de $29.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, en tanto que el testigo manejado en dosel uniforme y cuatro hileras de plantas sólo rindió $19 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Torres (2001), trabajó con pepino americano con doseles en forma de escalera (escaleriforme), manejó cuatro hileras de plantas colocadas en contenedores (tinas) a diferente altura, en dirección Este-Oeste; con una densidad de cinco plantas por metro lineal ($20 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-2}$ de superficie útil) y despuntadas a un metro de altura. Obtuvo así un rendimiento de $26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, en tanto que el testigo

que se manejó en dosel uniforme con cuatro hileras de plantas despuntadas a un metro de altura, en tinas ubicadas en la misma dirección que las anteriores, a una densidad de 20 plantas·m⁻² de superficie útil; rindió 24 kg·m⁻².

4.15. Análisis del rendimiento.

Charles-Edwards *et al.* (1986), establecen que el rendimiento de un cultivo depende en última instancia de cinco determinantes fisiológicos del rendimiento: a) La cantidad de energía radiante interceptada por el dosel; b) la eficiencia con que la energía interceptada por el dosel es usada en la producción de nueva materia seca; c) la proporción de nueva materia seca que es traslocada al producto de interés agronómico; d) la tasa de pérdida de materia seca, y e) la duración del crecimiento y producción de la planta. A continuación se desglosa cada uno de estos determinantes en función de las aportaciones de varios autores al respecto.

4.15.1. Cantidad de radiación interceptada por el dosel

De acuerdo con varios autores (Loomis y Willians, 1969; Gardner *et al.*, 1990; Jones, 1986; Nobel y Long, 1988; Acock, 1991). La cantidad diaria de energía radiante interceptada por un dosel (J) depende tanto de la cantidad diaria de energía incidente sobre él (S) como de la proporción de ella que es absorbida efectivamente en dicho dosel.

$$J = SQ$$

Si 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).

$$Q = 1 - e^{(-KIAF)}$$

Nobel y Long (1988), definen el coeficiente de extinción como la fracción de la energía de la radiación fotosintéticamente activa incidente absorbida por unidad de área foliar de un dosel vegetal.

Para doseles en que se supone una distribución azarosa 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 con respecto al horizonte, de la anchura finita del disco solar, de los cambios en la distribución espectral de la radiación incidente al penetrar el dosel, de las múltiples reflexiones de la radiación incidente dentro del dosel y de la disposición o arreglo de las hojas tanto vertical como horizontalmente (Pearce *et al.*, 1967; Milthorpe y Moorby, 1974; Campbell, 1981; Nobel y Long 1988).

Por lo general los valores de k se encuentran entre 0.3 y 1.0, y para IAF altos (más de 3) entre menor sea su valor la distribución de la luz en el dosel se considera más eficiente para la fotosíntesis. En doseles con hojas verticales, como en muchas gramíneas, la luz penetra con facilidad hasta los estratos inferiores, por lo que el valor de k con frecuencia es bajo (0.4 a 0.5). Por el contrario, doseles con hojas horizontales como en el caso de cultivos de papa, soya, girasol, etc., presentan coeficientes de extinción elevados (Rubio, 1994). Sánchez (1994), obtuvo un k de 0.7 para jitomate (cv. Humaya) a los 82 días después de la siembra (inicio de crecimiento rápido de los frutos del primer racimo), manejando tratamientos de despunte para dejar dos o tres racimos por planta.

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 lo más uniforme en el dosel.

4.15.2. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel

Lawlor (1993), mencionó que, en general la eficiencia de conversión de RFA en materia seca para diferentes cultivos agrícolas oscila entre 1 y 2 g de materia seca por MJ de RFA absorbido por el dosel siendo los valores más altos para plantas de ciclo fotosintético C_4 , mientras que Charles-Edwards *et al.* (1986), reportaron eficiencias promedio de $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{J}^{-1}$ para la mayoría de las especies de plantas creciendo en condiciones ambientales óptimas. Citan un trabajo en donde se encontró ese valor de $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{J}^{-1}$ en plantas jóvenes de girasol (dicotiledónea C_3) y amaranto (dicotiledónea C_4), otro de $2.4 \mu\text{g}\cdot\text{J}^{-1}$, para plantas de avena (monocotiledónea C_3) y uno más de $2.6 \mu\text{g}\cdot\text{J}^{-1}$ en sorgo (monocotiledónea C_4). Como se puede apreciar los valores son muy similares tanto para monocotiledóneas como para dicotiledóneas, y tampoco influye el que tenga un mecanismo fotosintético C_3 ó C_4 .

Hurd y Thorley (1974), indican que la TAN y la Tasa Relativa de Crecimiento total es máxima en plantas jóvenes de jitomate y que tienden a disminuir con la edad a causa del auto-sombreado de las hojas, debido al mayor requerimiento de energía de mantenimiento por el aumento de tamaño y a la senescencia de las hojas. Al respecto Picken *et al.* (1986), reportaron, para la misma especie, valores de tasa realativa de crecimiento total de hasta 0.6 g de materia seca por gramo de materia seca presente por día en condiciones óptimas de crecimiento y una tasa absoluta de crecimiento total de hasta $194 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ en peso fresco.

Lawlor (1993) y Salisbury y Ross (1994), mencionaron que el rendimiento de los cultivos se ha mejorado en muchas especies en décadas recientes gracias al aumento en el índice de cosecha y que, al menos hasta hora, los intentos de incrementar la eficiencia fotosintética de las hojas ha tenido poco o ningún éxito.

4.15.3. Proporción de nueva materia seca traslocada al producto de interés agronómico

Sonnewald y Willmitzer (1992), entre muchos otros autores, indicaron que los órganos de las plantas pueden dividirse en: a) órganos fuente, definidos como exportadores netos de fotoasimilados (hojas maduras, tubérculos y otras estructuras de reserva en los momentos en que exportan sus azúcares almacenados), b) órganos de demanda, definidos como importadores netos de carbono fijado (yemas terminales o apicales en crecimiento, meristemos en raíces, hojas que inician su crecimiento, flores y frutos en proceso de crecimiento, semillas, etc.); estos órganos son incapaces de fotosintetizar, o su producción de fotosintatos es insuficiente para cubrir sus necesidades.

Los órganos que constituyen la fuente están relacionados con los demandantes por un sistema de transporte de fotoasimilados denominado floema. La sacarosa es el principal fotoasimilado que circula por este transporte y lo hace a través de gradientes de concentración, desde las regiones de alta concentración de sacarosa (fuente) hasta las de menor concentración (demanda). En general, entre mayor es el gradiente de concentración mayor es el flujo de asimilados (cantidad traslocada por unidad de tiempo). El gradiente se puede producir por un aumento de la concentración en el órgano fuente, por una disminución de la concentración en el órgano demandante, o por una combinación de ambos (Salisbury y Ross, 1994; Martínez, 1995).

Lawlor (1993), mencionó que 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).

Hurd *et al.* (1979), observaron en el cultivar Kingley Cross de jitomate, que durante el periodo de crecimiento de frutos, el crecimiento de las hojas se vio sumamente frenado y el de la raíz se detuvo por completo cuatro semanas después de la antesis. La reducción en el crecimiento vegetativo es una consecuencia de que gran parte de los fotoasimilados (alrededor del 90 % en su experimento) es redirigida hacia los frutos en crecimiento. Destacan que esta recesión de crecimiento vegetativo afecta el establecimiento y el rendimiento de racimos inducidos posteriormente (reducción del tamaño de la fuente en relación a la demanda). Ellos atribuyen la alta fuerza de demanda de los frutos a la actividad, dentro de ellos, de ciertas hormonas vegetales (principalmente auxinas y citocininas) para redirigir los asimilados, ya que, según sus datos, la tasa de crecimiento del área foliar disminuyó una a dos semanas después de la primera antesis, antes que los frutos tuvieran fuerza demandante por tamaño.

De manera similar Lipari y Paratore (1986), trabajando con dos cultivares de jitomate (Raf y Winterbird), encontraron que un racimo dado compite en un grado importante con los demás racimos (anteriores y posteriores a él) y que la aplicación de auxinas exógenas a ese racimo aumenta su habilidad para competir.

Fisher (1977), muestra que el mayor grado de competencia para un racimo de jitomate en particular viene del inmediatamente superior a éste, aunque un racimo tan distante como el sexto todavía juega un papel competitivo con respecto al segundo.

Se puede decir que el tamaño de un fruto de jitomate es una función del número y tamaño de las células que lo constituyen. El número máximo de células en un fruto de jitomate es alcanzado dentro de las dos primeras semanas después de la antesis. El tamaño final de las células es afectado por el abastecimiento de

fotoasimilados durante la elongación celular. El potencial para el crecimiento del fruto puede también ser afectado por la secuencia en la que los frutos son amarrados dentro del mismo racimo. Los frutos inducidos primero compiten más favorablemente por asimilados que los que se forman más tarde (Ho, 1984).

4.15.4. Tasa de pérdida de materia seca

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

Las pérdidas de materia seca por respiración son necesarias para el metabolismo de las plantas y, y por regla general, no pueden considerarse negativas para el rendimiento de una planta, a menos que el proceso se dé con tasas más altas en relación a la materia seca producida por la fotosíntesis (Bidwell, 1993). 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).

Las pérdidas de materia seca por ciertos órganos como los tallos o las raíces pueden resultar de la removilización y traslocación de asimilados almacenados en ellos, y una consecuencia, en caso de que el destino de los asimilados traslocados sea el producto económico, puede ser el aumento del rendimiento (Moorby, 1981; Donald y Hamblin, 1983; Hewitt y Marrush, 1986).

4.15.5. Duración del crecimiento

Entre más dure el intervalo entre la siembra y el fin de la cosecha de un cultivo, es decir entre más tardío sea, más energía luminosa podrá interceptar (siempre y cuando su área foliar se mantenga fisiológicamente activa), y si los otros

determinantes del rendimiento se mantienen constantes, más materia seca podrá acumular y eventualmente su rendimiento agronómico será mayor. La duración del periodo vegetativo deberá ser lo suficientemente larga para que el cultivo desarrolle un dosel grande y duradero, para proveer la cantidad necesaria de fotoasimilados a las demandas reproductivas que se desarrollarán posteriormente. Entre más dure el periodo desde 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 traslocación de asimilados por un mayor periodo y el rendimiento agronómico será mayor (Evans y Wardlaw, 1976; Charles-Edwards, 1986).

Mediante el uso de modelos y evidencia experimental, Monteith (1981), muestra que para el logro de altos rendimientos, es más importante la tasa de crecimiento de las hojas y su posterior duración que una alta TAN, pues entre más pronto en el ciclo se establezca un IAF óptimo y más días dure fisiológicamente activo el dosel, más RFA se podrá interceptar y, si otros factores no son limitantes, más rendimiento podrá obtenerse.

Ho y Hewitt (1986), señalaron que los frutos de cultivares modernos de jitomate crecen de un ovario sin fecundar que pesa de 5 a 10 mg hasta un fruto maduro de 15 g (tipo Cherry) a 450 g (tipo Beefstake) en 50 a 60 días después de la polinización. El periodo de crecimiento de los frutos no difiere tanto entre cultivares, como las tasas de crecimiento de los mismos. El crecimiento del fruto puede ser descrito como una curva sigmoideal que puede dividirse en tres etapas. En la primera, que dura de dos a tres semanas a partir de la polinización, el crecimiento está basado principalmente en la división celular y, por lo tanto es lento, alcanzando menos del 10 % del crecimiento total al final de dicha etapa; con todo, en cultivares de frutos grandes, la tasa absoluta de crecimiento del fruto se incrementa de 30 $\text{mg}\cdot\text{día}^{-1}$ a 150 $\text{mg}\cdot\text{día}^{-1}$ en las dos primeras semanas de crecimiento. La segunda etapa dura de tres a cinco semanas y se caracteriza por un crecimiento muy rápido

de los frutos, ocasionado esencialmente por elongación celular, que puede llegar a un máximo de 7 g de peso fresco ó 0.4 g de peso seco por día. Finalmente, hay un período de crecimiento lento de dos semanas, donde casi no hay ganancia de peso de los frutos, pero ocurren cambios metabólicos intensivos que culminan con la maduración de los mismos. En los diferentes cultivares de jitomate, el peso final del fruto está estrechamente correlacionado con el número o peso de semillas y el número de lóculos. El número de óvulos por pistilo varía de 250 hasta 1000 y la proporción de óvulos que desarrollan hasta semilla varía de 20 a 50 % en condiciones ambientales adecuadas.

4.16. Efecto del espaciamiento de plantas en la fotosíntesis del cultivo

El impacto de la radiación solar en el crecimiento y producción del jitomate podría ser atribuido a su efecto en la asimilación fotosintética de CO_2 , una clave para el proceso de la producción de biomasa. Varios estudios (como Peat, 1970; Papadopoulos, 1985; Jones *et al.*, 1988; Longuenesse *et al.*, 1993) en jitomate han revelado que la tasa de fotosíntesis neta de las hojas (fotosíntesis bruta menos la tasa de respiración no asociada con el proceso de fotosíntesis) incrementa de forma lineal en proporción al incremento en el FFF hasta cierto nivel, dependiendo de la historia de luz de la hoja (Acock *et al.*, 1978). Esta es limitada por la tasa de producción de ATP y NADPH en la reacción para la regeneración de la ribulosa bifosfato (Gijzen, 1995). El efecto del FFF en la tasa de fotosíntesis neta disminuye con incrementos en el FFF hasta que este alcanza la saturación cuando la actividad de la RUBISCO llega a ser el factor limitante. Cockshull (1988), reportó que en jitomate de invernadero la tasa de fotosíntesis neta de una hoja se aproxima a un valor máximo a irradiaciones arriba de $100\text{-}150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. En un estudio de Papadopoulos y Ormrod (1988b), la tasa neta de fotosíntesis de las hojas adentro del dosel se encontró que se satura a $170 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ mientras, para las hojas externas, la irradiación de saturación fue de $210 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Harper *et al.* (1979), sugirieron que la saturación de luz del jitomate de invernadero (considerando el dosel entero) no es probable y cualquier decremento en el FFF

reducirá la fotosíntesis total. Observaron que bajo las condiciones de luz baja del invierno en Georgia, USA, una pérdida del 50% de la luz solar disponible podría ser suficiente para causar abscisión floral debido a la baja fotosíntesis por planta.

Se ha reportado que en jitomate, la capa más alta del follaje, 23 % del área foliar total, asimila un 66 % del CO₂ neto fijado por el dosel (Acock *et al.*, 1978). Una reducción en el IAF de 8.6 a 5.2 por eliminación de las hojas más bajas tiene poco efecto en la tasa de fotosíntesis del dosel o la tasa de respiración oscura del dosel. Sin embargo, una reducción más del IAF a 2.9 por eliminación de las hojas medias redujo la tasa de fotosíntesis del dosel por un 33 % y la tasa de respiración oscura a un 25 %. Con evidencia adicional de mediciones de la tasa neta de fotosíntesis de hojas solas del dosel superior, medio e inferior. Acock *et al.* (1978), concluyeron que las diferencias observadas entre las capas de más arriba y de más abajo estaban claramente asociadas con diferencias entre sus ambientes de luz en el dosel más que diferencias en la edad de las hojas.

El efecto de variación en el espaciamiento de las plantas sobre la fotosíntesis neta, a menudo se ha estudiado en términos de las interrelaciones de la exposición de la hoja y edad de la hoja con la tasa neta de fotosíntesis, así como en términos de la habilidad de las hojas de adaptarse fotosintéticamente a un ambiente nuevo menos luminoso como el que se encuentra en el interior de los doseles densos.

Rodríguez y Lambeth (1975), encontraron que el espaciamiento de los jitomates de invernadero en un cultivo de primavera fue el principal determinante de las tasas fotosintéticas por planta, siendo la mayor para las plantas espaciadas a 51 x 41 cm y la más baja en plantas espaciadas a 25 x 41 cm. Sugirieron que el efecto de espaciamiento podría ser visto en términos de exposición de luz en el sentido de que con un espaciamiento ancho hay menos traslape y sombra de hojas, mejor penetración del FFF a las hojas básales, y menos competencia por la luz. También

observaron aumentos significativos en la tasa aparente de fotosíntesis con la adición de 184 y 368 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ de luz suplementaria.

Papadopoulos y Ormrod (1988b), investigaron el efecto de la fotosíntesis neta de cuatro plantas de jitomate en invernadero, espaciadas equidistantemente (23, 30, 38 y 45 cm), sembradas en cuatro filas y reportaron que el espaciamiento de plantas tiene un efecto despreciable sobre la fotosíntesis neta de las hojas superiores aún cuando la fotosíntesis neta de las hojas más inferiores declinó en espaciamientos estrechos. A 23 cm de espaciamiento la fotosíntesis neta de la parte más baja fue de $56 \mu\text{g CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ mientras que la de la parte superior fue de $80 \mu\text{g CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; pero a 45 cm de espaciamiento los valores correspondientes fueron de 80 y $75 \mu\text{g CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente. La fotosíntesis neta en las hojas superiores de las plantas de adentro y afuera del dosel fue más alta que la de las hojas inferiores. Estos autores concluyen que las hojas expuestas de la planta de jitomate podrían ajustar su fotosíntesis por unidad de área foliar arriba para compensar la baja tasa fotosintética de sus contrapartes sombreadas, pero esto podría también deberse a la adaptación de la luz de las hojas (Acock *et al.*, 1978).

La mayor contribución de luz en las hojas de más arriba del dosel en la tasa de fotosíntesis neta del cultivo en el jitomate de invernadero es consistente con el reportado para otros cultivos como trigo (Dhillon y Kler, 1981) frijol de soja (Miyaji, 1984). Altas tasas de luz que saturan la fotosíntesis (en base a área foliar) son típicas de hojas de sol (Boardman, 1977; Torisky y Servaites, 1984), debido a que las hojas reciben la mayor parte de la luz y están adaptadas anatómica, fisiológica y bioquímicamente para hacer el mejor uso de ello. Sin embargo, la contribución de las hojas inferiores en el dosel no debe ser subestimada. Aún cuando están expuestas a niveles bajos de radiación, también están anatómica, fisiológica y bioquímicamente adaptadas para hacer un uso más eficiente de los niveles bajos de radiación, como es evidenciado por sus puntos bajos de compensación de luz y la alta eficiencia por cuanto de luz típico de las hojas de sombra (Boardman, 1977 y Syvertsen, 1984). Sin embargo, Papadopoulos y Ormrod (1988b), obtuvieron

puntos similares de compensación de luz ($50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de FFF) para hojas expuestas (de sol) y sombreadas del dosel de jitomate. Un incremento el peso específico de la hoja (biomasa de la hoja-área foliar) es una respuesta típica de las hojas individuales a ambientes de radiación alta (Louwerse y Zweerde, 1977; Kappel y Flore, 1983; Hancock *et al.*, 1984).

Los resultados experimentales revisados en esta sección revelan que, la fotosíntesis de las hojas del jitomate, estuvo influenciada por el espaciamiento entre plantas. La revisión maneja las complicaciones de calcular la fotosíntesis del dosel a partir de la fotosíntesis de la o las hojas, enfocándose a la distribución del FFF dentro del dosel y variaciones en las tasas fotosintéticas entre las hojas individuales o solas. Sin embargo, se han desarrollado aproximaciones que permiten estimaciones razonables de las tasas de asimilación del dosel de las tasas fotosintéticas foliares. Datos obtenidos usando éstas y otras aproximaciones llevan a la conclusión que el espaciamiento estrecho aumentará la fotosíntesis del dosel en jitomate por una mayor interceptación del FFF como resultado de un incremento en IAF, pero disminuirá la fotosíntesis por planta.

4.17. Efecto del espaciamiento de plantas en el crecimiento del jitomate

El crecimiento se define como un incremento en biomasa (Challa *et al.*, 1995). El crecimiento del cultivo, cuando se expresa como acumulación de biomasa por unidad de área de terreno por unidad de tiempo, se refiere como la tasa de crecimiento del cultivo. Ya que las superficies foliares son el órgano fotosintético primario de la planta, a veces es deseable expresar el crecimiento en base en el área foliar: la acumulación de biomasa por unidad de área foliar por unidad de tiempo se llama tasa de asimilación neta.

En el jitomate de invernadero, debido a su tipo de crecimiento indeterminado, hay una oportunidad adicional de obtener un IAF alto al crecer plantas altas en cuerdas verticales con muchas capas de hojas, como sucede naturalmente en los

bosques. La habilidad 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 jitomates que crecen en el campo, el problema es el tiempo necesario para que se establezca; la producción es muy alta en invernadero, pero el ciclo es muy largo (Harper *et al.*, 1979; Papadopoulos y Ormrod, 1990).

El crecimiento puede expresarse como la tasa de aumento en biomasa relativa a la biomasa total (Tasa de Crecimiento Relativo) y es el producto de la tasa de asimilación neta y la relación o proporción de área foliar, la cual se define como el área foliar para un peso total de la planta que esta disponible para la fotosíntesis (frondosidad de la planta). La proporción de área foliar depende de la forma en que los asimilados se distribuyen entre las hojas y el resto de la planta (relación de peso foliar) y mientras un incremento en biomasa foliar es ocasionado por un incremento en área foliar o grosor de la hoja (área foliar específica) (Papadopoulos y Ormrod, 1990).

Bajo condiciones que favorecen altas tasas de fotosíntesis (alta TAN), el crecimiento de una planta sigue un patrón bien definido con hojas gruesas que tienen una gran biomasa foliar por unidad de área foliar (baja unidad de área foliar) y un área foliar pequeña por una biomasa total dada (relación de área foliar). La evidencia experimental en jitomate indica que la relación entre Tasa Relativa de Crecimiento y radiación total diaria media (FFF que llega) en las plantas jóvenes es una hipérbola rectangular (Bruggink y Heuvelink, 1987), sugiriendo que una luz total diaria baja, disminuye bruscamente la Tasa Relativa de Crecimiento.

En un estudio para determinar los efectos del espaciamiento de plantas de jitomate en bloques de cuatro hileras de plantas, Papadopoulos Ormrod (1988 b) reportaron que el Peso Foliar Específico ($1/\text{Área Foliar Específica}$) disminuyó a

medida que el espaciamiento entre plantas iba compactándose (59 vs. 29 g·m⁻² a 45 vs. 23 cm de espacio en las plantas, de las hileras internas), particularmente para las plantas de adentro del dosel. A 30 cm de espaciamiento el Peso Foliar Específico de las plantas externas fue de 40 g m⁻² mientras las plantas interiores tuvieron 32 g·m⁻².

Parece que al aumentar la radiación total diaria en jitomate puede aumentar la Tas Relativa de Crecimiento por su efecto en el peso foliar específico de las hojas nuevas, que, a su vez resulta en una TAN mejorada o aumentada.

La respuesta de una planta a la radiación incidente ha sido clasificada como fotosintética y fotomorfogénica. (Sager *et al.*, 1982). Los pigmentos vegetales absorben la mayoría de los fotones de las partes ultravioleta (10-400 nm) y visible (390-760 nm) del espectro. En contraste, pocos fotones del rojo lejano (700-775 nm) son absorbidos 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 principales para las clorofilas, y niveles altos de rojo lejano (Ballaré *et al.*, 1995). Los cambios en la relación Rojo: Rojo Lejano, mediada por el sistema fitocromo, puede alterar el patrón de crecimiento de ciertas plantas, así proveen a estas plantas con un mecanismo para sentir la proximidad de los vecinos en plantas erectas (Sánchez *et al.*, 1993; Ballaré *et al.*, 1995). De acuerdo con Ballaré *et al.*, (1995), 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. Ballaré *et al.* (1995) postularon que el incremento en el Area Foliar Total en respuesta a una disminución en el FFF total diario (Bruggink y Heuvelink, 1987) se debió al involucramiento de fotorreceptores de luz azul.

El efecto de la densidad de planta en 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 incrementa la densidad de plantas de 2.5 a 11.3 plantas·m⁻². Papadopoulos y Ormrod (1991), reportaron que la altura de planta y longitud del entrenudo aumentan significativamente con sucesivas disminuciones en el espaciamiento de plantas. Por ejemplo, a 23 cm de espaciamiento, la altura de planta en el interior de la fila 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 internas 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 estas respuestas 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 alargamiento provocados por la disminución de la relación Rojo: Rojo Lejano y señales del FFF debido al aumento de exposición de la planta a la luz son benéficos para una planta sola, porque 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).

4.18. Efecto del espaciamiento de plantas en el desarrollo del jitomate

El espaciamiento estrecho ha mostrado tener un efecto perjudicial en el amarre de frutos aparentemente debido a un inadecuado suministro de fotosintatos debido al sombreamiento. En un estudio de cuatro años, Zahara y Timm (1973) encontraron que el número de frutos amarrados por planta, el número de flores, el número de hojas y el diámetro del tallo; disminuyen al aumentarse la población arriba de 96.3 plantas·m⁻². Ferry y Janick (1970), también trabajaron con jitomate, encontraron que el número de nudos, el número de racimos y el número de flores por planta, así como el porcentaje de amarre de frutos, disminuyeron bruscamente al aumentar la población de plantas. Similares resultados se han reportado en

jitomate de invernadero, con aumentos en las flores totales por planta y porcentaje de amarre de frutos en espaciamientos más anchos (Rodríguez y Lambeth, 1975).

Papadopoulos y Ormrod (1990), reportaron que el amarre de frutos (porcentaje del número total de flores que amarran en frutos) no fue afectada en jitomate por el espaciamiento de plantas, excepto en condiciones extremas de sombra como se encontró en el espaciamiento a 23 cm, para una plantación en otoño (62 % y 64 % de amarre de frutos a 60 y 45 cm de espaciamiento vs. 46 % a 23 cm). Sin embargo, en una plantación en primavera la tasa de amarre de frutos decayó más drásticamente a menor espaciamiento entre plantas (58 %, 52 % y 13% de amarre de frutos a 60 cm, 45 cm y 23 cm de espaciamiento respectivamente).

4.19. Efecto del espaciamiento de plantas en la repartición de asimilados al rendimiento del cultivo

Dos de los principales determinantes de la alta productividad en un cultivo vegetal de invernadero son: su habilidad de producir niveles altos de asimilados en los procesos fotosintéticos y repartir eficientemente una alta proporción de estos asimilados en órganos económicamente importantes (Daie, 1985). Cuando el suministro de asimilados aumenta, las tasas de crecimiento de los órganos de demanda o almacenamiento de los asimilados, también aumentan. A largo plazo, el número de estos órganos de demanda también se pueden incrementar, debido a un aumento en las tasas iniciales y/o disminución en las tasas de aborto. Algunas veces, ocurre retroalimentación como resultado de una reducción de la tasa fotosintética. Sin embargo, en jitomate de invernadero no se encontró correlación entre demanda de almacenamiento y fotosíntesis (Marcelis y De Koning, 1995).

Cockshull *et al.* (1992), cultivaron plantas de jitomate bajo condiciones sin sombra, sombra ligera (reducción del 6.4 % en la radiación solar incidente en las plantas) y sombra fuerte (23.4 % de reducción), y reportó que los dos tratamientos con sombra

redujeron la producción de peso fresco total de los frutos en 7.5 % y 19.9 % y la biomasa total estimada sobre el terreno en 6.2 % y 16.5 %, respectivamente. En las primeras 14 semanas de cosecha (Febrero a mayo), la producción se acumuló en proporción directa con la cantidad de radiación solar recibida y, a pesar del tratamiento, 2.01 kg de peso fresco de frutos se cosechó por cada 100 MJ de radiación solar incidente en los cultivos desde el inicio de la cosecha.

El rendimiento por planta del jitomate puede dividirse en dos componentes: el número de frutos y su peso promedio. El número de frutos recién desarrollados que crecen en una planta depende fuertemente de la relación fuente-demanda, es decir la relación entre la suma de fuerzas de 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 los efectos del sombreado en el rendimiento de frutos de jitomate, el número de frutos por racimo estuvo positivamente correlacionado con la radiación solar recibida, más evidentemente cuando se recibió menos de $1.5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ alrededor del momento de la primera antesis de un racimo. El número de frutos fue similar en todos los tratamientos, pero en la primera parte de la temporada o estación, se produjeron pocas flores abiertas y pocos frutos comerciales. Cuando la relación fuente-demanda fue baja, estuvo disponible una cantidad suficiente de asimilados para los frutos jóvenes que empezaban su crecimiento. Sin embargo, con el incremento en el peso de frutos y/o disminución del FFF, la relación fuente-demanda aumentó resultando en el aborto de los frutos jóvenes. La duración del desarrollo del fruto no se afectó por el sombreado, sin embargo, Heuvelink (1995b), sugirió que un incremento en la fuerza de la fuente debida a una variación en el espaciamiento de plantas incrementaría el número de frutos que crecen en la planta al mismo tiempo.

El tamaño potencial de un fruto de jitomate depende de su posición en el racimo y del cultivar (Ho, 1992), pero el tamaño alcanzado realmente depende también de

la cantidad de asimilados producidos por el follaje y el número de frutos que compiten por los asimilados (Ho, 1980). La cantidad de asimilados producidos por el follaje esta regulada por la fotosíntesis, que en turno, depende de la cantidad de radiación incidente en el cultivo, el área del follaje disponible para interceptar la radiación solar y la concentración promedio de CO₂ por día. El número de frutos que compiten por los asimilados está relacionado con la tasa de iniciación de racimos, el número de frutos amarrados en cada racimo, el número de plantas por metro cuadrado y la duración del desarrollo del fruto, aunque la habilidad de competencia de los frutos, calculada por su tasa de crecimiento, variará durante el desarrollo del fruto (Ho y Hewitt, 1986). Como más del 90 % del peso de los frutos frescos es agua, la disponibilidad de agua para el crecimiento de los frutos puede influenciar el tamaño de los frutos (Pret y Ho, 1986; Ho *et al.*, 1987).

El ambiente es también de importancia en el control del tamaño de fruto. En experimentos donde el 30 % de los frutos se eliminaron de los primeros tres racimos de plantas en crecimiento a densidades bajas (2.04 plantas·m⁻²) o altas (3.06 plantas·m⁻²). Cockshull y Ho (1995), observaron que el peso promedio de cada fruto que permaneció se incrementó significativamente y la producción de pequeños frutos se redujo mucho. En conjunto, la producción total de fruto de estos tres racimos se redujo 16 % pero la producción de los racimos de más arriba se incrementó significativamente y casi compensó por completo la primera pérdida de producción. La producción temprana (primera) y última del cultivo que crece a altas densidades fue por todo más grande por 8 % y 15 % que a densidades bajas. El cultivo que creció a densidad alta produjo una mayor cantidad de frutos de mercado que el que creció a densidad baja y la diferencia se hizo mayor al aumentar la radiación solar diaria promedio.

Papadopoulos y Ormrod (1990), cultivaron dos cultivares ("Jumbo" y "CR-6") de jitomate en invernadero en las estaciones de primavera y otoño a densidades de planta entre 2.5 y 11.3 plantas·m⁻²; reportaron que el total de producción comercial por plantas de adentro y afuera del dosel de cuatro hileras de plantas, disminuyó

linealmente con incrementos sucesivos en la densidad de plantas. Sin embargo, la respuesta de la producción total y de mercado cuando se expresó por metro cuadrado, difirió por la estación de crecimiento. En el otoño, la producción total y comercial de todas las plantas, con la excepción de las plantas de las hileras interiores en el cultivar "CR-6", se incrementó con los aumentos en densidad de plantas, pero, en la primavera, la producción fue más alta a densidades de plantas intermedias y disminuyó con densidades altas y bajas. Sin embargo, en las plantas de las hileras exteriores en el cultivar "Jumbo", la producción permaneció similar en todas las densidades de plantas.

El crecimiento del cultivo a densidades altas en el estudio de Cockshull y Ho (1995), no sólo produjo más frutos por metro cuadrado, sino también produjo más asimilados, como resultado de tener más hojas por metro cuadrado y, por lo tanto, un IAF más alto que intercepta más de la radiación solar incidente. Un incremento en la producción con el IAF al comparar densidades de planta altas y bajas también fue observado por Harper *et al.* (1979) y Papadopoulos y Ormrod (1991) en jitomate. El peso total o completo de los frutos comerciales producidos por planta, fue de 19.7 kg a densidades bajas y 15.1 kg a densidades altas (Cockshull y Ho, 1995), que es consistente con la disminución linear en tamaño de fruto (g por fruto) con los incrementos en densidad de plantas observados por Papadopoulos y Ormrod (1990). Papadopoulos (1985), atribuye esta disminución a la reducción en la proporción de biomasa distribuida a los frutos.

Heuvelink (1995b), sugirió que la densidad de plantas no tiene efecto directo en la distribución de la biomasa a los frutos en jitomate pero los cambios en el número de frutos (capacidad de demanda) debido a la variación en el espaciamiento de plantas puede resultar en diferencias en la distribución de la biomasa a los frutos.

Ammerlaan *et al.* (1986), han reportado una considerable reserva de almidón en las plantas de jitomate que pudo sostener o mantener el crecimiento de los frutos por 1-2 días en ausencia de fotosíntesis corriente. Pearce *et al.*, (1993),

encontraron que el crecimiento de los frutos se prolongó por al menos 20 horas después de que las plantas estuvieron en oscuridad continua, indicando que la fotosíntesis corriente no limita la tasa de desarrollo del fruto. Además encontraron que la tasa de crecimiento del fruto disminuyó sólo cuando la radiación total diaria estuvo debajo de $6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ de FFF.

La literatura revisada en esta sección reveló que el tamaño y producción de fruto de jitomate esta fuertemente influenciado por el FFF que llega sobre el dosel, actuando en el suministro de asimilados foliares. Las condiciones que favorecen tasas fotosintéticas altas por unidad de área de terreno (es decir espaciamiento estrecho) estuvieron correlacionadas con la producción de frutos (peso por unidad de área) pero no con el tamaño de fruto. Ya que la división de asimilados no estuvo afectada por la intercepción de FFF, los frutos pequeños a espaciamiento estrecho se debieron probablemente a la disponibilidad insuficiente de asimilados para su distribución a los frutos (Challa y Heuvelink, 1993).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del Experimento

La realización del experimento comprendió del 17 de febrero al 30 de agosto de 2000, y se llevó a cabo en un invernadero de la empresa Industrial Agropecuaria Junco, ubicada en la localidad de la Resurrección, Texcoco, a 10 km aproximadamente al noreste de las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo por la carretera federal México - Veracruz. Las características del invernadero son: estructura metálica, cubierta de vidrio, ventilación lateral con protección de malla anti-áfidos y orientado en dirección este – oeste a 19° 29' latitud Norte y 98° 51' longitud Oeste a una altura de 2250 m.s.n.m.

Las tinas para los tratamientos donde el dosel escaleriforme se formó a base de hileras de plantas de distinta altura y las del testigo uniforme, tenían 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad, se llenaron primero, con una capa de 5 cm de grava de tezontle rojo compuesta por partículas de aproximadamente 1 cm de diámetro, seguida de otra capa de 25 cm de arena de tezontle rojo con partículas comprendidas entre 1 y 4 mm de diámetro. La capa de grava tenía como función permitir un drenaje libre y aislar el suelo de la capa de arena de tezontle que es el sustrato donde se desarrollaron las plantas (Figura 1 y 3). Las tinas para los tratamientos con dosel escaleriforme formados por hileras de plantas con el mismo nivel de despunte (tres racimos), eran de lámina galvanizada y tenían las siguientes dimensiones: 1.2 m de largo, 20 cm de altura y 20 cm de ancho, se colocaron en dirección Este–Oeste. La escalera se formó colocando las tinas a diferente altura (Figura 2).

5.2. Material vegetal

Para el experimento se utilizaron dos híbridos de jitomate: 1) Gabriela (Hazera Quality Seed Ltd®), el cual es de crecimiento indeterminado, con resistencia a las

razas de **Fusarium** 1 y 2, y a **Verticillium**; madurez tardía, vigor fuerte, peso de 120 a 180 g, frutos de forma achatada profundamente, hombros verdes, firmeza muy buena, larga vida de anaquel; para otoño y primavera temprana, alta producción y extraordinaria vida de postcosecha, con resistencia a nemátodos. 2) Pike Ripe (Peto seed®), el cual presenta: crecimiento determinado, frutos de tamaño grande (150 a 200 g) del tipo bola, larga vida de anaquel, madurez temprana.

5.3. Descripción de los tratamientos y Diseño experimental

Se manejaron nueve tratamientos arreglados en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, cada unidad experimental tenía 1.56 m². Los tratamientos se colocaron al azar en cada uno de los bloques.

Los tratamientos establecidos fueron:

1.- Dosel en forma de escalera (escaleriforme), formado con tres hileras de plantas por tina de 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad, orientadas en dirección Este—Oeste (Figura 1); la hilera que da al sur se despuntó para dejar dos racimos por planta, con plantas cada 10 cm, la hilera central se despuntó a tres racimos por planta y plantas cada 15 cm; mientras que la hilera que da al norte de la tina se despuntó a seis racimos por planta y 25 cm entre plantas (53 racimos·m⁻² útil, densidad alta). La distancia entre las hileras de plantas a dos y tres racimos, respectivamente, fue de 40 cm, y entre las hileras de plantas de tres y seis racimos de 60 cm (E-2,3,6-A). Las plantas de la hilera sur y central eran del cultivar “Pike Ripe”, mientras que las de la hilera norte correspondían al cultivar “Gabriela”.

2.- Dosel escaleriforme formado, con tres hileras de planta por tina de 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad, orientadas en dirección Este—Oeste (Figura 1), la hilera que da al sur se despuntó a dos racimos por planta y plantas cada 15 cm; la hilera central se despuntó a tres racimos por planta con plantas cada 20 cm; la hilera que da al norte de la tina se despuntó a seis racimos por planta con plantas cada

25 cm (43 racimos·m⁻² útil, densidad baja). La distancia entre las hileras de plantas a dos y tres racimos, fue de 40 cm, y entre las hileras de plantas de tres y seis racimos de 60 cm (E-2,3,6-B). Las plantas de la hilera sur y central eran del cultivar “Pike Ripe”, mientras que las de la hilera norte correspondían al cultivar “Gabriela”.

3.- Dosel escaleriforme formado con tres hileras de plantas por tina de 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad, orientadas en dirección Este—Oeste (Figura 1), la hilera que da al sur se despuntó a dos racimos por planta, con plantas cada 10 cm; la hilera central se despuntó a cuatro racimos por planta con plantas cada 17 cm; la hilera que da al norte de la tina se despuntó a seis racimos por planta y plantas cada 25 cm (56 racimos·m⁻² útil, densidad alta). La distancia entre las hileras de plantas a dos y cuatro racimos, fue de 40 cm, y entre las hileras de plantas de cuatro y seis racimos de 60 cm (E-2,4,6-A). Las plantas de la hilera sur eran del cultivar “Pike Ripe”, mientras que las de las hileras central y norte correspondían al cultivar “Gabriela”.

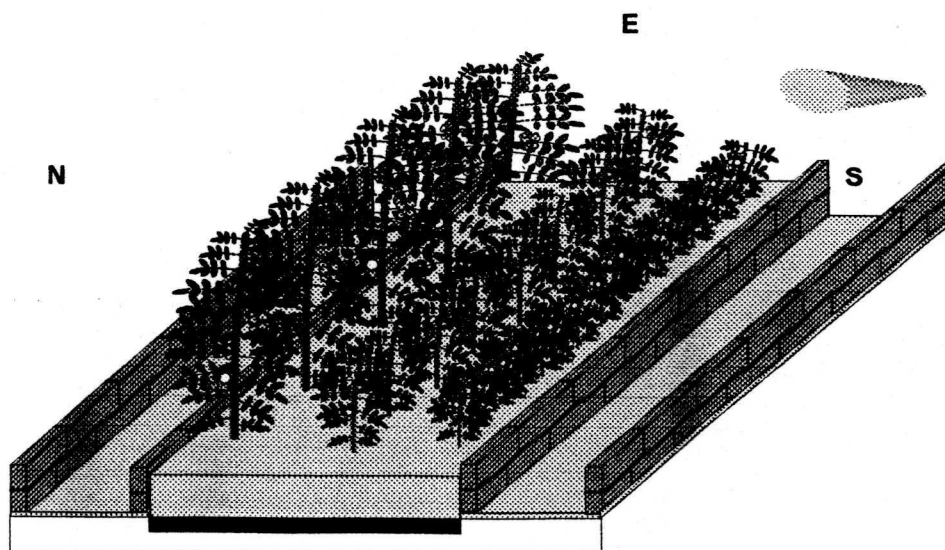


Figura 1. Dosel escaleriforme con tres hileras de plantas de distinta altura, utilizado en los tratamientos 1, 2, 3 y 4..

4.- Dosel escaleriforme, formado con tres hileras de planta por tina de 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad, orientadas en dirección Este—Oeste (Figura 1), la hilera que da al sur se despuntó a dos racimos por planta y plantas cada 15 cm, la hilera central se despuntó a cuatro racimos con plantas cada 20; la hilera que da al norte de la tina se despuntó a seis racimos y plantas cada 25 cm (49 racimos·m⁻² útil, densidad baja). La distancia entre las hileras de plantas a dos y cuatro racimos, fue de 40 cm, y entre las hileras de plantas de cuatro y seis racimos de 60 cm (E-2,4,6-B). Las plantas de la hilera sur eran del cultivar “Pike Ripe”, mientras que las de las hileras central y norte correspondían al cultivar “Gabriela”.

5.- Dosel escaleriforme, formado con cuatro hileras de plantas colocadas en contenedores (tinas) a diferente altura. Las tinas eran de lámina galvanizada y tenían las siguientes dimensiones: 1.2 m de largo, 20 cm de altura y 20 cm de ancho, se colocaron en dirección Este—Oeste (Figura 2). En cada tina se colocó una hilera de plantas, la cual se despuntó para dejar tres racimos por planta; la distancia entre plantas fue de 15 cm (66 racimos·m⁻² útil, densidad alta) y entre hileras de 30 cm. La separación entre escalones fue de 30 cm de altura (E-3,3,3,3-A). Las cuatro hileras de plantas pertenecían al cultivar “Pike Ripe”.

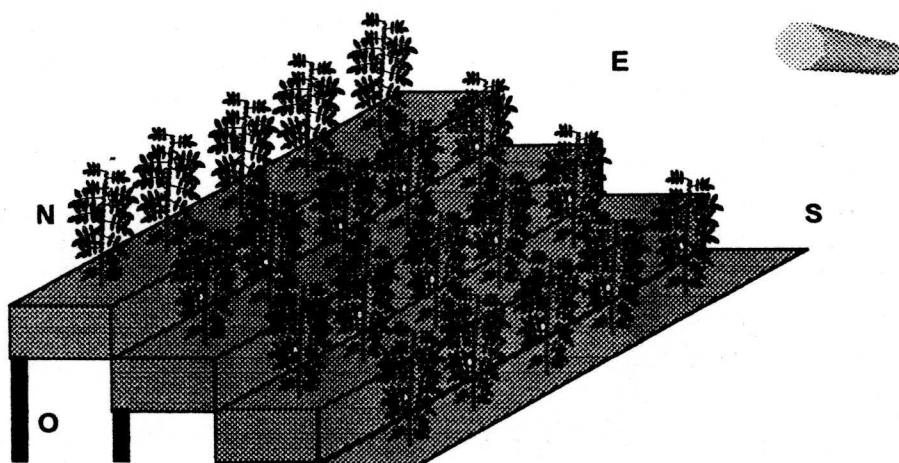


Figura 2. Dosel escaleriforme en dirección este-oeste conformado por cuatro hileras de plantas de jitomate despuntadas para dejar tres racimos por planta y colocadas a distintas alturas, utilizado en los tratamientos 5 y 6.

6.- Dosel escaleriforme, formado con cuatro hileras de plantas colocadas en contenedores (tinas) a diferente altura. Las tinas eran de lámina galvanizada y tenían las siguientes dimensiones: 1.2 m de largo, 20 cm de altura y 20 cm de ancho, se colocaron en dirección Este–Oeste (Figura 2). En cada tina se colocó una hilera de plantas, la cual se despuntó para dejar tres racimos por planta; la distancia entre plantas fue de 20 cm (50 racimos·m⁻² útil, densidad baja) y entre hileras de 30 cm. La separación entre escalones fue de 30 cm de altura (E-3,3,3,3-B). Las cuatro hileras de plantas pertenecían al cultivar “Pike Ripe”.

7.- Testigo Uniforme, formado con cuatro hileras de plantas por tina de 1.2 m de ancho y 30 cm de profundidad, colocadas en dirección Este–Oeste (Figura 3). Las cuatro hileras de planta se despuntaron para dejar tres racimos por planta. La distancia entre hileras fue de 30 cm y entre plantas de 32 cm (36 racimos·m⁻² útil) (TU-3,3,3,3). Las cuatro hileras de plantas pertenecían al cultivar “Pike Ripe”.

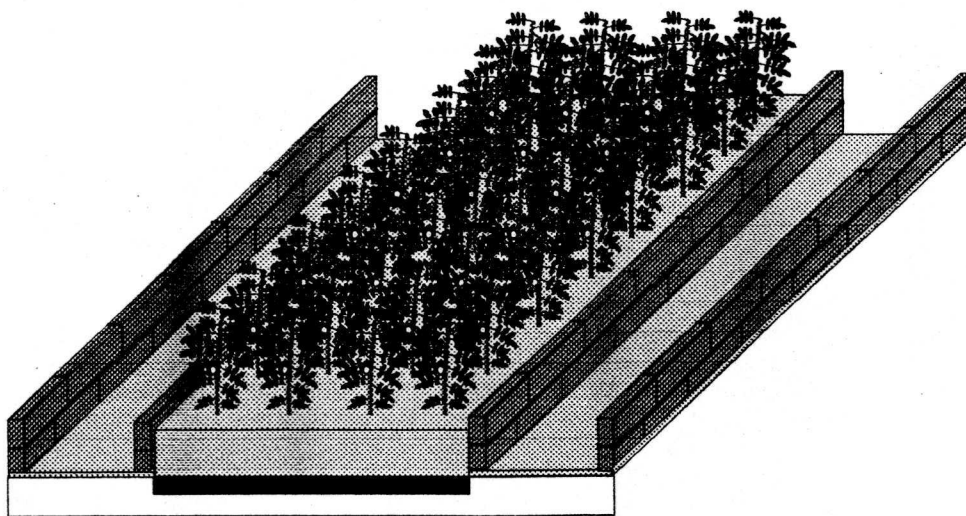


Figura 3. Dosel uniforme con plantas despuntadas a tres racimos mostrando algunos detalles de la tina, usado en el testigo.

8.- Dosel uniforme, formado con cuatro hileras de plantas, colocadas en tinas en dirección Este–Oeste (Figura 4). Las tinas eran de lámina galvanizada con las siguientes dimensiones: 1.2 m de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de altura; las

tinas se colocaron a la misma altura.). En cada tina se colocó una hilera de plantas, la cual se despuntó para dejar tres racimos por planta; la distancia entre plantas fue de 15 cm ($66 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$ útil, densidad alta) y entre hileras de 30 cm (U-3,3,3,3-A). Las cuatro hileras de plantas pertenecían al cultivar "Pike Ripe".

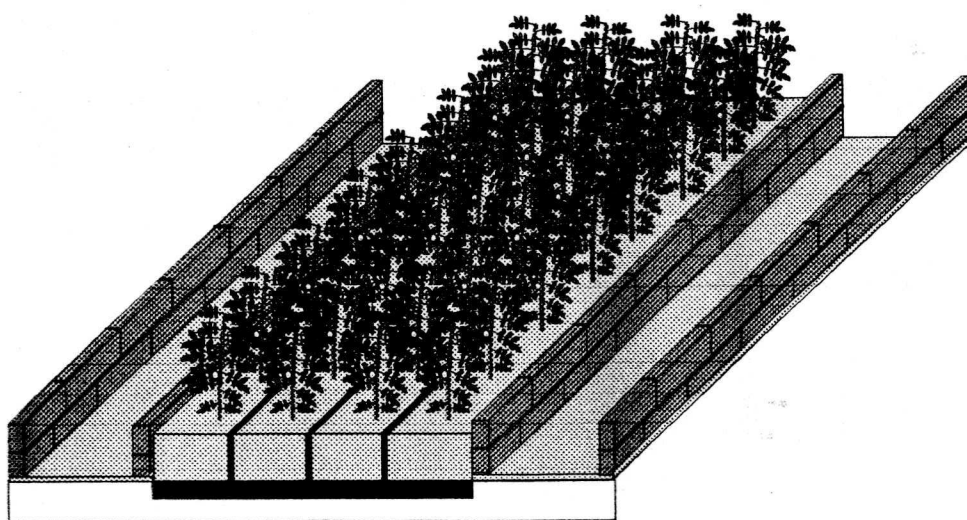


Figura 4. Dosel uniforme con plantas despuntadas a tres racimos mostrando algunos detalles de la tina, usado en los tratamientos 8 y 9.

9.- Dosel uniforme, formado con cuatro hileras de plantas, colocadas en tinas en dirección Este-Oeste (Figura 4). Las tinas eran de lámina galvanizada con las siguientes dimensiones: 1.2 m de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de altura; las tinas se colocaron a la misma altura. En cada tina se colocó una hilera de plantas, la cual se despuntó para dejar tres racimos por planta; la distancia entre plantas fue de 20 cm ($50 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$ útil, densidad baja) y entre hileras de 30 cm (U-3,3,3,3-B). Las cuatro hileras de plantas pertenecían al cultivar "Pike Ripe".

La distribución de los tratamientos se puede apreciar en la Figura 5.

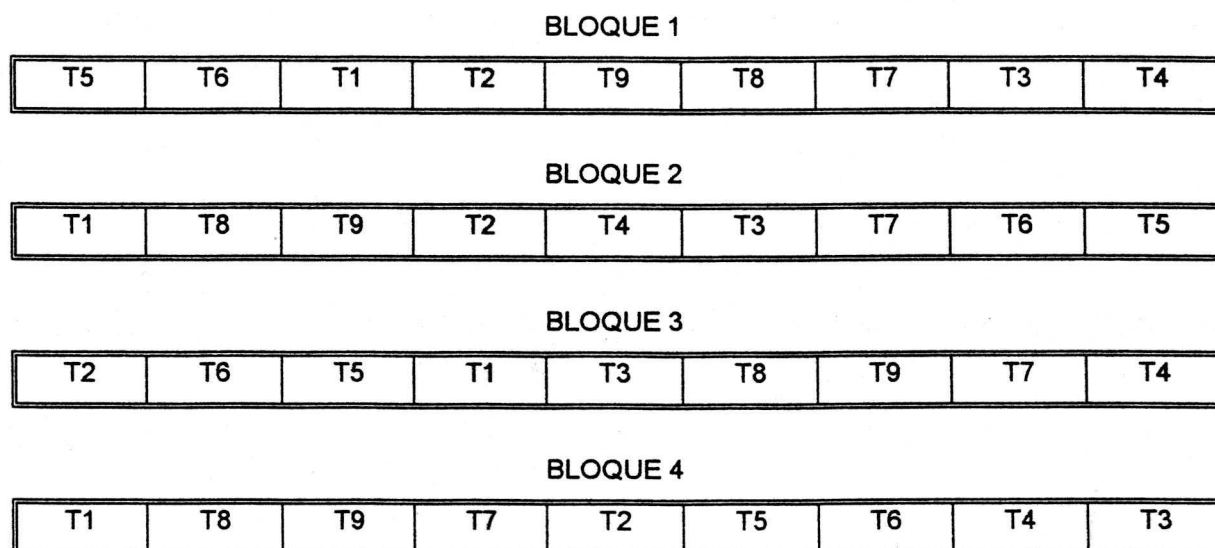


Figura 5. Croquis del diseño experimental.

5.4. Manejo del cultivo

5.4.1. Semillero

La siembra se realizó el día 17 de Febrero del 2000, en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas con "Peat moss" ("Soge Mix[®]") preparado de fábrica para semillero (el sustrato se humedeció hasta punto de saturación) colocando una semilla por cavidad. Posteriormente se estibarón todas las charolas y se cubrieron con plástico blanco lechoso para evitar la evaporación del agua y así favorecer la germinación. A los cuatro días se destaparon y se distribuyeron en los bancales del semillero. La emergencia total de las plantas ocurrió seis días después de la siembra. La primera semana después de la emergencia los riegos se realizaron con agua y una vez que apareció la primera hoja verdadera se aplicó la solución nutritiva que se muestra en el Cuadro 5.1, pero al 50 % de concentración.

5.4.2. Trasplante

Previo al trasplante, el sustrato de los contenedores en los distintos tratamientos, se aflojó a fin de disminuir la compactación y darle mejores condiciones de aireación a la raíz; inmediatamente después se aplicó un riego pesado con agua y se desinfectó con una mezcla de Captan 50 PH® (Ingrediente activo: Captan 50 % más diluyente, humectante y dispersante. RHONE POULENC AGRO S.A DE C.V) a razón de 2 g·L⁻¹ de agua e Interguzan 30-30® (Ingrediente activo: Quintozeno 30 % más Thiram 30 %, más diluyente y colorante. INTERNACIONAL QUÍMICA DE COBRE S.A DE C.V) 1 g·L⁻¹ de agua. Se aplicaron dos litros de la mezcla por m² de contenedor, esto con la finalidad de proteger a las plantas en sus primeras etapas de desarrollo del ataque de enfermedades de la raíz.

El trasplante se llevó a cabo con todo y cepellón a los 30 días de edad en tinas de 1.3 m de ancho por 30 cm de altura llenas de arena de tezontle, para los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 7; mientras que para los tratamientos 5, 6, 8 y 9; se utilizaron tinas de lámina galvanizada de 1.2 m de largo, 20 cm de altura y 20 cm de ancho. Todas las tinas contaban con drenaje libre.

5.4.3. Riego y solución nutritiva.

El riego, a partir del trasplante, se efectuó con cinta de goteo de polietileno flexible y con solución nutritiva, aplicando diariamente la cantidad necesaria para mantener el sustrato a su capacidad de retención. Las fuentes de fertilizantes y la concentración de éstos para preparar la solución nutritiva se indican en el Cuadro 5.1.

El molibdeno y el cloro no se aplicaron debido a que se requieren en bajas concentraciones y aparecen en cantidades suficientes como impureza de los fertilizantes usados, así como en la composición del agua de riego.

Cuadro 5.1. Nutrimientos, concentraciones y fertilizantes con los que preparó la solución nutritiva.

Nutrimiento	Concentración (mg·L ⁻¹)	Fertilizante
Nitrógeno	250	Nitrato de calcio
Fósforo	60	Acido fosfórico al 85 %
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

Para preparar la solución nutritiva se prosiguió de la siguiente manera:

- Se llenaba con agua la cisterna hasta el 50 % de su capacidad.
- Se pesaba la cantidad requerida de cada fertilizante por separado en función del volumen de la cisterna.
- Cada fertilizante se diluía por separado en un depósito de 100 litros de agua, se dejaba reposar y se agregaba a la cisterna sin los sedimentos (que normalmente son impurezas insolubles). Se toma en cuenta, que algunos fertilizantes como el sulfato de potasio son menos solubles, por lo que la cantidad necesaria para la cisterna no se diluía de una sola vez en el tonel de 100 litros, requiriendo agregar más agua después de hacer un vaciado del mismo.
- Los micronutrientes se mezclaban en un solo tambo.

Finalmente se llenaba la cisterna al 100 %, logrando así que los diferentes fertilizantes se mezclaran homogéneamente.

5.4.4. Podas y tutoreo

Las plantas se condujeron a un solo tallo, los despuntes se realizaron eliminando la yema terminal, dos hojas arriba de la segunda, tercera, cuarta y sexta inflorescencia respectivamente de acuerdo al tratamiento . Los brotes laterales se eliminaron cada 15 días tan pronto como pudieron ser manipulados.

El tutoreo se realizó con el fin de dar sostén a la planta, obtener un mejor manejo sanitario y obtener frutos de mayor calidad; esto se llevó a cabo la primera semana de abril de 2000 (50 días después de la siembra) para lo cual se colocaron 3 y 4 hileras de alambre (de acuerdo al tratamiento) paralelas por encima y a lo largo de las tinas sujetados de la base de marcos metálicos. Por debajo de la cuarta hoja de cada planta se realizó el amarre con rafia, alrededor del tallo y se amarró en el otro extremo a las hileras del alambre mencionado.

5.4.5. Polinización

Una vez que empezaron a aparecer los racimos florales, cada tercer día se movían las flores aplicando viento con un ventilador, para favorecer la polinización, promoviendo así mejor amarre de frutos y mayor calidad de los mismos.

5.4.6. Control de plagas y enfermedades

El control de plagas y enfermedades fue esencialmente preventivo. Para evitar la entrada de insectos se colocó malla anti-áfidos en las partes laterales del invernadero y se evitó la dispersión de enfermedades por transmisión mecánica mediante prácticas culturales como la poda y el despunte.

Los fungicidas y bactericidas se usaron preferentemente de manera preventiva después de las prácticas culturales que podían causar heridas en las plantas, también cuando se presentaban condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades, por ejemplo alta humedad relativa en el invernadero, producto de días nublados y lluviosos. Los productos empleados fueron: Cupravit Mix® (Ingrediente activo: Oxicloruro de cobre 39 % más mancozeb 30 %, más humectante, dispersante y adherente. BAYER DE MÉXICO S.A DE C.V) y Daconil® (Ingrediente activo: Clorotalonil 75 % , más diluyente y dispersante 25 %. ZENECA MEXICANA S.A DE C.V) a razón de 3 g·L⁻¹ de agua, cada uno se aplicó por separado en etapas diferentes.

Respecto a plagas hubo incidencia del gusano del fruto (*Heliothis zea*), para lo cual se aplicó Decis 2.5 C.E®, a dosis de 3 ml·L⁻¹ de agua (Ingrediente activo: Deltametrina 2.8 % más solvente, emulsificante y antioxidante 97.2 %. AGREVO MEXICANA S.A DE C.V), también se tuvo presencia de mosquita blanca en las últimas etapas de desarrollo del cultivo y su control se hizo con la aplicación de Talstar 100 CE® (Ingrediente activo: Bifentirina 12.15 %, más solventes y emulsificantes. FMC Agroquímica de México S. De R.L De C.V) a 0.5 ml·L⁻¹ de agua.

5.5. Variables evaluadas

Se realizaron tres tipos de análisis:

5.5.1. Comparación global de todos los tratamientos

Se efectuaron análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y pruebas de comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$), para comparar el efecto de los nueve tratamientos en las siguientes variables:

- rendimiento por unidad de superficie (kg·m⁻²)
- número de frutos por unidad de superficie (frutos·m⁻²)

- peso medio de fruto (g)
- número de frutos grandes, medianos y chicos por unidad de superficie
- índice de área foliar (cm)

Los frutos se cosecharon manualmente cuando alcanzaron un color rosa o anaranjado en cada uno de los diferentes racimos. En cada corte se tomaron los siguientes datos por unidad experimental: rendimiento de fruto en peso fresco, número total de frutos, número de frutos grandes (entre 6 y 8 cm de diámetro ecuatorial), número de frutos medianos (entre 4 y 6 cm de diámetro ecuatorial) y número de frutos pequeños (menores de 4 cm de diámetro ecuatorial). Para la clasificación del tamaño de frutos se utilizó un vernier.

Con estos datos se procedió a calcular el rendimiento y número de frutos por unidad de superficie de cada tratamiento, así como el peso medio de frutos y el número de frutos grandes, medianos y chicos.

Se estimó el índice de área foliar de manera destructiva en la última etapa de desarrollo del cultivo, en cada una de las hileras y para cada tratamiento en las cuatro repeticiones, para medir esta variable se utilizó el medidor de área foliar LI-3000. Se midió el área foliar de una planta representativa y para poder estimar el Índice de Área Foliar se multiplicó por el número total de plantas por hilera y por tratamiento.

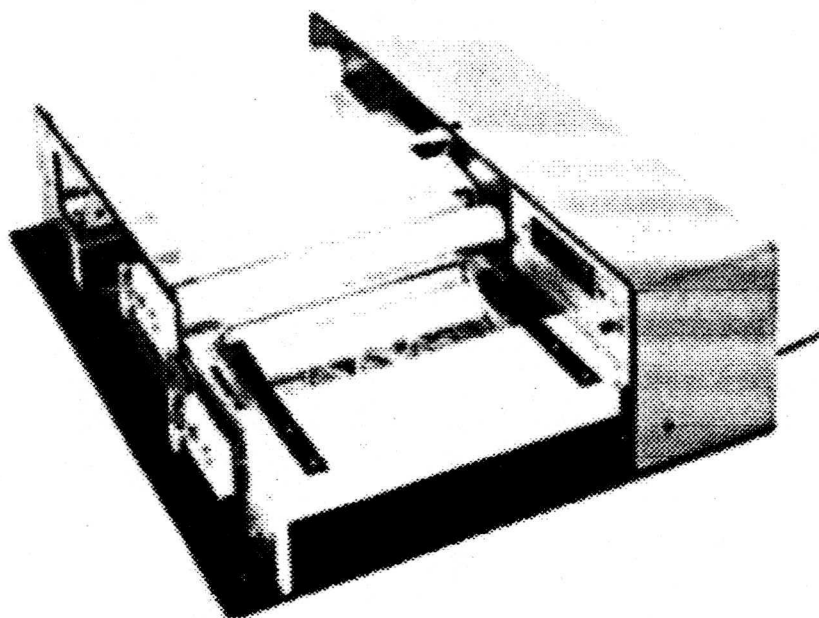


Figura 6. Medidor de área foliar LI 3000.

5.5.2. Análisis por hilera de plantas para comparar los tratamientos escaleriformes y uniformes, formados por hileras de plantas de la misma densidad y nivel de despunte (tres racimos) incluyendo al testigo uniforme

Se efectuaron análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y pruebas de comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$), para comparar los tratamientos en relación a las siguientes variables:

- rendimiento por metro lineal ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$)
- número de frutos por metro lineal ($\text{frutos}\cdot\text{m}^{-1}$)
- peso medio de fruto por hilera (g)
- número de frutos grandes, medianos y chicos por metro lineal
- altura de planta (cm)
- diámetro de tallo (cm)

- número de flores por metro lineal
- número de flores abortadas por metro lineal

El rendimiento por metro lineal, número total de frutos por hilera, peso medio de fruto, número de frutos grandes (entre 6 y 8 cm de diámetro ecuatorial), número de frutos medianos (entre 4 y 6 cm de diámetro ecuatorial) y número de frutos pequeños (menores de 4 cm de diámetro ecuatorial); se determinaron de la misma forma que en el caso anterior. Para la clasificación del tamaño de frutos se utilizó un vernier.

La altura de planta se midió en cada una de las hileras, dentro de cada tratamiento escaleriforme y uniforme, formado por hileras de plantas con la misma densidad y el mismo nivel de despunte a los 120 días después de la siembra. De esta manera se determinó el comportamiento de las plantas, respecto a la altura, en cada una de las hileras, de acuerdo con la densidad utilizada en cada una de ellas.

El diámetro del tallo se midió abajo del primer racimo con ayuda de un Vernier, en cada hilera dentro de cada tratamiento a los 120 días después de la siembra. Estas mediciones se realizaron en una muestra representativa del 30 % de cada hilera, para cada tratamiento.

Conforme aparecieron los racimos florales se contó el número de flores en las hileras de cada tratamiento, tomando una muestra representativa del 30 % de las plantas. Una vez que se dio el amarre de frutos (15 días después de la floración) se estimó el número de flores que abortaron.

5.5.3. Análisis comparativo de las hileras dentro de cada tratamiento de doseles escaleriformes y uniformes formados por hileras de plantas de la misma densidad (cada hilera) y nivel de despunte (tres racimos)

Se efectuaron análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y pruebas de comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$), para comparar los tratamientos en relación a las siguientes variables:

- rendimiento por metro lineal ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$)
- número de frutos por hilera ($\text{frutos}\cdot\text{m}^{-1}$)
- peso medio de fruto (g)

El rendimiento por metro lineal, número total de frutos por hilera, peso medio de fruto, número de frutos grandes (entre 6 y 8 cm de diámetro ecuatorial), número de frutos medianos (entre 4 y 6 cm de diámetro ecuatorial) y número de frutos pequeños (menores de 4 cm de diámetro ecuatorial); se determinaron de la misma forma que en los casos anteriores. Para la clasificación del tamaño de frutos se utilizó un vernier.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Comparación global de tratamientos

6.1.1. Rendimiento y sus componentes primarios

El análisis de varianza (Cuadro 6.1) indica que se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos para las variables rendimiento por unidad de superficie y sus componentes primarios (número de frutos por unidad de superficie y peso medio de frutos).

CUADRO 6.1. Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes primarios en jitomate cultivado en distintos arreglos de plantación.

F.V	G.L	Cuadrados medios		
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos
Bloque	3	1.65 NS	428.59*	86.61**
Tratamiento	8	31.95**	5520**	210.64**
Error	24	1.54	130.42	12.74
CV %		5.18	4.80	3.51
Media general		23.97 kg·m ⁻²	237.77 frutos·m ⁻²	101.68 g

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. CV = Coeficiente de Variación.

La comparación de medias (Cuadro 6.2), muestra diferencias estadísticas entre tratamientos para la variable rendimiento por unidad de superficie, donde se aprecia que el tratamiento E-2,4,6-B presentó los valores más altos de rendimiento (27.32 kg·m⁻²), 47.1 % más que el TU-3,3,3,3 que sólo rindió 18.57 kg·m⁻². Todos los tratamientos escaleriformes y el uniforme de densidad alta, fueron estadísticamente superiores al testigo mencionado.

Cuadro 6.2. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes por unidad de superficie en jitomate, para distintos arreglos de plantación.

Arreglo	Rendimiento (kg·m ⁻²)	Frutos (número·m ⁻²)	Peso medio de frutos (g)
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2, 4 y 6 racimos (49 racimos·m ⁻²).	27.32 a ²	274.36 ab	99.64 bc
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2, 4 y 6 racimos (56 racimos·m ⁻²).	26.86 ab	277.08 a	97.05 bc
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2, 3 y 6 racimos (43 racimos·m ⁻²).	25.63 abc	230.93 de	110.94 a
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	24.59 abc	268.75 abc	91.58 c
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2, 3 y 6 racimos (53 racimos·m ⁻²).	24.53 abc	242.95 cd	100.92 b
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	24.14 bc	247.76 cd	97.56 bc
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	23.44 cd	232.85 d	100.94 b
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	20.60 de	204.00 e	101.04 b
Testigo uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	18.57 e	161.22 f	115.45 a
DMS (Tukey α=0.05)	2.98	27.45	8.58

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

Para la variable número de frutos por unidad de superficie la media general de tratamientos fue de 237.77, pero osciló desde 277.08 en el tratamiento E-2,3,6-A, hasta 161.22 en el testigo a tres racimos por planta quien resultó estadísticamente inferior al resto de los tratamientos.

En lo que se refiere a peso medio de fruto el TU-3,3,3,3 mostró el valor más alto (115 g), mientras que el E-3,3,3,3-A presentó el valor más bajo (91 g). Es de hacer notar que el rango entre el tratamiento con mayor y menor peso de fruto fue de 20.6 % . Es notorio que el peso medio de fruto disminuyó con el aumento de la densidad.

Con base en los resultados obtenidos se puede decir que el tratamiento que otorgó el rendimiento más alto por unidad de superficie fue el que conjugó 6.6 plantas por metro lineal despuntadas a dos racimos en la hilera ubicada al sur de la tina, cinco plantas por metro lineal despuntadas a cuatro racimos para la hilera central y cuatro plantas por metro lineal para la hilera ubicada al norte de la tina, manejando seis racimos por planta, dando un total de 49 racimos·m⁻² útil.

Desde la perspectiva de doseles uniformes los antecedentes indican que el intento de aumentar el número de racimos por unidad de superficie mediante el aumento de la densidad, alcanza un límite de alrededor de 36 racimos·m⁻² (Sánchez y Corona, 1994; Jorge, 1999), ya que 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. La causa principal de no poder aumentar más el rendimiento con el número de racimos por metro cuadrado, es la formación de un índice de área foliar excesivo en este tipo de dosel lo que provoca sombreamiento mutuo de hojas, ocasionando una reducción en la fotosíntesis total por planta y con ello una cantidad menor de fotoasimilados disponibles para los frutos en crecimiento. Aunado a lo anterior, se debe considerar el efecto morfogenético de la sombra excesiva sobre las plantas, que consiste en la síntesis de auxinas para elongar células del tallo buscando luz (etiolación), proceso que consume muchos asimilados que de otra manera podrían canalizarse a los frutos en crecimiento (Salisbury y Ross, 1993). Una consecuencia de esto es el amarre de menos frutos por racimo y/o un menor peso de los frutos que amarran.

El rendimiento se puede aumentar, incrementando la eficiencia fotosintética y/o la fotosíntesis del dosel, esta última como consecuencia de incrementos en el índice de área foliar, en la duración de la fotosíntesis o mediante una distribución más homogénea de la luz en el dosel para mantener, fotosintéticamente activas tanto hojas superiores como inferiores (Gardner *et al.*, 1990). También, se puede decir que mientras más dure el intervalo entre la siembra y el fin de la cosecha, más energía luminosa podrá interceptar el dosel, produciéndose más materia seca y por ende un mayor peso y tamaño de los frutos, ya que habrá traslocación de asimilados por un mayor período de tiempo, repercutiendo directamente en que el rendimiento agronómico sea mayor (Charles-Edwards *et al.*, 1986).

En este estudio se planteó la hipótesis de que es posible incrementar el rendimiento por unidad de superficie en el cultivo de jitomate mediante la formación de doseles en forma de escalera a partir del manejo de hileras de plantas a diferente altura y orientadas en dirección Este-Oeste, debido a que con ello se logra una distribución más homogénea de la radiación fotosintéticamente activa entre las distintas hojas que conforman el dosel en relación a las plantas manejadas con doseles uniformes (hileras de plantas a la misma altura), lo que permite un incremento en la densidad de población o mejor dicho del número de racimos a cosechar por unidad de superficie.

Efectivamente, como se muestra en el Cuadro 6.2, los arreglos escaleriformes conformados por tres hileras de plantas con diferente nivel de despunte de densidad baja y alta (49 y 56 racimos·m⁻² de superficie útil) rindieron significativamente más que los tratamientos dispuestos en doseles uniformes, conformados por cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos, densidad alta y baja y que el testigo comercial con dosel uniforme (66, 50 y 36 racimos·m⁻², respectivamente) debido a que en promedio también produjeron estadísticamente, más frutos por unidad de superficie (del orden de 50 y 116 frutos más por metro cuadrado), lo que apoya la hipótesis planteada, en el sentido de que la disposición de hileras de plantas con distinta altura, orientadas en dirección Este-Oeste,

permite incrementar el rendimiento por unidad de superficie con relación a los doseles uniformes, permitiendo incrementar el índice de área foliar a mayores niveles debido a una mejor distribución de la radiación fotosintéticamente activa. El peso medio de fruto fue mayor en el testigo, pero el número de frutos por unidad de superficie fue el menor.

En los doseles uniformes el rendimiento fue menor porque hubo fuerte tendencia a un menor número de frutos, aspecto que se observa en el Cuadro 6.2, ocasionado probablemente por el sombreamiento mutuo entre plantas, sobre todo en las hileras centrales, lo que provocó mayor número de flores abortadas (Cuadros 6.14 y 6.20). Tal como lo menciona Gardner *et. al.* (1990), conforme aumenta la densidad, las flores potenciales y después los frutos no amarran o son abortados. Esto va reduciendo el rendimiento por planta y, después de cierta densidad, puede inclusive reducirse el rendimiento por unidad de superficie. Por su parte Ferry y Janick (1970), trabajando con tomate, encontraron que el número de racimos y el número de flores por planta, así como el porcentaje de amarre de frutos disminuyeron bruscamente al aumentar la población de plantas.

Papadopoulos y Omrod (1990) reportaron que el amarre de frutos fue afectado en tomate con el espaciamiento a 23 cm entre plantas en una plantación de otoño (62 y 64 % de amarre de frutos a 60 y 45 cm de espaciamiento contra 46 % a 23 cm). En una plantación en primavera la tasa de amarre de frutos decayó aún más (58 %, 52 % y 13 % de amarre de frutos a 60 cm, 45 cm y 23 cm de espaciamiento, respectivamente).

Respecto a los doseles en forma de escalera conformados por tres hileras de plantas con diferente nivel de despunte y los doseles conformados por cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos colocadas en contenedores a diferente altura, se puede apreciar en el Cuadro 6.2, que aunque no hubo diferencias significativas entre ellos (con excepción del tratamiento E-3,3,3,3-B que fue estadísticamente inferior a los tratamientos E-2,4,6-B y E-2,4,6-A), sí se

aprecian diferencias numéricas importantes de rendimiento por unidad de superficie, donde en forma general los tratamientos escaleriformes conformados por tres hileras de plantas y diferente nivel de despunte, destacan de los tratamientos escaleriformes conformados por cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos y colocadas en contenedores a diferente altura.

6.1.2. Tamaño de frutos

El análisis de varianza (Cuadro 6.3) para la variable tamaño de frutos (frutos grandes, entre 6 y 8 cm de diámetro, frutos medianos, entre 4 y 6 cm de diámetro y frutos chicos, menores de 4 cm de diámetro) muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos.

CUADRO 6.3. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.

F.V	G:L	Cuadrados medios		
		Frutos Grandes	Frutos Medianos	Frutos Chicos
Bloque	3	279.62*	552.65**	135.84**
Tratamiento	8	1008.80**	2596.32**	315.19**
Error	24	83.16	137.43	15.47
CV %		6.60	12.99	41.76
Media general		138.14 frutos·m ⁻²	90.21 frutos·m ⁻²	9.42 frutos·m ⁻²

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. CV= Coeficiente de Variación.

Como se observa en el Cuadro 6.4, el número de frutos grandes fue mayor en el tratamiento E-2,3,6-B con 159.29 frutos·m⁻². En tanto que el valor más bajo corresponde al TU-3,3,3,3 con tan sólo 107.37 frutos·m⁻².

El número de frutos medianos fue mayor en el tratamiento E-2,4,6-A difiriendo estadísticamente de otros seis tratamientos. El TU-3,3,3,3 presentó el menor número de frutos medianos por unidad de superficie (48.88 frutos·m⁻²).

Respecto al número de frutos chicos, los tratamientos escaleriformes conformados por cuatro hileras de plantas a tres racimos (densidad alta y baja) colocados en tinas a diferente altura, presentaron los valores más altos (28.68 19.87 frutos·m⁻²), difiriendo estadísticamente del resto de los tratamientos.

Cuadro 6.4. Medias de tamaño de fruto de jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.

Arreglo	Frutos Grandes (número·m ⁻²).	Frutos Medianos (número·m ⁻²).	Frutos chicos (número·m ⁻²).
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-3 y 6 racimos (43 racimos·m ⁻²).	159.29 a ²	67.47 cd	4.16 b
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-4 y 6 racimos (49 racimos·m ⁻²).	152.88 ab	116.03 ab	5.45 b
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-3 y 6 racimos (53 racimos·m ⁻²).	147.44 ab	90.87 bcd	4.64 b
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-4 y 6 racimos (56 racimos·m ⁻²).	144.23 ab	130.45 a	2.40 b
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	136.86 bc	103.20 abc	28.68 a
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	136.86 bc	76.12 cde	19.87 a
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	136.86 bc	101.92 bc	8.97 b
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	121.47 cd	76.92 cde	5.61 b
Testigo uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	107.37 d	48.88 e	4.97 b
DMS (Tukey α=0.05)	21.92	28.17	9.45

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

El tamaño de fruto estuvo fuertemente influenciado por el IAF; como se observa en el Cuadro 6.4., la mayor cantidad de frutos pequeños corresponde a los tratamientos con dosel escaleriforme de densidad alta y baja seguidos por los tratamientos con dosel uniforme manejados a la misma densidad que los anteriores. Sin embargo, es conveniente aclarar que en los doseles escaleriformes muy probablemente, el tamaño de fruto y consecuentemente el rendimiento por unidad de superficie se vio afectado por el suministro ineficiente de agua, debido a que no se pudo acondicionar un sistema de riego acorde al sistema de plantación y como más del 90 % del peso de los frutos frescos es agua, el déficit en la disponibilidad de agua para el crecimiento de los frutos puede influenciar el tamaño de los mismos (Pret y Ho, 1986; Ho *et al.*, 1987).

Por otro lado en los doseles uniformes el menor tamaño de fruto se debió probablemente al sombreado entre plantas y el tratamiento con densidad alta presentó el valor más alto, 9.87 frutos chicos. Lo anterior concuerda con el trabajo de Cockshull *et al.* (1992), donde mencionan que la sombra aumenta la proporción de frutos de tamaño pequeño, aún en las primeras semanas de producción. La producción de frutos más pequeños bajo sombra también fue observada por Bailey y Hunter, (1988). Por otra parte, Donald (1968) menciona que las hojas en el fondo o interior del dosel, bajo condiciones de sombra excesiva no contribuyen o si lo hacen es con pocos asimilados a las otras partes de la planta, lo que coincide con Cockshull *et al.*, (1992), quienes concluyen que los frutos pequeños se produjeron porque el suministro de asimilados se redujo proporcionalmente. También van de Vooren *et al.*, (1986), mencionan que el efecto de sombreado mutuo, produce menos fotoasimilados por planta, lo que conduce a un menor número de frutos por planta y un menor diámetro y peso de fruto.

El tamaño de fruto juega un papel muy importante desde el punto de vista comercial, ya que los frutos grandes alcanzan un mejor precio por kilogramo; sin embargo, no se debe descuidar el rendimiento total por unidad de superficie, dado que, si obtener una mayor cantidad de frutos grandes por unidad de superficie

implica una reducción en el número total de frutos, esto ocasiona una disminución en el rendimiento por unidad de superficie que no alcanza ser compensada económicamente con el mayor precio que se puede obtener por kilogramo para los frutos más grandes.

6.1.3. Índice de área foliar

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza (Cuadro 6.5) muestran diferencias altamente significativas entre tratamientos para la variable índice de área foliar.

CUADRO 6.5. Cuadrados medios para la variable índice de área foliar, en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.

F.V	G.L	Cuadrados medios
		Índice de área foliar
Bloque	3	0.18 **
Tratamiento	8	11.96 **
Error	24	0.02
CV %		3.52
Media general		4.84

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. CV= Coeficiente de Variación.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 6.6), se observa que los tratamientos E-2,3,6-A y E-2,3,6-B, presentaron los valores más altos de índice de área foliar, superando de manera altamente significativa a los tratamientos E-3,3,3,3-A y E-3,3,3,3-B, y a los tratamientos uniformes a densidades alta y baja. El TU-3,3,3,3 fue el que presentó los valores más bajos de índice de área foliar.

Esto se explica porque a nivel de planta y con densidades bajas hay un mayor desarrollo de la estructura del follaje ya que existe mayor espacio y menor competencia entre plantas, por lo que las plantas conducidas a 6 racimos son las

que contribuyeron con la mayor cantidad de área foliar; en cambio a densidades mayores ($26.4 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$) se da un efecto negativo del crecimiento por planta debido probablemente al sombreamiento mutuo de sus hojas; sin embargo, al manejarse porcentaje de luz interceptada por el dosel aumenta también. Por lo que dentro de ciertos límites se puede aumentar la fotosíntesis total del dosel, como consecuencia de incrementos en el índice de área foliar, o mediante un cierre más rápido del dosel por medio de densidades mayores ($26.4 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$).

Cuadro 6.6. Medias de índice de área foliar, en jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.

Arreglo	Índice de área foliar
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-3 y 6 racimos (53 racimos·m ⁻²).	6.99 a ²
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-3 y 6 racimos (43 racimos·m ⁻²).	6.67 ab
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-4 y 6 racimos (56 racimos·m ⁻²).	6.45 b
Escaleriforme, 3 hileras de plantas a 2-4 y 6 racimos (49 racimos·m ⁻²).	5.91 c
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	5.00 d
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	3.44 e
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	3.38 e
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	3.19 e
Testigo uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	2.52 f
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	0.41

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

Sin embargo, si las densidades son muy altas el beneficio se puede perder; como lo menciona Pérez *et al.* (1997), la falta de luz dentro de un dosel de plantas por efecto de densidades disminuye la asimilación por planta, ocasionando flores

pequeñas, apretadas, defectuosas y pobres en polen. De igual manera, Serrano (1996), indica que la luminosidad tiene gran importancia principalmente cuando es escasa, como por ejemplo cuando se emplean densidades altas, ya que afecta la floración, fecundación y robustez de las plantas. También van de Vooren *et al.* (1986) menciona que después de cierto límite de índice de área foliar, como efecto del sombreamiento mutuo, se producen menos fotoasimilados por planta, lo que conduce a un menor número de frutos por planta y un menor diámetro y peso de fruto.

De acuerdo con Morgan (1986), se considera fundamental para el logro de rendimientos máximos que en las primeras etapas, la planta tenga las condiciones adecuadas para su desarrollo, ya que factores como luz, CO₂, temperatura, agua, macro y micro nutrimentos son factores que influyen directamente en la formación, crecimiento y fortalecimiento de una fuente (follaje) capaz de soportar la producción de fotosintatos para su posterior aprovechamiento en los frutos (órganos de demanda).

6.2. Análisis por hileras de plantas en doseles escaleriformes y uniformes formados por hileras de plantas de la misma densidad y nivel de despunte (tres racimos) incluyendo al testigo uniforme.

En el siguiente apartado se presentan las variables morfológicas: altura de planta, diámetro de tallo, número de flores y número de flores abortadas por metro lineal; así como rendimiento por metro lineal y sus componentes y tamaño de fruto; para los tratamientos conformados por cuatro hileras de plantas a tres racimos en contenedores a diferente altura y doseles uniformes conformados por el mismo número de hileras, en ambos casos se manejaron las mismas densidades de población; también se incluye al testigo comercial con cuatro hileras de plantas (12 plantas·m⁻²).

El objetivo es comparar los doseles escaleriformes contra los uniformes a la misma densidad y todos éstos con el testigo, en cada una de las hileras de plantas.

6.2.1. Hilera sur a tres racimos por planta

Se realizó un análisis estadístico de la altura de planta, diámetro de tallo, número de flores por metro lineal y número de flores abortadas por hilera, de los tratamientos con cuatro hileras de plantas por tina conducidas a tres racimos cada una, con el objetivo de encontrar la mejor densidad para cada hilera del dosel escaleriforme y uniforme.

El análisis de varianza (Cuadro 6.7) no muestra diferencias significativas entre tratamientos para altura de planta y diámetro de tallo, en tanto que para las variables número de flores por metro lineal y flores abortadas, se observan diferencias altamente significativas para la hilera sur.

Cuadro 6.7. Cuadrados medios para cuatro variables en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L	Cuadrados medios			
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Número de flores	Flores abortadas
Bloque	3	0.007 **	0.02 NS	102.50 NS	27.05 NS
Tratamiento	4	0.003 NS	0.03 NS	1829.54 **	278.24 **
Error	12	0.001	0.03	57.34	34.32
C.V %		8.12	17.65	8.91	40.47
Media general		45 cm	1.00 cm	84.96 flores·m ⁻¹	14.48 flores·m ⁻¹

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

El cuadro de comparación de medias de la hilera sur (Cuadro 6.8) no presenta diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la altura de planta y diámetro de tallo. Respecto al número de flores por metro lineal, se aprecia

que el efecto de los tratamientos con dosel escaleriforme y uniforme, densidad alta ($6.6 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-1}$), son significativamente mayores que el tratamiento con dosel uniforme, densidad baja ($5 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-1}$) y que el testigo ($3.12 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-1}$). Para número de flores abortadas, se puede apreciar que los tratamientos escaleriformes y uniformes (con densidad alta y baja), fueron estadísticamente iguales y son significativamente mayores al testigo que sólo presentó 1.17 flores abortadas por metro lineal; con excepción del tratamiento escaleriforme, densidad baja que no difiere del testigo. El testigo, al tener una densidad de población más baja presentó los valores más bajos de flores abortadas en esa hilera.

Cuadro 6.8 Comparación de medias de cuatro variables, en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Flores ($\text{número} \cdot \text{m}^{-1}$)	Flores abortadas ($\text{número} \cdot \text{m}^{-1}$)
Escaleriforme 4 hileras de plantas a tres racimos ($50 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$).	47.0 a ²	1.06 a	84.37 a	12.29 ab
Uniforme 4 hileras de plantas a tres racimos ($50 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$).	47.0 a	1.03 a	82.50 b	18.54 a
Uniforme 4 hileras de plantas a tres racimos ($66 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$).	45.0 a	0.98 a	107.39 a	22.89 a
Escaleriforme 4 hileras de plantas a tres racimos ($66 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$).	43.0 a	0.86 a	99.06 ab	17.48 a
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos ($36 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$).	40.0 a	1.08 a	51.48 c	1.17 b
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	8.0	0.40	17.07	13.20

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

Para rendimiento y sus componentes, el análisis de varianza (Cuadro 6.9) mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos para rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$), número de frutos por metro lineal y peso medio de frutos.

Cuadro 6.9. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L.	Cuadrados medios		
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos
Bloque	3	0.02 NS	44.74 NS	118.19 NS
Tratamiento	4	2.58 **	771.88 **	736.40 **
Error	12	0.17	32.50	43.00
CV %		5.65	8.09	6.16
Media general		7.34 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$	70.49 frutos $\cdot\text{m}^{-1}$	106.47 (g)

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

La prueba de Tukey (Cuadro 6.10) muestra que el mayor rendimiento por metro lineal en la hilera sur de plantas a tres racimos fue para el tratamiento uniforme con densidad alta ($6.6 \text{ plantas}\cdot\text{m}^{-1}$) con $8.57 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ difiriendo estadísticamente de los demás tratamientos. La diferencia con el testigo uniforme fue de 35 % más a favor del primer tratamiento mencionado.

Respecto al número de frutos por metro lineal en el tratamiento uniforme con densidad alta se obtuvieron $84.5 \text{ frutos}\cdot\text{m}^{-1}$, superando al testigo uniforme que sólo dio $50.31 \text{ frutos}\cdot\text{m}^{-1}$. En tanto que para peso medio de fruto el testigo uniforme dio los frutos más grandes (127 g), mientras que el tratamiento escaleriforme con densidad alta produjo frutos más pequeños con un peso promedio de 91 g.

Cuadro 6.10. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Rendimiento (kg·m ⁻¹)	Frutos (número·m ⁻¹)	Peso medio de frutos (g)
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	8.57 a ²	84.50 a	101.69 bc
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	7.43 b	81.59 a	91.15 c
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	7.24 bc	72.08 ab	101.12 bc
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	7.11 bc	63.96 b	112.25 b
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	6.34 c	50.31 c	127.15 a
DMS (Tukey α=0.05)	0.93	12.85	14.78

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

El análisis de varianza (Cuadro 6.11) para la variable tamaño de frutos, no detectó diferencias significativas entre tratamientos para frutos grandes; mientras que para frutos medianos y chicos se encontraron diferencias altamente significativas, para la hilera sur.

La prueba de Tukey (Cuadro 6.12), no detectó diferencias significativas para frutos grandes. No obstante se aprecian diferencias numéricas importantes donde el valor más alto lo presenta el tratamiento con dosel uniforme, densidad alta (6.6 plantas·m⁻¹) con 62 frutos por metro lineal y el valor más bajo corresponde al testigo uniforme con tan solo 48.5 frutos·m⁻¹.

CUADRO 6.11. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, para la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.

F.V	G.L	Cuadrados medios		
		Frutos grandes	Frutos medianos	Frutos chicos
Bloque	3	8.00 NS	73.38 NS	33.60**
Tratamiento	4	114.30 NS	434.45 **	42.87**
Error	12	48.16	73.38	4.31
C.V %		12.90	30.98	51.89
Media general		53.80 frutos·m ⁻¹	28.62 frutos·m ⁻¹	4 frutos·m ⁻¹

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

Cuadro 6.12. Medias de tamaño de fruto de jitomate, para la hilera ubicada al sur de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Frutos grandes (número·m ⁻¹).	Frutos Medianos (número·m ⁻¹).	Frutos chicos (número·m ⁻¹).
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	62.00 a ²	37.00 a	2.50 bc
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	56.00 a	20.00 ab	0.75 c
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	52.00 a	38.00 a	8.00 a
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	50.50 a	29.00 ab	7.00 ab
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	48.50 a	15.25 b	1.75 c
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	15.64	19.31	4.68

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En la prueba de Tukey (Cuadro 6.12) se observan diferencias significativas respecto al número de frutos medianos y chicos, donde el tratamiento

escaleriforme, densidad alta, muestra la mayor cantidad de frutos medianos (38 frutos·m⁻¹) y frutos chicos (8 frutos·m⁻¹) y el testigo uniforme el valor más bajo para frutos medianos (15.25·m⁻¹); en tanto que el número más bajo para frutos chicos, corresponde al tratamiento uniforme, densidad baja (5 plantas·m⁻¹) con 0.75 frutos·m⁻¹.

6.2.2. Hilera centro sur a tres racimos por planta

El análisis de varianza (Cuadro 6.13) no presenta diferencias significativas entre las hileras conducidas a tres racimos de los diferentes tratamientos para las variables altura de planta y diámetro de tallo, pero sí se aprecian diferencias altamente significativas para las variables número de flores por metro lineal y número de flores abortadas.

Cuadro 6.13. Cuadrados medios para cuatro variables en la hilera centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L	Cuadrados medios			
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Número de flores	Flores abortadas
Bloque	3	0.003 NS	0.004 NS	18.14 NS	55.27 NS
Tratamiento	4	0.0009 NS	0.011 NS	2097.02 **	456.38 **
Error	12	0.002	0.007	32.92	60.90
C.V %		10.39	8.99	6.62	45.30
Media general		46 cm	0.94 cm	86.61 flores·m ⁻¹	17.23 flores·m ⁻¹

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

El cuadro de comparación de medias (Cuadro 6.14) no muestra diferencias significativas para altura de planta y diámetro de tallo, en tanto que para número de flores por metro lineal; se observa que los tratamientos de densidad alta (6.6 plantas·m⁻¹) producen números mayores, significativamente diferentes que los de, los tratamientos de densidad baja (5 plantas·m⁻¹) y que el testigo uniforme.

Respecto al número de flores abortadas, los tratamientos de densidad alta fueron significativamente mayores que los tratamientos de densidad baja y que el testigo, por lo que probablemente sí hubo efecto de densidad, pero también el número de flores abortadas se vio afectado por una deficiencia de fósforo en la etapa de floración (8 días), donde se pudo apreciar que la variedad de jitomate "Pike ripe" fue muy susceptible.

Cuadro 6.14. Comparación de medias para cuatro variables, en la hilera centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Flores (número·m ⁻¹)	Flores abortadas (número·m ⁻¹)
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	47.0 a ²	1.01 a	55.38 c	7.02 c
Uniforme 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	47.0 a	0.99 a	76.66 b	10.21 bc
Uniforme 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	47.0 a	0.94 a	108.22 a	31.63 a
Escaleriforme 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	45.0 a	0.89 a	82.92 b	11.88 bc
Escaleriforme 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	44.0 a	0.89 a	109.89 a	25.39 ab
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	11.0	0.19	12.93	17.59

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En lo que se refiere a rendimiento y sus componentes, el análisis de varianza (Cuadro 6.15) mostró diferencias altamente significativas entre las hileras conducidas a tres racimos de los diferentes tratamientos para rendimiento por metro lineal (kg·m⁻¹) y número de frutos por metro lineal; mientras que para peso medio de fruto se encontraron diferencias significativas.

Cuadro 6.15. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes, en la hilera ubicada en la parte centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L.	Cuadrados medios		
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos
Bloque	3	0.36 NS	11.45 NS	84.64 NS
Tratamiento	4	4.31 **	733.38 **	136.57 *
Error	12	0.36	59.55	42.42
CV %		9.36	11.12	6.75
Media general		6.64 kg·m ⁻¹	63.40 frutos·m ⁻¹	96.54 (g)

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

En el Cuadro 6.16. se presentan las comparaciones de medias referentes al rendimiento por metro lineal y sus componentes primarios. El tratamiento con dosel escaleriforme, densidad alta (6.6 plantas·m⁻¹) rindió 7.59 kg·m⁻¹ y produjo mayor número de frutos por metro lineal (84.5 frutos·m⁻¹) siendo significativamente mayor de la hilera de plantas a tres racimos del TU-3,3,3,3, que sólo rindió 5.03 kg·m⁻¹ y produjo 48.36 frutos·m⁻¹. En lo que se refiere a peso medio de fruto, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. No obstante, se observan diferencias numéricas importantes donde los frutos más grandes (103 g) corresponden al tratamiento con menor densidad de plantación, que fue el testigo; y los frutos con menor peso promedio al tratamiento con dosel escaleriforme, densidad alta, con tan sólo 89.98 g.

En resumen, se puede decir que el rendimiento por metro lineal para la hilera centro sur tendió a ser mayor en los doseles escaleriformes que en los uniformes manejados a la misma densidad, mientras que en el testigo fue significativamente menor.

Cuadro 6.16. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera centro sur de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Rendimiento (kg·m ⁻¹)	Frutos (número·m ⁻¹)	Peso medio de frutos (g)
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	7.59 a [*]	84.50 a	89.98 a
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	7.20 ab	71.04 ab	101.90 a
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	7.18 ab	76.59 ab	94.21 a
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	6.19 bc	66.46 b	93.13 a
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	5.03 c	48.36 c	103.46 a
DMS (Tukey α=0.05)	1.35	17.39	14.68

DMS= Diferencia Mínima Significativa

^{*}Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En cuanto a tamaño de fruto, el análisis de varianza (Cuadro 6.17) detectó diferencias significativas para frutos grandes y altamente significativas para frutos chicos; mientras que para frutos medianos no existen diferencias entre tratamientos, para la hiera centro sur conducida a tres racimos.

La prueba de comparación de medias (Cuadro 6.18) muestra diferencias significativas para frutos grandes y chicos, donde se puede apreciar que los valores más altos para frutos grandes corresponden a los tratamientos escaleriformes con densidad baja y alta, 30.1 y 27 % más que el testigo; en tanto que para frutos chicos el porcentaje más alto correspondió al tratamiento

escaleriforme, densidad alta con 73 % más de frutos chicos respecto al testigo uniforme; por lo que la densidad probablemente afectó el tamaño de fruto.

CUADRO 6.17. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, para la hilera centro sur de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.

F.V	G.L	Cuadrados medios		
		Frutos grandes	Frutos medianos	Frutos chicos
Bloque	3	22.73 NS	8.73 NS	27.00 NS
Tratamiento	4	146.17 *	278.42 NS	56.82 **
Error	12	35.61	101.86	9.79
C.V %		13.17	30.86	51.30
Media general		45.30 frutos·m ⁻¹	32.70 frutos·m ⁻¹	6.10 frutos·m ⁻¹

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

Cuadro 6.18. Medias de tamaño de fruto de jitomate, para la hilera centro sur, en diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Frutos Grandes (número·m ⁻¹).	Frutos Medianos (número·m ⁻¹).	Frutos chicos (número·m ⁻¹).
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	51.50 a ²	26.00 a	7.75 ab
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	49.25 ab	40.25 a	12.00 a
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	46.50 ab	41.50 a	4.00 b
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	43.25 ab	33.00 a	3.50 b
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	36.00 b	22.75 a	3.25 b
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	13.45	22.75	7.05

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

Respecto a frutos medianos no se encontraron diferencias significativas, no obstante se aprecian diferencias numéricas importantes donde los valores más altos corresponden a los tratamientos con densidad alta (escaleriforme y uniforme) y el valor más bajo al testigo uniforme.

6.2.3. Hilera centro norte a tres racimos por planta

El análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos para diámetro de tallo, flores por metro lineal y flores abortadas; en tanto que, la altura de planta no se detectó diferencias significativas, en la hilera centro norte de las camas de cultivo.

Cuadro 6.19. Cuadrados medios para cuatro variables, en la hilera centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L	Cuadrados medios			
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Número de flores	Flores abortadas
Bloque	3	0.03 NS	0.01 NS	63.57 *	48.13 NS
Tratamiento	4	0.01 NS	0.05 **	1658.95 **	360.24 **
Error	12	0.01	0.007	13.52	39.89
C.V %		25.15	8.98	4.39	48.05
Media general		49 cm	0.99 cm	83.77 flores·m ⁻¹	13.14 flores·m ⁻¹

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) indica que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos para la variable altura de planta, en tanto que para diámetro de tallo sí las hubo. Los valores más altos se presentan en el testigo uniforme (tratamiento con menor densidad de plantación 12 plantas·m⁻²) y el valor más bajo corresponde al tratamiento uniforme con densidad alta (6.6 plantas·m⁻²); por lo que el efecto de densidad probablemente influyó en esta variable. Por otro lado el número de flores por metro lineal fue significativamente mayor en los tratamientos con alta densidad

(6.6 plantas·m⁻¹) en relación con los tratamientos de densidad baja (5 plantas·m⁻¹) y con el testigo (3.12 plantas·m⁻¹).

Respecto al número de flores abortadas, el cuadro de medias muestra diferencias significativas, donde los valores más altos de la variable en cuestión corresponden a los tratamientos uniformes con densidad alta y baja; mientras que nuevamente el testigo destaca por presentar los valores más bajos de flores abortadas. Por lo tanto al igual que en la hilera anterior, probablemente hubo efecto de densidad, el cual fue más marcado en los tratamientos con dosel uniforme; pero también el número de flores abortadas pudo verse afectada por una deficiencia de fósforo, de la cual ya se hizo mención y donde se apreció que la variedad de jitomate "Pike ripe" fue muy susceptible.

Cuadro 6.20. Comparación de medias para cuatro variables, en la hilera centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Flores (número·m ⁻¹)	Flores abortadas (número·m ⁻¹)
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	58.0 a ²	1.0 ab	82.08 b	4.58 bc
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	49.0 a	0.93 b	80.83 b	18.54 ab
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	47.0 a	1.19 a	52.26 c	3.12 c
Uniforme 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	45.0 a	0.92 b	101.01 a	25.67 a
Escaleriforme 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	43.0 a	0.93 b	102.67 a	13.80 abc
DMS (Tukey α=0.05)	28	0.20	8.28	14.23

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En el Cuadro 6.21 se presenta el análisis de varianza para rendimiento y sus componentes primarios en la hilera centro norte conducida a tres racimos por planta. Se aprecian diferencias altamente significativas entre tratamientos para las variables rendimiento y número de frutos por metro lineal; en cuanto a peso medio de fruto no se encontraron diferencias significativas.

Cuadro 6.21. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en la hilera ubicada en la parte centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L	Cuadrados medios		
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos
Bloque	3	0.21 NS	168.21 **	291.70 NS
Tratamiento	4	6.80 **	933.46 **	131.57 **
Error	12	0.46	32.07	49.05
CV %		10.05	8.02	7.20
Media general		6.78 kg·m ⁻¹	70.63 frutos·m ⁻¹	97.20 (g)

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 6.22) se aprecia que la hilera de plantas a tres racimos del tratamiento escaleriforme con densidad alta (6.6 plantas·m⁻¹) fue la que rindió más (8.32 kg·m⁻¹) y produjo mayor número de frutos por metro lineal (88.87 frutos·m⁻¹) siendo significativamente mayor a la hilera de plantas a tres racimos del TU-3,3,3,3 que sólo rindió 5.16 kg·m⁻¹ y 49.14 frutos·m⁻¹.

En lo que se refiere a peso medio de fruto, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, se aprecian diferencias numéricas importantes, donde los valores más altos corresponden al testigo uniforme con frutos de 106.35 g en promedio, y los valores más bajos al tratamiento U-3,3,3,3-A con tan sólo 92.5 g.

Nuevamente se da la tendencia del dosel escaleriforme a rendir más en la hilera centro norte con respecto a la misma hilera en el dosel uniforme a la misma densidad y significativamente más que en la misma hilera del tratamiento testigo.

Cuadro 6.22. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera centro norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Rendimiento (kg·m ⁻¹)	Frutos (número·m ⁻¹)	Peso medio de frutos (g)
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	8.32 a ²	88.87 a	93.67 a
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	7.66 a	77.50 ab	99.28 a
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	6.98 ab	75.34 b	92.50 a
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	5.78 bc	62.29 c	94.21 a
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	5.16 c	49.14 d	106.35 a
DMS (Tukey α=0.05)	1.53	12.76	15.78

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En lo que respecta a tamaño de frutos, el análisis de varianza (Cuadro 6.23) muestra diferencias altamente significativas entre tratamientos para frutos grandes, medianos y chicos; en la hilera centro norte.

CUADRO 6.23. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate, para la hilera centro norte de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.

F.V	G.L	Cuadrados medios		
		Frutos grandes	Frutos medianos	Frutos chicos
Bloque	3	42.32 NS	316.07 **	16.18 NS
Tratamiento	4	262.00 **	222.55 **	82.80 **
Error	12	51.40	43.15	12.93
C.V %		15.67	19.15	64.80
Media general		45.75 frutos·m ⁻¹	34.30 frutos·m ⁻¹	5.55 frutos·m ⁻¹

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

Cuadro 6.24. Medias de tamaño de fruto de jitomate, para la hilera centro norte, en diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Frutos grandes (número·m ⁻¹)	Frutos Medianos (número·m ⁻¹)	Frutos Chicos (número·m ⁻¹)
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	54.25 a ²	40.25 a	12.25 a
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	54.00 a	30.75 ab	8.25 ab
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	44.00 ab	43.25 a	3.25 b
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	40.00 ab	32.50 ab	2.25 b
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	36.50 b	24.25 b	1.75 b
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	16.16	14.80	8.10

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

De acuerdo con la prueba de Tukey el tratamiento escaleriforme, densidad alta, y $6.6 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-1}$, es el que sobresale de manera significativa para frutos grandes ($54.25 \text{ frutos} \cdot \text{m}^{-1}$) y chicos ($12.25 \text{ frutos} \cdot \text{m}^{-1}$), mientras que el tratamiento uniforme con densidad alta ($6.6 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-1}$) presentó el valor más alto para frutos medianos ($43.25 \text{ frutos} \cdot \text{m}^{-1}$); en tanto que el tratamiento TU-3,3,3,3 con $3.12 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-1}$, es el que tiene los valores más bajos: 36.5 frutos grandes, 24.25 frutos medianos y 1.75 frutos chicos por metro lineal respectivamente (Cuadro 6.24).

6.2.4. Hilera norte a tres racimos por planta

El análisis de varianza (Cuadro 6.25) no presenta diferencias significativas entre tratamientos para las variables altura de planta y diámetro de tallo, en la hilera orientada al norte de las camas de cultivo, pero sí para las variables número de flores por metro lineal y flores abortadas, donde se dan diferencias altamente significativas.

Cuadro 6.25. Cuadrados medios para cuatro variables, en la hilera norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L	Cuadrados medios			
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Número de flores	Flores abortadas
Bloque	3	0.01 *	0.008 NS	42.34 NS	41.07 NS
Tratamiento	4	0.002 NS	0.02 NS	2096.72 **	254.81 **
Error	12	0.002	0.01	16.58	37.69
C.V %		11.42	13.64	4.63	55.02
Media general		46 cm	0.93 cm	$87.83 \text{ flores} \cdot \text{m}^{-1}$	$11.16 \text{ flores} \cdot \text{m}^{-1}$

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

El cuadro de comparación de medias (6.26.) no muestra diferencias significativas para las variables altura de planta y grosor de tallo. Respecto al número de flores por metro lineal, se aprecia que los tratamientos escaleriforme y uniforme con alta densidad ($6.6 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-1}$), son significativamente mayores con 24.4 % más de

flores, que los tratamientos escaleriforme y uniforme con densidad baja (5 plantas·m⁻¹) y 49.87 % más que el testigo (3.12 plantas·m⁻¹).

En cuanto a número de flores abortadas, el valor más alto corresponde al tratamiento uniforme, densidad alta con 22.48 flores abortadas por metro lineal, que es significativamente mayor que el tratamiento uniforme, densidad baja y que el testigo , que sólo presentaron 2.5 y 6.24 flores abortadas por metro lineal, respectivamente. La mayor cantidad de flores abortadas en el tratamiento uniforme, densidad alta, pudo deberse al sombreamiento mutuo entre plantas; por lo que probablemente la densidad sí afectó.

Cuadro 6.26. Comparación de medias para cuatro variables, en la hilera norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Flores (número·m ⁻¹)	Flores abortadas (número·m ⁻¹)
Uniforme 4 hieras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	48.0 a ²	0.87 a	109.06 a	22.48 a
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	47.0 a	0.92 a	84.37 b	8.75 ab
Escaleriforme 4 hileras de plantas a tres racimos (66 racimos·m ⁻²).	46.0 a	0.90 a	109.89 a	15.82 ab
Escaleriforme 4 hileras de plantas a tres racimos (50 racimos·m ⁻²).	45.0 a	0.90 a	81.25 b	2.50 b
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	42.0 a	1.06 a	54.60 c	6.24 b
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	12	0.28	9.18	13.83

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

Respecto a rendimiento y sus componentes, se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos para la hilera norte, en rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$), número de frutos por metro lineal y peso medio de frutos.

Cuadro 6.27. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en la hilera norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos en arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L.	Cuadrados medios		
		Rendimiento	Número de frutos	Peso medio de frutos
Bloque	3	0.27 NS	14.65 NS	34.56 NS
Tratamiento	4	4.68 **	1247.13 **	623.02 **
Error	12	0.34	17.37	47.30
CV %		7.36	5.43	6.54
Media general		7.88 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$	76.68 $\text{frutos}\cdot\text{m}^{-1}$	105.15 (g)

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

En la prueba de comparación de medias (Cuadro 6.28) se aprecia que el tratamiento E-3,3,3,3-A, rindió más y produjo el mayor número de frutos, siendo significativamente mayor que el TU-3,3,3,3, que rindió 30.9 % menos y produjo 48.6 % frutos menos por metro lineal en la hilera norte.

En lo que corresponde a peso medio de fruto el TU-3,3,3,3, tratamiento que presenta la menor densidad de plantación por hilera de todos los analizados, dio los frutos más grandes (125.58 g), mientras que el tratamiento E-3,3,3,3-A, produjo los frutos más pequeños con un peso promedio de 92.40 g.

En este caso, al igual que en la hilera sur, no se observa la tendencia a mayor rendimiento en los doseles escaleriformes con respecto a los uniformes a la misma densidad, ya que por tratarse de hileras exteriores (que dan a los pasillos) las plantas están igualmente iluminadas en ambos tipos de dosel, lo que las lleva a similar producción de asimilados y similar rendimiento, número de frutos y peso medio.

Cuadro 6.28. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera ubicada al norte de las camas de cultivo, con plantas a tres racimos con diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Rendimiento (kg·m ⁻¹)	Frutos (número·m ⁻¹)	Peso medio de frutos (g)
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, (66 racimos·m ⁻²).	8.67 a ²	94.07 a	92.40 b
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, (66 racimos·m ⁻²).	8.60 a	86.58 ab	99.31 b
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, (50 racimos·m ⁻²).	8.38 a	81.87 bc	102.33 b
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, (50 racimos·m ⁻²).	7.69 a	72.50 c	106.11 b
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (36 racimos·m ⁻²).	6.08 b	48.36 d	125.58 a
DMS (Tukey α=0.05)	1.31	9.39	15.50

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

Para la variable tamaño de fruto, se observan diferencias significativas entre tratamientos para frutos grandes; mientras que para frutos medianos y chicos se encontraron diferencias altamente significativas, para la hilera norte conducida a tres racimos por planta (Cuadro 6.29).

El análisis de varianza indica diferencias significativas entre tratamientos para frutos grandes en la hilera norte. Sin embargo, la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) no lo detecta (Cuadro 6.30). No obstante se aprecian diferencias numéricas importantes, donde los valores más altos corresponden al tratamiento con dosel escaleriforme, densidad alta (6.6 plantas·m⁻¹) y los valores más bajos al testigo uniforme con 19.8 % menos con respecto al tratamiento anterior.

CUADRO 6.29. Cuadrados medios para el tamaño de frutos de jitomate para la hilera ubicada al norte de las tinas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.

F.V	G.L	Cuadrados medios		
		Frutos grandes	Frutos medianos	Frutos chicos
Bloque	3	22.18 NS	1.38 NS	54.60 *
Tratamiento	4	145.45 *	450.70 **	85.32 **
Error	12	44.85	41.97	13.06
C.V %		12.25	20.02	61.25
Media general		54.65 frutos·m ⁻¹	32.35 frutos·m ⁻¹	5.90 frutos·m ⁻¹

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

Cuadro 6.30. Medias de tamaño de frutos de jitomate, para la hilera ubicada al norte de las camas de cultivo, en diferentes arreglos de plantación.

Arreglo	Frutos grandes (número·m ⁻¹)	Frutos Medianos (número·m ⁻¹)	Frutos Chicos (número·m ⁻¹)
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad alta.	61.00 a ²	37.25 a	5.75 ab
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad alta.	58.00 a	42.50 a	12.50 a
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad baja.	57.50 a	33.00 a	8.00 ab
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad baja.	50.25 a	34.50 a	2.25 b
Testigo Uniforme, con 4 hileras de plantas a tres racimos (12 plantas·m ⁻²).	46.50 a	14.50 b	1.00 b
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	15.09	14.60	8.14

DMS= Diferencia Mínima Significativa

²Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En lo que se refiere a frutos medianos y chicos, el cuadro de comparación de medias (Cuadro 6.30) muestra diferencias significativas entre tratamientos, donde los valores

más altos corresponden al tratamiento E-3,3,3,3-A, con 38 frutos medianos·m⁻¹ y 8 frutos chicos·m⁻¹; siendo significativamente mayor que el TU-3,3,3,3, que presenta la menor cantidad de frutos medianos (14.50 frutos·m⁻¹) y chicos (1 fruto·m⁻¹).

6.3. Discusión sobre variables morfológicas

Los resultados muestran que la altura de planta se comportó de manera similar en los tratamientos con dosel escaleriforme y uniforme, incluyendo al testigo; tanto en hileras exteriores como en interiores, por lo que la densidad y el dosel no influyeron de manera significativa en dicho carácter.

Por su parte el diámetro de tallo se vio disminuido en una de las hileras interiores, donde el valor más bajo lo presentó el tratamiento U-3,3,3,3-A, lo cual probablemente se debe al sombreamiento mutuo entre plantas, tal como lo mencionan Gardner *et al.* (1990), después de cierto límite, el aumento de la densidad causa que las plantas disminuyan su área foliar, los tallos se vuelven más delgados y débiles. Por su parte Zahara y Timm (1973), encontraron que el diámetro de tallo disminuye al aumentarse la población arriba de 96.3 plantas·m⁻².

En promedio el número de flores por metro lineal en las cuatro hileras se comportó de manera similar en los doseles escaleriformes y uniformes (con densidad alta) y en los doseles escaleriformes y uniformes (con densidad baja), el testigo por tener menor densidad de población produjo menor cantidad de flores. Sin embargo, en los tratamientos en dosel uniforme el número de flores fue mayor en las hileras exteriores que en las interiores, probablemente porque éstas interceptan mayor radiación al verse favorecidas por el espacio de los pasillos que se deja entre tina y tina.

El número de flores abortadas, sí se vio fuertemente afectado por la densidad de población, ya que el tratamiento U-3,3,3,3-A; presentó los valores más altos de flores abortadas. Sobre todo este daño se vio más marcado en las hileras

interiores. Lo anterior pudo ser causa del sombreamiento mutuo entre plantas. Al respecto Ferry y Janick (1970), al trabajar con tomate, encontraron que el número de racimos y el número de flores por planta; así como el porcentaje de amarre de frutos disminuyeron bruscamente al aumentar la densidad de plantas.

Cockshull *et al.* (1992), cultivaron plantas de tomate sin sombra, sombra ligera (reducción del 6.4 % en la radiación solar incidente en las plantas) y sombra fuerte (23.4 % de reducción) y encontraron que el aborto de flores se incrementó con sombra fuerte.

El número de flores abortadas también pudo verse afectado por una deficiencia de fósforo durante 8 días en el período de floración, de la que ya se había hecho mención, ya que el fósforo es un elemento que forma parte de muchos compuestos orgánicos importantes, donde se incluyen la glucosa, ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y ciertas coenzimas. Su función es fundamental en el metabolismo energético (Alpi, 1991; Resh, 1992).

Debido a las funciones del fósforo en el crecimiento y metabolismo de las plantas, la deficiencia lleva a una reducción general en las tasas de la mayoría de los procesos metabólicos, incluyendo la división y expansión celular, la respiración y la fotosíntesis; manifestaciones visibles de esto serán una detención del crecimiento de la planta, hojas jóvenes pequeñas, caída de flores y detención del crecimiento de frutos (Resh, 1992).

6.4. Análisis comparativo de las hileras dentro de cada tratamiento de doseles escaleriformes y uniformes formados por hileras de plantas de la misma densidad (cada hilera) y nivel de despunte (tres racimos)

A continuación se presentan los cuadros de análisis de varianza y comparación de medias por hilera. El análisis se hace de manera individual para cada tratamiento

con el objetivo de diferenciar la aportación de cada hilera en rendimiento y sus componentes en los doseles escaleriformes y uniformes.

El análisis de varianza (Cuadro 6.31) muestra diferencias significativas entre hileras para la variable rendimiento por metro lineal, en los tratamientos escaleriformes (densidad alta y baja), uniforme (densidad alta) y testigo uniforme; y altamente significativas para el tratamiento uniforme con densidad baja. Respecto a frutos por metro lineal sólo el tratamiento escaleriforme con densidad alta presenta diferencias significativas entre hileras, en tanto que, para peso medio de frutos, en los tratamientos TU-3,3,3,3 y uniforme, densidad baja se aprecian diferencias significativas entre hileras.

Al analizar el Cuadro 6.32 de comparación de medias por hilera para cada tratamiento se observa que las hileras ubicadas al norte de las camas de cultivo rindieron más, que las hileras ubicadas al sur, en los tratamientos de dosel escaleriforme. Esto pudo deberse a que las hileras del norte recibieron mayor cantidad de luz directa debido a que el sol se encontraba en el extremo norte (verano); mientras que las hileras del sur rindieron menos, puesto que la luz recibida en su mayoría fue difusa.

En los tratamientos de doseles uniformes (densidad alta y baja) se aprecia que las hileras interiores tendieron a rendir menos que las exteriores, lo cual seguramente se debe al mayor sombreamiento de las plantas de las hileras interiores con respecto a las de las hileras exteriores.

Para el testigo uniforme el análisis de varianza indica diferencias significativas entre hileras para la variable rendimiento por metro lineal ($\alpha=0.03$). Sin embargo la prueba de Tukey no la detecta con ($\alpha=0.05$). No obstante se aprecian diferencias numéricas importantes entre hileras exteriores e interiores, correspondiendo los valores más altos de rendimiento a las exteriores.

Cuadro 6.31. Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes primarios, con un análisis por hilera y por tratamiento, con arreglos escaleriformes y uniformes.

F.V	G.L	Cuadrados medios		
		Rendimiento (kg·m ⁻¹)	Número de frutos (frutos·m ⁻¹)	Peso medio de frutos (g)
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad alta.				
Bloque	3	0.27 NS	69.25 NS	25.14 NS
Hilera	3	1.38 *	118.44 *	10.09 NS
Error	9	0.19	22.17	26.94
C.V %		5.50	5.39	5.65
Media general		8.00	87.26	91.80
Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad baja.				
Bloque	3	0.14 NS	94.67 NS	149.66 *
Hilera	3	1.19 *	101.50 NS	7.28 NS
Error	9	0.22	32.51	22.22
C.V %		6.14	7.54	4.66
Media general		7.62	75.62	101.16
Testigo Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos (12 plantas·m ⁻²).				
Bloque	3	0.20 NS	40.41 NS	136.30 NS
Hilera	3	1.71 *	3.39 NS	621.34 *
Error	9	0.36	35.94	95.17
C.V %		10.72	12.22	8.44
Media general		5.65	49.04	115.63
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad alta.				
Bloque	3	0.22 NS	51.18 NS	73.93 NS
Hilera	3	3.05 *	126.14 NS	73.88 NS
Error	9	0.71	57.79	38.97
C.V %		10.77	9.41	6.44
Media general		7.83	80.75	96.93
Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad baja.				
Bloque	3	0.14 NS	18.00 NS	95.67 NS
Hilera	3	2.99 **	80.04 NS	318.73 *
Error	9	0.25	28.74	75.19
C.V %		7.44	8.08	8.57
Media general		6.69	66.30	101.17

*Significativo $\alpha = 0.05$. ** Altamente significativo $\alpha = 0.01$. N S = No Significativo. CV = Coeficiente de Variación.

Respecto a la variable frutos por metro lineal, la prueba de Tukey detecta diferencias significativas entre hileras para el tratamiento escaleriforme (densidad alta), donde los valores más altos corresponden a la hilera norte ($94.07 \text{ frutos} \cdot \text{m}^{-1}$) y los más bajos a la hilera sur ($81.59 \text{ frutos} \cdot \text{m}^{-1}$). De manera similar se comportó el tratamiento con dosel escaleriforme de densidad baja, aunque en este caso la diferencia no alcanzó significancia (El análisis de varianza si detecta diferencias significativas para este tratamiento); estas diferencias pueden explicarse del mismo modo que en el caso anterior, la hileras norte recibió mayor cantidad de luz directa, que la hilera sur, lo que provocó que esta última tuviera una mayor cantidad de flores abortadas y en consecuencia menor número de frutos.

En los tratamientos de dosel uniforme no se aprecian diferencias significativas; sin embargo, cabe destacar que los tratamientos uniformes (densidades alta y baja) y testigo uniforme, muestran diferencias numéricas importantes, donde los valores más altos de frutos por metro lineal corresponden a las hileras exteriores y los más bajos a las hileras interiores.

Para la variable peso medio de frutos, el cuadro de comparación de medias no presenta diferencias significativas entre hileras, para los tratamientos escaleriformes (densidades alta y baja); en tanto que para el testigo uniforme sí hay diferencias significativas entre hileras exteriores e interiores, donde los valores más altos de peso medio de fruto corresponden a las exteriores. En el caso de los doseles uniformes (densidades alta y baja) no hubo diferencias significativas para esta variable, pero se aprecia la misma tendencia a dar menor tamaño de fruto en las hileras interiores (Cuadro 6.32).

Cuadro 6.32. Comparación de medias para rendimiento y sus componentes primarios, con un análisis por hilera y por tratamiento, con arreglos escaleriformes y uniformes.

	Rendimiento (kg·m ⁻¹)	Frutos (número·m ⁻¹)	Peso medio de frutos (g)
HILERA	Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad alta.		
Norte	8.67 a ²	94.07 a	92.39 a
Centro Norte	8.32 ab	88.87 ab	93.67 a
Centro Sur	7.59 b	84.50 b	89.98 a
Sur	7.43 b	81.59 b	91.15 a
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	0.97	10.39	11.46
HILERA	Escaleriforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad baja.		
Norte	8.37 a	81.87 a	102.33 a
Centro Norte	7.66 ab	77.50 a	99.28 a
Sur	7.24 b	72.08 a	101.12 a
Centro Sur	7.20 b	71.04 a	101.89 a
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	1.03	12.58	10.41
HILERA	Testigo Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad baja.		
Sur	6.34 a	50.31 a	127.15 a
Norte	6.08 a	48.36 a	125.15 a
Centro Norte	5.16 a	49.14 a	106.35 ab
Centro Sur	5.03 a	48.36 a	103.46 b
DMS	1.34	13.23	21.53
HILERA	Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad alta.		
Norte	8.60 a	86.58 a	99.31 a
Sur	8.56 a	84.50 a	101.69 a
Centro Sur	7.18 a	76.59 a	94.21 a
Centro Norte	6.98 a	75.34 a	92.50 a
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	1.86	16.78	13.78
HILERA	Uniforme, 4 hileras de plantas a tres racimos, densidad baja.		
Norte	7.69 a	72.50 a	106.11 a
Sur	7.11 ab	63.96 a	111.25 a
Centro Sur	6.18 bc	66.46 a	93.13 a
Centro Norte	5.78 c	62.29 a	94.21 a
DMS (Tukey $\alpha=0.05$)	1.09	11.83	19.14

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

²Medias con la misma letra dentro de columnas para cada tratamiento no presentan diferencias significativas.

6.5. Discusión sobre rendimiento y sus componentes, para doseles escaleriformes y uniformes formados con plantas despuntadas a tres racimos y el testigo comercial

Para una misma densidad los tratamientos con dosel escaleriforme (con densidades alta y baja), rindieron más y produjeron mayor cantidad de frutos por unidad de superficie, que los tratamientos con dosel uniforme (con densidades alta y baja) y que el testigo uniforme de menor densidad (Cuadro 6.32); lo que hace suponer que, probablemente el sombreamiento mutuo entre plantas repercutió en un menor amarre de frutos. Lo anterior apoya la hipótesis planteada de que el máximo rendimiento por unidad de superficie se obtiene con un sistema de producción basado en hileras de plantas colocadas en contenedores a diferente altura, manejadas para despuntar a tres racimos y orientadas en dirección Este-Oeste. Sin embargo en los doseles escaleriformes (densidad alta y baja), el tamaño de fruto se vio limitado debido al suministro menos eficiente de agua del que ya se había hecho mención, dado que esta última tiene influencia directa en el tamaño de los frutos (Pret y Ho, 1986; Ho *et al.*, 1987).

Por otra parte, en los tratamientos con dosel escaleriforme el rendimiento no fue mayor en las hileras exteriores con respecto a las interiores, lo que apoya la hipótesis planteada, que mediante estos arreglos de plantación se logra una mayor y mejor distribución de la Radiación Fotosintéticamente Activa en los diferentes estratos del dosel, y por consiguiente el rendimiento también es mayor.

Lo anterior se relaciona con lo mencionado por Gardner *et al.* (1990), en el sentido de que, para una misma irradiancia fotosintética se puede lograr una mayor tasa de fotosíntesis del dosel, si un alto porcentaje de las hojas es iluminado a una intensidad media, que si una menor proporción de hojas recibe alta intensidad de Radiación Fotosintéticamente Activa y una mayor proporción reciben poca, como consecuencia del sombreamiento mutuo. Por otra parte Mock y Pearce (1975), señalan 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 lo más uniforme en el dosel.

Lo contrario sucedió con los doseles uniformes donde se aprecia que las hileras exteriores rindieron más que las interiores y produjeron mayor número de frutos, debido a que estuvieron mejor iluminadas por el espacio que se deja entre tinas (pasillos). Esto coincide con el trabajo realizado por Ucan (1999), quién trabajando con jitomate encontró un rendimiento significativamente menor en las hileras interiores con respecto a las hileras exteriores en tinas con cuatro hileras de plantas a tres racimos y $12 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ de superficie útil. También coincide con el trabajo realizado por Torres (2001), con pepino americano en cuatro hileras de plantas por tina ($20 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ de superficie útil) encontró que las hileras interiores produjeron menos frutos que las exteriores y por consiguiente el rendimiento también fue menor.

VII. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente estudio para plantas de jitomate, cultivares "Gabriela y Pike Ripe" manejadas en dos tipos de doseles (escaleriforme y uniforme), a diferentes densidades de plantación y con diferente nivel de despunte; se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Las plantas manejadas con disposición en forma de escalera (escaleriformes) rindieron más por unidad de superficie que el testigo basado en un dosel uniforme.
2. El rendimiento más alto por unidad de superficie ($27 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ de superficie útil) se obtuvo con el tratamiento de dosel escaleriforme que conjugó 6.6 plantas por metro lineal despuntadas a dos racimos en la hilera ubicada al sur de la tina, cinco plantas por metro lineal despuntadas a cuatro racimos para la hilera central y cuatro plantas por metro lineal despuntadas a seis racimos para la hilera ubicada al norte de la tina, dando un total de $49 \text{ racimos} \cdot \text{m}^{-2}$ de superficie útil.
3. En general los tratamientos con dosel en forma de escalera presentaron menor número de flores abortadas por metro lineal, que los tratamientos en doseles uniformes.
4. El mayor rendimiento por unidad de superficie que se logró en los doseles escaleriformes se debió a la cosecha de mayor número de frutos por unidad de superficie, con poca disminución en el peso medio de frutos y estuvo relacionado con un mayor índice de área foliar.
5. En los tratamientos de dosel uniforme, las plantas ubicadas en las hileras exteriores a lo largo de las tinas, rindieron más y tuvieron mayor peso y tamaño de fruto en comparación con las hileras de las plantas interiores; en tanto que en los doseles escaleriformes formados con plantas al mismo nivel de despunte, debido a la época del año, el mayor rendimiento por hilera se dio en las hileras ubicadas al norte.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acook, 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. y R. S. Loomis (eds.). Crop Science Society of America Madison. Wisconsin, USA.
- Adamson, R. M. and Mass, E. F. 1981. Soilles culture of seedless greenhouse cucumber and sequence cropping. Minister of Supply and Services of Canadá. Ottawa, Canadá. p. 25.
- Ammerlaan, A. W. S., Joosten, M. H. A. J. and Grange, R. I. 1986. The starch content of tomato leaves grown under glass. *Science Horticulture* 28: 1-9.
- Anónimo 1995. El Jitomate Mexicano: Complemento del Mercado Estadounidense. Claridades Agropecuarias. No. 25. México, Distrito Federal. 54 p.
- Azcon, B. J. y Talon, M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Editorial McGraw-Hill. Interamericana. Madrid, España. 581 p.
- Ballaré, C. L., Scopel, A. L. and Sánchez, R. A. 1995. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth and yield. *HorScience* 30: 1172-1181.
- Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. Tercera Edición. AGT. Editor. D. F., Ciudad de México. 784 p.
- Blackman, G. E. 1961. The limit of plant productivity. *Annual Report*. East Malling Research Station, p. 39-50.
- Boardman, N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade leaves. *Annual Review of Plant Physiology* 28: 355-377.

- Brougham, R. W. 1960. The relationship between the critical leaf area total chlorophyll content and maximum growth-rate of some pasture and crop plants. *Annuary Botany* 24: 463-474.
- Bruggink, G. T. and Heuvelink, E. 1987. Infuence 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. *Science Horticultural* 31: 161-174.
- Buttery, B. R. 1969. Analysis of the growth of soybeans as affected by plant population and fertilizer. *Can. Journal Plant Science*, 49: 675-684.
- Calvert, A. 1973. Environmental responses, pp. 19-34. *In: The United Kingdom Tomato Manual*. Growers Books (editors). London, England.
- Cancino B. J., F. Sánchez Del C. y P. Espinosa R., 1990. Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. *Revista Chapingo*. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 73 (74): 26-30.
- Challa, H., Heuvelink, E. And van Meeteren, U. 1995. Crop growth and develoment, pp. 62-84 *In: Greenhouse Climate control-An Integrated Approach* J. C. Bakker, G. P. A., Bot. H. Challa and N. J. van de Braak (editors).. Wageningen Pers. Netherlands.
- Challa, H. and Heuvelink, E. 1993. Economic evaluation of crop photosynthesis. *Acta Horticulture* 328. 219-228.
- Charles-Edwards, D. A., D. Doley and G. M. Rimmington. 1986. *Modelling Plant Growth and Development*. Academic Press. Sydney, Australia.

- 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 y H. Ziegler (eds.). Springer-Verlag. New York, USA.
- Cockshull, K. E., Graves, C. J. and Cave, C. R. J. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes, *Journal Horticultural Science* 67: 11-24.
- Cockshull, K. E. And Ho, L. C. 1995. Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinnig. *Journal Horticultural Science*, 70: 395-407.
- Daie, J. 1985. Carbohydrate partitioning and metabilism in crops. *Horticultural Review* 7: 69-79.
- De Santiago, J. 2001. Evaluación de las Exportaciones de Tomate de México. *Productores de Hortalizas*. No.9: p. 14-19. Septiembre de 2001. México, Distrito Federal.
- Dhillon, G. S. and Kler, D. S. 1981. Relation of shape of canopy to interception of radation and yield of wheat. *Journal Agricultural Science*, 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.
- Evans, L. T. Y I. F. Wardlaw. 1976. Aspects of the comparative physiology of grain yields in cereals. *Advances in Agronomy*, 28: 301-359.
- FAO, 1990. Soilless Culture for Horticultural Crop Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 188 p.

- Ferry, R. L. and Janick, J. 1970. Response of the tomato population pressure. *Journal American Society Horticultural Science* 91: 47-60.
- Fisher, K. J., 1977. Competition effects between fruit trusses of the tomato plant. *Scientia Horticulturae*. 7: 37-42.
- Folquer, F. 1979. El Tomate. Estudio de la Planta y su Producción. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 105 p.
- Gardner, P. F., R. B. Pearce y R. L. Mihtchel. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Second Printing. Iowa State University Press. Iowa, USA: 327 p.
- Hancock, J. F., Moon, J. W. and Flore, J. A. 1984. Within-row spacing and dry weight distribution in two strawberry cultivars. *HortScience* 19: 412-413.
- Hand, D. W., Warren Wilson. J. and Hannah. M. A. 1993. Light interception by a row crop of glasshouse peppers. *Journal Horticultural Science*, 68: 695-703.
- Harper, L. A., Pallas, Jr. J. E., Bruce, R. R. and Jones, Jr. J. B. 1979. Greenhouse microclimate for tomatoes in the southeast. *Journal American Horticultural Science*, 104: 659-663.
- Herbert, S. J. 1978. Plant density and irrigation studies on lupins. N. Z. *Journal Agriculture Research*, 21: 483-489.
- Heuvelink, E. 1995b . Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Science Horticulture* 64: 193-201.
- Hewitt, J. D. and Marrush. 1986. Remobilization of non structural carbohydrates from vegetative tissue to fruits in tomato. *Journal American Society Horticultural Science* 111: 142-145.

- Ho, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant growth Regulation*, 2: 277-285.
- Ho, L. C. and A. F. Shaw. 1977. Carbon economy and translocation of ^{14}C in leaflets of the seventh leaf of tomato during leaf expansion. *Annals of Botany*, 41: 833-848.
- Ho, L. C. and J. D. Hewitt. 1986. Fruit development, pp. 201-239 *In*: The Tomato Crop. Atherton, J. G. And J. Rudich (editors). Chapman and Hall. London, England.
- Ho, L. C. 1992. Fruit growth and sink strength, pp. 101-124 *In*: Fruit and seed production, aspects of development. Marshall, C. and Grace, J. (editors). Environmental Physiology and Ecology society for Experimental Biology Seminar 47. Cambridge University Press. Cambridge. London, England.
- Ho, L. C., Grange, R. L. and Pickens, A. J. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell Environment* 10. 157-162.
- Holliday, R. 1960. *Fiel crop Abstrac* 13: 159-167.
- Hurd, R. G. and J. H. M. Thornley. 1974. An analysis of the growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and CO_2 concentrations I. Physiological aspects. *Annals of Botany*, 38: 375-378.
- 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. *Annals of Botany* 38: 375-378.

- Hussey, G. 1963. Growth and development in the young tomato. I. The effect of temperature and light intensity on growth of the shoot apex and leaf primordia. *Journal of Experimental Botany*, 14: 316-325.
- Iñiguez, G. A., 1991. El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), aspectos relevantes para su cultivo en México. Tesis Profesional Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 98 p.
- Jones, H. G. 1986. *Plants and Microclimate. A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge University Press. London, England. 323 p.
- Jones, J. W., Dayan, E., van Keulen, H. and Challa, H. 1988. Modeling tomato growth for optimizing greenhouse temperatures and carbon dioxide concentrations. *Acta Horticulture*, 248: 285-294.
- Jorge, S. M. 1999. Densidades, arreglo de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en hidroponia bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias (Horticultura). Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Kahn, A. A. and G. R. Sagar. 1967. The distribution of the products of photosynthesis of a tomato plant during the phase of fruit production. *Horticultural Research* 7: 61-69.
- Kappel, F. and Flore, J. A. 1983. Effect of shade on photosynthesis specific leaf weight, leaf chlorophyll content and morphology of young peach trees. *Journal American Society Horticultural Science* 108: 541-544.
- Kawashima, R. 1969. Leaf inclination variation within canopies. *Proc. Crop. Sci. Soc.* 3: 67-72.

- Kinet, J. M., 1977. Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae*. 6: 27-35.
- Longuenesse, J. J., Gary, C. and Tehamitchian, M. 1993. Modeling CO₂ exchanges of greenhouse crops a matter of scales and boundaries. *Acta Horticulture*, 328: 33-47.
- Lawlor, 1993. Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes. Longman Scientific and Technical. Londres, Inglaterra. 318 p.
- Lewis, D. 1953. Some factors affecting flower production in the tomato. *Journal of Horticultural Science*, 28: 207-220.
- Lipari, V. And A. Paratore., 1986. Effects of auxin on competition between trusses of the tomato plant. *Acta Horticulturae*. 191: 171-177.
- Lomis, R. S., Willians, W. A. and Duncan, W. G. 1967, pp 291-306 *In: Community Architecture and the Productivity of Terrestrial Plant Communities*. San Pietro, F. A. Greer and T. J. Army (editors). Harvesting the Sun. Photosynthesis in Plant Life. Academic Press. New York. USA.
- Loomis, R. S. y W. A., Willians. 1970. Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves, pp. 27-51 *In Physiological Aspects of Crop Yield*. Dinauer, C. R. (editor). American Society of Agronomy and Crop Science Society of America Madison, Wisconsin, USA.
- Louwerse, W. and Zweerde, W. V. D. 1977. Photosynthesis transpiration and leaf morphology of *Phaseolus vulgaris* and *Zea mays* grown at different irradiances in artificial and sunlight. *Photosynthetica* 11: 11-21.

- Marcelis, L. F. M. and De Koning, A. N. M. 1995. Biomass partitioning in plants, pp. 84-92. *In: Greenhouse Climate Control-An Integrated Approach*. Bakker, J. C., Bot, G. P. A., Challa, H. and Van de Braak, N. J. (editors). Wageningen Pers. Netherlands.
- Maroto, B. J. V. 1986. *Horticultura Herbácea Especial*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 589 p.
- Martínez, F. G. 1995. *Elementos de Fisiología Vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 1147 p.
- Marschener, H. 1986. *Mineral nutrition in higher plants*. Academic Press. London, England. 674 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. *Journal Horticultural Science*. 64 (3): 331-338.
- Merle, H. J., 1999. *Hidroponia. Hortalizas, Frutas y Flores*. Año Dos Mil, pp 6-8, Julio 31, 1999. México, Distrito Federal..
- Milthorpe, F. L. y J. Moorby. 1974. *An introduction to Crop Physiology*. Cambridge University Press. Londres, Inglaterra. pp. 23-28.
- 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.
- Mock, J. J. and R. B. Pearce., 1975. An ideotype of maize. *Euphytica*, 24: 613-623.
- Monteith, J. L. 1980. *Principles of Enviromental Physics*. Arnold. London, England. 241 p.

- Monteith, J. L. 1981. Does light limit crop production p. 23-38 *In: Physiological Processes Limiting Plant Productivity*. Johnson, C. B. (editors). The camelot Press. London, England.
- Moorby, J. 1981. Transport systems in plants. Longman Scientific and Technical. New York, USA. 169 p.
- Morgan, J. V., 1986. Chemical and environmental control of growth during propagation of tomato plants for trasplanting. *Acta Horticulture*. 190: 523-530.
- Nederhoff, E. M. 1984. Light interception of a cucumber crop at different stages of growth. *Acta Horticulture*, 148: 525-534.
- Nobel, P. S. and 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. Coombs (editors.). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Papadopoulos, A. P. 1985. Plant espacing effects on photosynthetically active radation interception and utilization by greenhouse tomatoes. Ph.D. Thesis. University of Guelph. Ontario. Canada. 428 p.
- Papadopoulos, A. P. and Ormrod, D. P. 1988b. Plant espacing effects on photosynthesis and transpiration of the grenhouse tomato. Canada. *Journal Plant Science*, 68: 1209-1218.
- Papadopoulos, A. P. and Ormrod, D. P. 1990. Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. *Can. Journal Plant Science*, 70: 565-573.
- Papadopoulos, A. P. and Ormrod, D. P. 1991. Plant spacing effects on growth and development of the greenhouse tomato, Canada. *Journal Plant Science* 71: 297-304.

- Pearce, B. D., R. H., Brown and R. E. Blaser. 1967. Photosynthesis in plant communities as influenced by leaf angle. *Crop Science*. 7: 321-324.
- Pearce, R. B., Brown, R. H. and Blaser, R. E. 1965. Relationships between leaf area index light interception and net photosynthesis in orchard-grass. *Crop Science*, 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 of fruit grown in controlled environments *Journal Horticultural Science*. 68 (1): 1-11.
- Peat, H. E. 1970. Relationships between photosynthesis and light intensity in the tomato. *Ann. Botany*, 34: 319-328.
- Pendleton, J. W., Smit, G. E., Winter, S. R. and Johson, T. J. 1968. Leaf inclination variation within maize canopies. *Agronomy Journal* 60: 422-424.
- Pérez, G. M., Márquez, S. F. y Peña, L. A., 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. Primera Edición. Chapingo, México. 380 p.
- Picken, A. J. F., K Stewart and D. Klopwijk., 1986. Germination an vegetative development. pp. 110 - 166. *In: The Tomato Crop*. Atherton, J.G. and J. Rudich (eds.). Chapman and Hall. London, England.
- Ponce, O. J., 1998. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) en hidroponia. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 96 p.

- Resh, H. M. 1992. Cultivos hidropónicos. Tercera Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Rick, C. M. 1976., Tomato. In: Simmond, N. W (Ed.) Evolution of crop plants. Longman, London and New York: 268-273.
- Rick, C. M; Holle, M., 1990. Andean *Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*: Genetic variation and its evolutionary significance. Econ. Bot. 4 (3 supplement): 69-78.
- Rick, C. M., 1978. El tomate. Investigación y Ciencia. 25: 45-55.
- Robledo, P. F. y L. Martín V. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 573 p.
- Rodríguez, B. P. and Lambeth, V. N. 1976. Artificial lighting and spacing as photosynthetic and yield factors in winter greenhouse tomato culture. Journal American Society Horticulture, 100: 694-697.
- Rodríguez, R. R., R. Tabares J. Y S. Medina J. Cultivo moderno del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Romero F. E. y G. Díaz, a. 1982. Cultivo del tomate en condiciones hidropónicas bajo invernadero: el cuánto, cuando y cómo regar. Memorias del Primer encuentro Nacional de Docentes e Investigadores en el Manejo de los recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados. CRECIDATH, Veracruz, México.
- Rubio, C. A. 1994. Relaciones entre la arquitectura de la planta de maíz (*Zea mays* L.) y la intercepción y usos de la radiación fotosintéticamente activa. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 94 p.

- Russell, C. R. And D. A. Morris., 1983. Patterns of assimilate distribution and source-sink relationships in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill). Ann. Bot. 52: 357-363.
- Sager, J. C., Edwards, J. L. And Klein, W. H. 1982. Light energy utilization efficiency for photosynthesis. Trans. ASAE. 25: 1737-1746.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. Distrito Federal, Ciudad de México. 759 p.
- Sanchez, R. A., Casal, J. J., Ballaré, C. L. and Scopel, A. L. 1993. Plant responses on canopy densited mediated by photomorphogenic processes pp. 779-786. In: International Crop Science I. Buxton, D. R., Shibles, R., Fosberg, R. A., Blad, B. L., Asay, H. T., Paulsen, G. M. and Wilson, R. F. (editors). Crop Science Society of America. Madison, USA.
- Sánchez, Del C. F. 1994. Relaciones entre fuente y demanda en jitomate manejado con despuntes y altas densidades de población. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 94 p.
- Sánchez, Del C. F. y Corona, S. T., 1994. Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 1 (2): 109-114.
- Sánchez, Del C. F., P. Espinosa R. y E. Escalante R., 1999. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. Avances de Investigación. Revista Chapingo 78: 62 - 68.
- Sánchez, Del C. F., y E. Escalante R., 1989. Hidroponia un Sistema de Producción. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.

- Sánchez Del C. F. y Ponce, O. J. 1998. Proyecto de producción de hortalizas en hidroponia bajo invernadero en el Valle de San Fernando, San Luis Potosí. Chapingo, México.
- Sánchez - Roman, B. F., 1981. Hidroponia en Quintana Roo. México (inédito). 78 p.
- Serrano, C. Z., 1979. Invernaderos: Instalación y manejo. Ministerio de agricultura. Madrid, España. 445 p.
- Serrano, C. Z., 1996. Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Editorial. RALLI, S. A. Sevilla, España. 638 p.
- Shibles, R. M. and Weber, C. R. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybeans. Crop Science, 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.
- Sholto, D. J. 1976. Advanced guide to hydroponics. Drake Publishers, Inc. New York. Estados Unidos. 333 p.
- Slack, G. And A. Calvert., 1977. The effect of truss removal on the yield of early sown tomatoes. J. Hort. Sci. 52: 309-315.
- Sonnewald, U. And L. Willmitzer., 1992. Molecular approaches to sink source. Pl. Physiol. 99: 1267-1270.
- Syvertsen, J. P. 1984. Light acclimation in citrus leaves. II. CO_2 assimilation and light, water and nitrogen use efficiency. Journal American Society Horticultural Science 109: 912-917.

- Torisky, R. S. and Servaites, J. C. 1984. Effect of irradiance during growth of *Glycine max* on photosynthetic capacity and percent activation of ribulosa 1.5 biphosphate carboxylase. *Photosynthesis Research* 5: 251-261.
- Torres, G. A. 2001. Doseles escaleriformes en pepino (*Cocumis sativus* L.) bajo condiciones de hidroponia e invernadero. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 126 p.
- Ucan, C. I., 1999. Efecto del manejo de relaciones fuente - demanda sobre el tamaño del fruto en jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias (Horticultura). 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. 582-624. *In*: The Tomato Crop.. Atherto, G. And J. Rudich (editors). Chapman and Hall. London, England.
- Vázquez, R. J. C. y Sánchez, Del C. F., 2000. Doseles escaleriformes para (aumentar) el uso de luz en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero en cultivo hidropónico. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de México. México, Distrito Federal. 97 p.
- Valadez, L. A., 1994. Producción de Hortalizas. Editorial. LIMUSA. México, Distrito Federal. 298 p.
- Veliath, J. A. and A. C. Ferguson., 1972. The effect of deblossoming on fruit size, yield and earliness in tomato. *Hortscience*. 7 (3): 278-279.
- Verhagen, A. M. W., Wilson, T. H. and Britten, E. J. 1963. Plant production in relation foliage illumination. *Annual Botany*, 27: 627-640.

- Villarreal, R., 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 184 p.
- Verheij, E. W. and Verwer, F. L. J. A. W. 1971. Light interception and yield of peppers grown under glass in relation to plant spacing. *Acta Horticulture*, 32: 149-158.
- Vriesenga, J. D. and S. Honma. 1974 b. Intercalary inflorescence in the tomato. *Journal of Heredity*, 65:128-129.
- Warren Wilson, J., Hand. D. W. and Hannah, M. A. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. *Journal Experimental Botany*, 43: 363-373.
- Watson, D. J. 1958. Optimum leaf area index in kale and sugar beets. *Ann. Bot.*, 11: 41-76.
- Williams, W. A., Loomis, R. S. and Lepley, C. R. 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density: I. Productivity in relation to interception of solar radation. *Crop Science*, 5: 211-215.
- Zahara, M. and Timm, H. 1973. Influence of plant density of growth, nutrient composition, yield and quality of mechanically harvested tomatoes. *Journal American Society Horticultural Science* 98: 513-516.