



UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA

FORMACIÓN DE DOSELES ESCALERIFORMES  
PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE EN  
AMBIENTES NO RESTRICTIVOS

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**BIÓLOGO**

P R E S E N T A  
**JOSÉ CUTBERTO VÁZQUEZ RODRÍGUEZ**



IZTACALA

DIRECTOR: DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO

JUNIO 2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



U.N.A. CAMPUS

## AGRADECIMIENTOS

A la universidad Autónoma Chapingo Departamento de Fitotecnia; donde se realizó esta investigación y actualmente laboro. **Gracias**

Al comité de revisión de este trabajo de tesis, integrado por:

M en C Silvia Romero Rangel  
Dr. Felipe Sánchez del Castillo  
M en C Alberto Arriaga Frías  
Biol. Manuel Mandujano Piña  
M en C Gerardo Ortiz Montiel

Gracias por sus acertados y valiosos comentarios.

A mi director de tesis:

Dr. Felipe Sánchez del Castillo

Gracias por la confianza brindada y por su excelente dirección.

A mis compañeros y amigos:

Felipe Sánchez del Castillo, Celestino Chargoy Zamora, Krishnamurthy L. K.,  
Alejandro Tecpa Jiménez , Gaiska Asteinza Bilbao.

Gracias por el apoyo brindado durante muchos años.

A los señores:

Víctor Sánchez García y Gumaro Meraz Urbán.

Gracias por el apoyo directo durante la realización de este trabajo.

## DEDICATORIA

A TI:  
EN RECUERDO DE UNA PROMESA  
QUE HABRÁS OLVIDADO COMO SI  
FUERA TUYA

Miguel Hernández poeta español  
El rayo que no cesa 1937

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>IZT.</b>	
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS EN EL TEXTO	xi
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III.. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	13
3.1. Objetivo general	13
3.2. Objetivos específicos	13
3.3. Hipótesis general	13
3.4. Hipótesis particulares	14
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	15
4.1. Origen e importancia del jitomate	15
4.2. Producción continua de jitomate	18
4.3. Características morfológicas y anatómicas del jitomate	24
4.3.1. Raíz	24
4.3.2. Tallo	25
4.3.3. Hojas	28
4.3.4. Flores e inflorescencia	30
4.3.5. Fruto	35

	<b>Página</b>
4.4. Análisis de rendimiento	36
4.4.1. Cantidad de radiación interceptada por el dosel	36
4.4.2. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel	40
4.4.3. Proporción de nueva materia seca traslocada al producto de interés agronómico	43
4.4.4. Tasa de pérdida de materia seca	56
4.4.5. Duración del crecimiento	57
V. MATERIALES Y MÉTODOS	60
5.1. Ubicación del experimento	60
5.2. Material vegetal	61
5.3. Semillero	62
5.4. Trasplante	63
5.5. Descripción de los tratamientos y diseño experimental	64
5.6. Riego y solución nutritiva	72
5.7. Manejo del cultivo	73
5.8. Variables evaluadas	74
VI. RESULTADOS	76
6.1. Comparación global de tratamientos	76
6.1.1. Rendimiento y sus componentes primarios	76
6.1.2. Tamaño de frutos	78

	<b>Página</b>
6.2. Análisis por hileras de plantas	82
6.2.1. Hilera a un racimo	82
6.2.2. Hilera a tres racimos	85
6.2.3. Hilera a seis racimos	88
VII. DISCUSIÓN	92
VIII. CONCLUSIONES	102
IX. RECOMENDACIONES	103
X. LITERATURA CITADA	104

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
4.1	Composición química y contenido de vitaminas en fruto de jitomate	16
5.1	Nutrientes, concentraciones y compuestos fertilizantes utilizados para preparar la solución nutritiva.	62
5.2	Descripción resumida de los tratamientos manejados en el experimento	65
6.1.	Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimientos y sus componentes en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.	76
6.2.	Medias de rendimiento y sus componentes por superficie en jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.	77
6.3.	Cuadrados medios y niveles de significancia para el número de frutos chicos, medianos, grandes y extragrandes en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.	79
6.4.	Cuadrados medios y niveles de significancia para porcentaje de frutos de distintos tamaños en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.	79
6.5.	Medias del número de frutos de distintos tamaños por unidad de superficie para jitomate en diferentes arreglos de plantación.	80
6.6.	Medias de los porcentajes de frutos de distintos tamaños en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.	81
6.7.	Cuadrados medios y niveles de significancia para el rendimiento y sus componentes en relación a la hilera orientada al sur de las camas de cultivo con plantas a un racimo en los arreglos escaleriformes.	83

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
6.8. Cuadrados medios y niveles de significancia para altura de planta, grosor de tallo, y número de flores por racimo en la hilera orientada al sur de las camas de cultivo con plantas a un racimo en los arreglos escaleriformes.	83
6.9. Medias de altura de planta, grosor de tallo y número de flores por racimo en la hilera orientada al sur de las camas de cultivo con plantas a un racimo en los arreglos escaleriformes.	84
6.10. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento y sus componentes para la hilera intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes.	85
6.11. Medias de rendimiento por metro lineal y sus componentes para la hilera intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes.	86
6.12. Cuadrados medios y niveles de significancia para altura, grosor de tallo y número de flores para la hilera intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes.	86
6.13. Medias de altura de planta, grosor de tallo y número de flores por racimo para la hilera intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes.	87
6.14. Cuadrados medios y niveles de significancia para el rendimiento y sus componentes para la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.	88
6.15. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal para la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.	89
6.16. Cuadrados medios y niveles de significancia para altura, grosor de tallo y número de flores para la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.	90
6.17. Cuadrados medios y niveles de significancia para altura, grosor de tallo y número de flores para la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.	90

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
6.18	Medias de altura de planta, grosor de tallo y número de flores por racimos en la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a sus racimos en los arreglos escaleriformes.	91
7.1.	Precios promedio pagados por caja al productor (empresa Industrial agropecuaria Junco) por un comisionista-mayorista de la central de abastos del D.F.	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Plantas en tinas orientadas en dirección norte sur, formando un dosel uniforme.	9
2	Plantas en tinas orientadas en dirección norte sur, formando un dosel piramidal.	10
3	Hileras de plantas de distinta altura ubicadas en tinas orientadas en dirección este-oeste, formando un dosel escaleriforme.	12
4	Representación esquemática de los hábitos de crecimiento indeterminado (a) y determinado (b) en jitomate. H (hoja), I (inflorescencia) ,T (tallo).	27
5	Esquema de una hoja típica de jitomate	28
6	Estructura de una planta de jitomate en fructificación en relación a la filotaxia.	31
7	Distribución de bloques y tratamientos dentro del invernadero.	
8	Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 1.	63
9	Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 2..	64
10	Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 3.	65
11	Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 4.	66
12	Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 5.	67
13	Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 6.	68
14	Esquema de una planta de jitomate tutorada (sostenida)	73

## LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS EN EL TEXTO

- $\Delta pe$  – Ganancia en Peso de Productos Económicos
- B - Biomasa Total Producción o Rendimiento Biológico
- dds – días después de la siembra
- Fnt – Fotosíntesis Neta Total
- IAF - Índice de Área Foliar
- IC – Índice de Cosecha
- MJ – Megajoule
- Mpa – Megapascal
- Ppe – Proporción de Materia Seca que Deriva Hacia el Producto Económico
- $R_a$  – Rendimiento Agronómico
- $R_e$  – Rendimiento Económico
- RFA - Radiación Fotosintéticamente Activa
- SAGAR – Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural
- SARH – Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
- TAC - tasa Absoluta de Crecimiento
- TAN – Tasa de Asimilación Neta
- Tbg – Tasa Bruta de Ganancia
- $T_m$  – Transferencia de Masa
- Tppe – Tasa de Pérdidas de Materia Seca del Producto Económico
- TRC – Tasa Relativa de Crecimiento
- Tv - Transferencia de Volumen

## I. Resumen

Este trabajo se realizó teniendo como meta incrementar el rendimiento del fruto de jitomate por unidad de superficie mediante el manejo de un dosel en forma de escalera (escaleriforme) construido en base a hileras de plantas con diferente altura y orientando las hileras en dirección este-oeste. La forma de escalera del dosel se logró podando las plantas de cada hilera dejándoles un número diferente de racimos de frutos por planta. El diseño experimental consistió de un arreglo en bloques al azar con cuatro repeticiones de cuatro tratamientos con dosel escaleriforme y dos testigos con dosel uniforme. El experimento se condujo en un invernadero de vidrio con orientación este-oeste en Texcoco Estado de México, utilizando dos cultivares de jitomate, “Solarset” para plantas conducidas a un racimo y “Daniela” para plantas conducidas a 2,3 y 6 racimos.

Las plantas de jitomate ubicadas en los doseles escaleriformes con una densidad de 18 plantas·m<sup>-2</sup> rindieron en conjunto 50% más que las plantas testigo conformadas en doseles uniformes. Este aumento en el rendimiento se explica debido a que con un dosel escaleriforme la radiación incidente se distribuye más uniformemente y es posible obtener más racimos de frutos por unidad de superficie sin detrimento en el número de frutos o en el peso por fruto.

## II. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola de México, uno de los pilares en que según los principales economistas y políticos ha de fincarse el desarrollo del País, se encuentra prácticamente estancada. Las razones son complejas e involucran factores naturales, económicos, sociales y políticos.

La accidentada topografía de la mayor parte del territorio mexicano ha sido el principal obstáculo para que se aumente la frontera agrícola. En los terrenos planos la limitante mayor ha sido la insuficiente precipitación y la falta de agua para irrigar.

Mientras que el aumento de la frontera agrícola ha quedado prácticamente detenido, la población, sobre todo en el centro y sur del País ha mantenido una alta tasa de crecimiento. En las áreas rurales esto ha ocasionado un aumento en el número de productores y en consecuencia, la pulverización en el tamaño de los predios o parcelas, ya que ese número de productores depende de una superficie total constante.

La productividad no sólo se ha visto afectada por la falta de espacio sino también en el tiempo, pues aunque las temperaturas medias mensuales parecen apropiadas para el desarrollo de muchas especies vegetales durante casi todo el año, existe en la mayor parte del territorio, un régimen muy amplio de heladas que inicia temprano (octubre) y termina muy tarde (abril). Esto limita seriamente la estación de crecimiento y en consecuencia el calendario agrícola,

reduciéndose el número de especies que pueden cultivarse, el número de ciclos de cultivo que se pueden obtener por año y el rendimiento y calidad de los productos cosechados; la situación anterior se ve agravada por la insuficiente y azarosa precipitación existente durante los meses de invierno y primavera en la mayor parte de esas zonas (Bassols. 1982; Sánchez y Escalante, 1989)

De acuerdo con Sánchez (1997) para poder producir económicamente en este contexto y, sobre todo, para ampliar la frontera agrícola, un requisito es contemplar y manejar a la agricultura de una forma diferente al esquema extensivo convencional. Desde el punto de vista agronómico, el reto es desarrollar o adaptar tecnologías que funcionen eficientemente en las condiciones señaladas de abundante mano de obra desocupada y de restricciones en suelo, agua y temperatura, y que generen un ingreso suficiente para una vida decorosa de quienes producen.

La necesidad de incrementar la productividad y el empleo agrícola de México en un contexto de escasa superficie cultivable por habitante y por productor, de limitaciones de agua y de irregularidades en el clima como las heladas, lleva a considerar como opciones el uso de sistemas de producción intensivos como la hidroponía y los invernaderos, que son tecnologías que ya han mostrado sus virtudes en otros países (España, Japón, China, Israel) con problemáticas agrícolas similares en varios aspectos. Estas técnicas, aplicadas conjuntamente, poseen como principales virtudes: el permitir muy altos rendimientos, mejor calidad, varias cosechas al año de cultivos de alto valor (hortalizas y plantas ornamentales) que pueden comercializarse localmente, a nivel nacional o en el extranjero, ocupación de mano de obra (10 a 12 personas por hectárea de tiempo completo), utilizar menos agua y hasta de menor calidad que la que requieren los sistemas de riego

convencionales, lograr un eficiente control de plagas y enfermedades, producir de manera más rentable y segura aún en climas desfavorables sin importar las limitantes del suelo, ya que prescinde de él (Sholto, 1976; Sánchez y Escalante, 1989; FAO, 1990; Resh, 1992).

Sin embargo, en los países en que más se han desarrollado la tecnología hidropónica y los invernaderos, la tendencia ha sido hacia la automatización y la sofisticación de equipo y estructuras (FAO, 1990; Resh, 1992); esto como un intento de luchar contra sus principales problemas: frío día y noche, nieve, fotoperiodos cortos e intensidades bajas de luz en invierno, mano de obra cara y escasa. Con ello se ha ocasionado una mayor dificultad en el manejo técnico, poniendo a la hidroponía al alcance de poca gente ya que, como productor, se requiere de un alto nivel de especialización o de asesoría casi permanente y muy calificada. Si a esto se agrega el desconocimiento de los principios y operación de esta técnica en nuestro país, debido a la escasa literatura existente, queda claro el por qué muchas personas piensan en la hidroponía como una tecnología misteriosa y sofisticada que sólo puede ser entendida y trabajada por los grandes especialistas.

Según Sánchez y Escalante (1988) en México el desarrollo de la hidroponía debe ser diferente ya que las condiciones son más favorables (no nieve, menos frío, mucha luz, abundante y barata mano de obra). Por eso las experiencias de investigación y de producción deben tener como objetivos: Adaptar, y desarrollar modalidades de cultivo en hidroponía, que sin perder eficiencia técnica, resulten más económicas en relación a sus costos de instalación y operación y sean rentables; además deben ser simples y transferibles, es decir, susceptibles de ser manejadas por los productores con un mínimo de asesoría y con menos riesgo de fracaso. Por último se debe buscar hacer la instalación con base en materiales y condiciones

disponibles regionalmente a fin de bajar costos y evitar condiciones de dependencia.

Por la fuerte inversión que requiere la instalación y operación de éstos sistemas, la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado, teniendo como requisito un manejo eficiente del espacio y tiempo para lograr una alta productividad; es decir, un elevado rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo ( $\text{kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ). De igual importancia es la generación y aplicación de prácticas culturales encaminadas a lograr que el cultivo aproveche al máximo los insumos suministrados, propiciando así la máxima expresión de su potencial productivo.

Para el caso particular del jitomate, uno de los cultivos hortícolas de mayor valor económico e importancia social (por la cantidad de empleos que genera su cultivo, sobre todo en invernadero), se cuenta con cultivares altamente rendidores, por lo que es la especie que más se cultiva en invernadero y con sistemas hidropónicos en el mundo.

El sistema de producción de jitomate hidropónico en invernadero que normalmente se practica en Europa, Canadá y Estados Unidos, consiste en el uso de variedades de hábito de crecimiento indeterminado, con frutos de tipo esférico (bola). Las plantas son sembradas en suelo mejorado o en sustratos hidropónicos a densidades que van de 2 a 3 plantas por  $\text{m}^2$  y se dejan crecer a más de 3 metros de altura, para cosechar de 10 a 20 racimos por planta en un solo ciclo de cultivo por año. El rendimiento promedio bajo este sistema fluctúa de 100 a 300  $\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-2}$  (Wittwer y Honma, 1979; Picken, 1984; van de Voren et al., 1986; FAO, 1990; Resh, 1992). En este sistema de cultivo, el índice de área foliar (IAF) aumenta continuamente por ello la densidad de población se calcula considerando que las plantas van a crecer a más de

3 m de altura. El índice de cosecha por planta y la biomasa o peso seco por unidad de superficie obtenidos en un ciclo de cultivo son generalmente altos, pero por lo tardado del ciclo, la producción de biomasa por año es relativamente baja.

La razón principal de la relativamente poca producción de biomasa al año es que, por la baja densidad de población con que se maneja el cultivo, el IAF óptimo para una máxima intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) por el dosel y, por ende, para una máxima producción de biomasa por día, tarda mucho tiempo en establecerse (3 a 4 meses después del trasplante). Además con frecuencia éste IAF óptimo no se mantiene sino que tiende a sobrepasarse al continuar el crecimiento de las plantas ocasionando que una parte del follaje quede tan sombreada que deja de contribuir con fotoasimilados (incluso los gasta en respiración), afectando el rendimiento potencial en forma negativa. De acuerdo con Charles-Edwards et al. (1986), entre más pronto se logre y se mantenga el IAF óptimo para una máxima intercepción de RFA, mayor rendimiento por unidad de superficie podrá lograrse.

Aprovechando las bondades del clima de México, sobre todo en cuanto a la alta insolación durante todo el año y la plasticidad de las plantas de jitomate, en particular la facilidad de despuntarlo y podarlo a distintos niveles, en la Universidad Autónoma Chapingo se ha estado desarrollando una línea de investigación sobre la conformación más adecuada del dosel de plantas (arquitectura del follaje) para lograr una mejor distribución de la radiación solar incidente en las hojas y así lograr un rendimiento mayor.

De los resultados más importantes de esa línea de investigación ha sido la generación y validación a escala comercial de un paquete tecnológico de producción de jitomate en

hidroponía, que consiste en despuntar las plantas (eliminar la yema terminal) y eliminar todos los brotes laterales para dejar sólo 9, 12 ó 15 hojas y una, dos, ó tres inflorescencias (racimos florales) por planta permitiendo densidades de población tan altas como 25, 16 y 12 plantas/m<sup>2</sup> de superficie útil respectivamente. Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Sánchez, 1994; Ponce, 1995; Sánchez, 1997). Así, a través de prácticas de manejo se ha logrado un arquetipo de jitomate que, a diferencia de las plantas del sistema convencional, incorpora varias características adecuadas para el logro de altos rendimientos en un ambiente no restrictivo (invernadero en 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 sólo 50 cm, así como el área foliar por planta y se fuerza a la planta a un crecimiento determinado, reduciendo notablemente la competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo, lo que favorece a este último; además, al dejar una sola inflorescencia por planta, se elimina por completo la competencia entre racimos. Gracias a la reducción de la altura se puede incrementar la densidad de población hasta 25 plantas/m<sup>2</sup>, lo que permite el establecimiento rápido y temprano en el ciclo de cultivo, de un IAF óptimo, así como el mantenimiento del mismo durante todo el período de crecimiento del fruto. El periodo desde el trasplante hasta el fin de la cosecha se reduce de más de 200 días a menos de 80, con poca disminución del rendimiento por ciclo, ya que en promedio se obtienen 150 ton/ha/ciclo. Por lo corto del ciclo desde trasplante a cosecha (sobre todo manejando el trasplante con plántulas de 45 a 60 días de edad), se pueden producir más de cuatro ciclos de cultivo en un año; por tanto, la biomasa que se logra por unidad de superficie al año es muy superior, por lo que la productividad o rendimiento de fruto (kg m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) se duplica o triplica en relación a los sistemas convencionales (Sánchez y Corona, 1994; Ponce, 1995).

La otra gran ventaja de este sistema de despuntes tempranos y altas densidades de producción (que no tienen los sistemas convencionales) es que da la posibilidad y facilidad de concentrar toda la cosecha de un ciclo en un intervalo de tiempo muy corto (10 a 20 días), que se puede hacer coincidir con las “ventanas”, que es el intervalo de tiempo en que los precios que se pagan al productor son los más altos (Ponce, 1995; Sánchez, 1997). Por ejemplo, en México se sabe que los mejores precios de jitomate bola en mercado nacional que puede obtener el productor son en junio-julio y diciembre.

Este sistema de producción se ha estado manejando con éxito económico a escala comercial por más de cinco años en empresas como Industrial Agropecuaria Junco, Rancho Cartujano e Hidroponía Tepetlaoxtoc, entre otros.

La disposición de las plantas ha sido en cuadro real a lo largo de tinas de 1.2 a 1.3 m de ancho y 0.30 m de profundidad de sustrato (generalmente ha sido arena de tezontle rojo), orientadas tanto en dirección norte-sur como este-oeste. Según la densidad y el número de racimos dejados por planta se han manejado, cuatro a seis hileras de plantas por tina, con separaciones entre hileras de 33 cm para plantas conducidas a tres racimos, hasta 20 cm para plantas conducidas a un racimo (para dar densidades de 12 a 25 plantas/m<sup>2</sup> de superficie útil).

A pesar del éxito del sistema, existen todavía limitaciones que podrían superarse para incrementar aún más los rendimientos anuales de fruto por unidad de superficie. En un trabajo de investigación (Ucan, 1999) y a través de varias experiencias comerciales se ha podido observar que las hileras de plantas que corren a lo largo del centro de las tinas rinden de 20 a

30 % menos que las plantas ubicadas en las hileras exteriores de las tinas y que ello se debe a una menor cantidad de RFA interceptada por planta en las hileras centrales como producto del sombreado ocasionado por las plantas en las hileras exteriores, mismas que se ven favorecidas con mayor iluminación y mejor distribución de la luz en las hojas por el espacio de los pasillos que hay entre tina y tina (Figura 1).

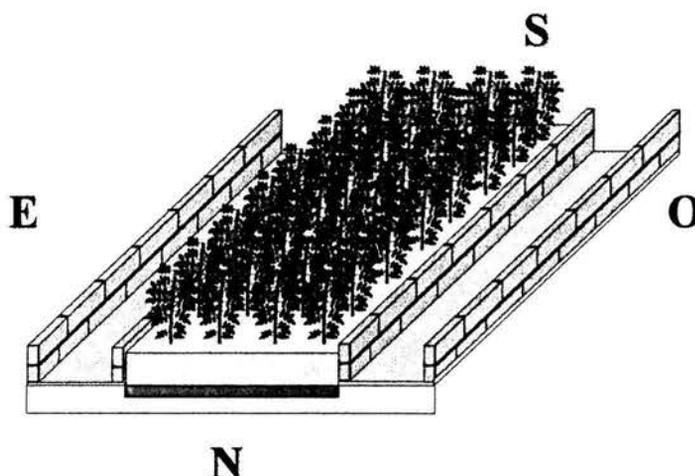


Figura 1. Plantas en tinas orientadas en dirección norte-sur, formando un dosel uniforme. Las plantas en hileras interiores están más sombreadas que las de hileras exteriores

Basándose en la flexibilidad de manejo de las plantas de jitomate y en la ubicación y movimientos diarios y estacionales del sol es posible pensar en formas y disposiciones de plantas que mejoren la distribución de radiación solar (directa y difusa) en cada una de las hojas del dosel permitiendo un incremento en la tasa de asimilación neta (gramos de materia seca producida por cada  $m^2$  de hoja por día), o un incremento en el índice de área foliar (sin una disminución importante de la tasa de asimilación neta) que se refleje en una mayor producción de biomasa por unidad de superficie por día. Dicho de otra manera se trata de encontrar formas y disposiciones de plantas que permitan acomodar más racimos por unidad de superficie y tiempo sin detrimento significativo del número de frutos por racimo ni del peso

medio de los frutos para así incrementar el rendimiento y la productividad anual.

Jorge (1999) realizó un experimento que demuestra que esto es posible. En tinas orientadas norte-sur, buscando una mejor intercepción de luz por el dosel, él formó un dosel piramidal manejando 25 plantas/m<sup>2</sup> de superficie útil distribuidas en cuadro real (cinco hileras de plantas por tina a 20 cm entre plantas y 20 cm entre hileras) y despuntando las dos hileras exteriores para dejar un racimo por planta, las dos hileras intermedias para dejar dos racimos por planta y la hilera central para dejar tres racimos por planta (Figura 2). De esta manera logró alojar 45 racimos/m<sup>2</sup> de tina contra 25 que se logran con el sistema de despunte a un racimo ó 36 con el esquema a 3 racimos y 12 plantas/m<sup>2</sup>. Con esta disposición de plantas, formando un dosel piramidal, obtuvo un rendimiento de 30 kg/m<sup>2</sup>, contra sólo 20 kg/m<sup>2</sup> en los tratamientos testigo de 1 racimo y 25 plantas/m<sup>2</sup> y de 3 racimos y 12 plantas/m<sup>2</sup> que son los que se aplican comercialmente.

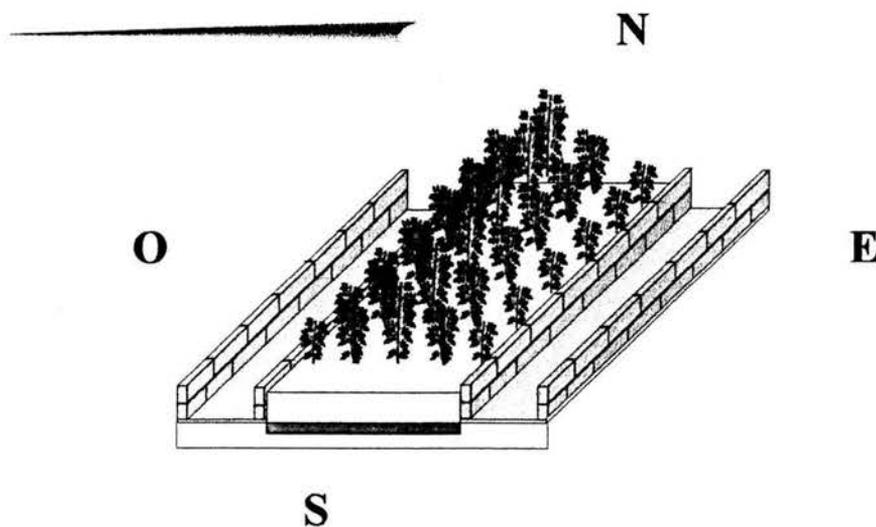


Figura 2. Plantas en tinas orientadas en dirección norte-sur, formando un dosel piramidal.

La localidad de Chapingo se encuentra a una latitud de  $19^{\circ}$  N, por lo que la mayor parte del año debido al movimiento cíclico del sol y a la inclinación del eje de la tierra ( $23^{\circ} 17'$ ), el sol no pasa por el cenit, sino que presenta un ángulo de inclinación hacia el sur de dicha localidad. La magnitud de ese ángulo varía con la época del año. Por ejemplo, en el solsticio de invierno (21 de diciembre) el ángulo es de aproximadamente  $42^{\circ}$  al sur con respecto al cenit, mientras que en los equinoccios de primavera y verano es de  $19^{\circ}$ . Sólo en el solsticio de verano (21 de junio) el sol adquiere, en la latitud de Chapingo un ángulo de  $4^{\circ}$  hacia el norte con respecto al cenit.

Considerando la orientación del sol, más un heliotropismo positivo de las hojas de jitomate reportado por Bidwell (1993) y Salisbury y Ross (1994), surgió la hipótesis que sirvió de guía al presente trabajo: orientando las hileras de plantas en dirección este-oeste y podando cada hilera de plantas a diferente altura (disminuyendo progresivamente la altura desde la hilera que da al norte hasta la hilera que da al sur) para formar un dosel en forma de escalera (escaleriforme) es posible mejorar la distribución de la RFA interceptada entre las distintas hojas del dosel y con ello incrementar la producción de biomasa y en consecuencia el rendimiento por unidad de superficie y tiempo.

En este trabajo, la forma de escalera se logró podando cada hilera de plantas a diferentes alturas y dejándoles un diferente número de racimos por planta. Así la hilera ubicada en el lado sur de cada tina se manejó con despuntes para dejar un racimo por planta (dando plantas de aproximadamente 50 cm de altura); la hilera central se despuntó para dejar tres racimos por planta (dando plantas de alrededor de 1 m de altura); La hilera ubicada al norte de cada tina se dejó a seis racimos por planta (dando plantas de aproximadamente 1.8 m

de altura). Con esta disposición el sol “corrió” en la dirección longitudinal de las tinas, la mayor parte del ciclo de cultivo (que transcurrió durante parte del invierno y toda la primavera) con un ángulo de inclinación hacia el sur con respecto al cenit.

De esta manera se logró que las hileras de plantas más grandes no sombrearan a las hileras de plantas más chicas (Figura 3). El rendimiento logrado se comparó contra dos tratamientos testigo con doseles uniformes (hileras de plantas de la misma altura) que corresponden a los sistemas de producción de jitomate manejados convencionalmente bajo invernadero.

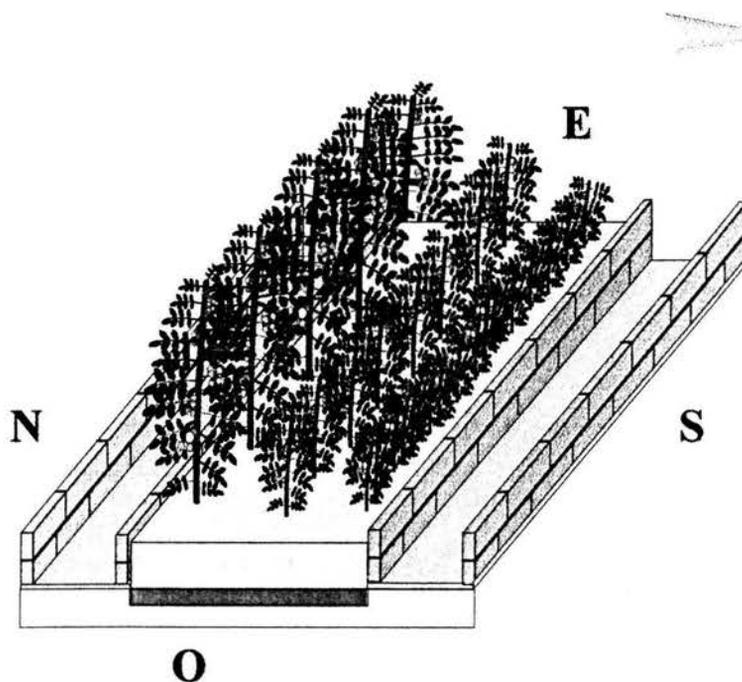


Figura 3. Hileras de plantas de distinta altura ubicadas en tinas orientadas en dirección este-oeste, formando un dosel escaleriforme.

### III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 3.1. Objetivo general

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de comparar el rendimiento por unidad de superficie y el tamaño (o peso) promedio de los frutos que se pueden obtener con el manejo de plantas de jitomate formando doseles escaleriformes respecto de los que se obtienen con otros sistemas comerciales de producción de esta misma hortaliza.

#### 3.2. Objetivos específicos

1. Para cada una de las hileras del dosel escaleriforme, encontrar la densidad que produzca el mayor rendimiento por unidad de superficie, partiendo de las hileras de plantas orientadas en dirección este-oeste y la hilera de menor altura (la despuntada a un racimo) ubicada en el lado sur de las camas de cultivo.
2. Estudiar el efecto combinado del nivel de despunte y la densidad de plantas en cada hilera de un dosel escaleriforme sobre el número de frutos por metro lineal de tina y sobre el peso medio y tamaño de los mismos.

#### 3.3. Hipótesis general

Los doseles escaleriformes formados con hileras de plantas de diferente altura orientadas en dirección este-oeste y con la hilera de menor altura en el costado sur de las camas de

cultivo, permiten incrementar el número de racimos de jitomate por unidad de superficie sin detrimento significativo del rendimiento por racimo ni del peso medio de fruto en relación a sistemas de producción basados en doseles uniformes (todas las hileras conducidas a un mismo número de racimos por planta), lo que se refleja en un mayor rendimiento por unidad de superficie.

### **3.4. Hipótesis particulares**

1. La coexistencia de hileras de plantas de distinto tamaño orientadas en dirección este-oeste con un aumento progresivo en la altura de las hileras de sur a norte, formando doseles escaleriformes, permiten una distribución más uniforme de la radiación fotosintéticamente activa interceptada entre las hojas del dosel, lo que se debe reflejar en un mayor rendimiento por unidad de superficie..

2. Debido a la distribución más uniforme de la radiación, en los doseles escaleriformes con las características mencionadas, la distancia entre plantas de una misma hilera se puede disminuir dentro de un cierto rango sin ocasionar una disminución significativa en el rendimiento por planta, lo que significa un mayor rendimiento por unidad de longitud de hilera con respecto a los sistemas basados en hileras de plantas de la misma altura (doseles uniformes).

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Origen e importancia del jitomate

El jitomate cultivado pertenece a la Familia Solanaceae . El género *Lycopersicon* es relativamente pequeño en número de especies dentro de la familia Solanaceae ya que lo conforman sólo 8 especies, en tanto que, por ejemplo, el género *Solanum* está integrado por más de 1500 especies. Su número cromosómico base es  $x = 12$ . Las 8 especies son: *L. esculentum* Mill., *L. pimpinellifolium* Mill., *L. cheesmanii* Riley, *L. parvifolium*, *L. chmielewskii*, *L. hirsutum*, *L. chilense* Dun. Y *L. peruvianum* (Taylor, 1986).

Picken *et al.*, (1986) señalan que el jitomate 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.

El jitomate es la hortaliza que más se cultiva y se consume en el mundo. Según Muñoz *et al.*, (1995) en 1992 la superficie cultivada de jitomate a nivel mundial fue de casi tres millones de hectáreas, siendo India, China y la ex-Unión Soviética los principales productores. En ese mismo año México ocupó el noveno lugar en superficie cultivada (58,000 ha).

Rodríguez *et al.*, (1984) mencionan que España consume 31.8 kg/habitante por año, y

Estados Unidos 25.5 kg existiendo un importante mercado para la exportación, sobre todo en este último país y Canadá, dispuestos a pagar muy buenos precios a cambio de calidad y sanidad; condiciones ambas que se pueden satisfacer más fácilmente con el cultivo hidropónico. En México, debido a su importancia en la cocina, su consumo es también alto, 17.7 kg/habitante en 1990 (Muñoz *et al.*, 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) como producto de exportación, es una fuente importante de divisas; c) puede generar altos ingresos a los productores a partir de pequeñas superficies; d) su contenido de vitaminas y minerales lo hace un producto importante en la nutrición humana.

Cuadro 4.1 Composición química y contenido de vitaminas en fruto de jitomate (100 g)

Agua	94%	Calcio	7 mg	Vitamina A	1113(UI)
Energía	19 kcal	Fósforo	23 mg	Tiamina	0.06(mg)
Proteína	0.9 g	Fierro	0.5 mg	Riboflavina	0.05(mg)
Grasa	0.2 g	Sodio	13 mg	Niacina	0.6 (mg)
Carbohidratos	4.3 g	Potasio	204 mg	Ácido ascórbico	17.6 (mg)
Fibra	0.5 g			Vitamina B <sub>12</sub>	0.05 (mg)

Fuente: Castaños 1993

Efectivamente, en México el cultivo del jitomate representa una de las fuentes de empleo rural más importantes, dado el uso intensivo de mano de obra que lo caracteriza. Muñoz *et al.*, (1995) citan que de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda de 1990, aproximadamente se emplearon 172,289 personas para el cultivo de 75,000 hectáreas de jitomate (3.3 % de la Población Económicamente Activa del sector agropecuario), cantidad a la que había que agregarle los miles de agricultores que están al frente de la producción, a los trabajadores que laboran en los empaques, en la industria procesadora, en servicios profesionales, en comercialización y en venta de insumos.

El jitomate es la principal hortaliza que se cultiva en México ya que es la que más superficie de cultivo ocupa, la más importante por su volumen en el mercado nacional y la que más divisas genera por su exportación. Se cultiva principalmente en los estados de Sinaloa, Morelos, San Luis Potosí y Baja California. En 1993 se sembraron 83,300 hectáreas y la producción alcanzó la cifra de 2,070,600 toneladas (SARH, 1993). México es, después de Holanda, el país que más exporta jitomate, siendo los principales destinos Estados Unidos y Canadá. En 1993 el volumen de jitomate exportado fue de 487,539 toneladas correspondiendo 95% a los Estados Unidos (Muñoz *et al.*, 1995). El valor de las exportaciones de jitomate en 1995 alcanzó la cifra de 586 millones de dólares, que corresponde al 15% del valor total de las exportaciones agropecuarias del País en el mismo año (SAGAR, 1996).

La producción de jitomate en invernadero con tecnología moderna como la de los sistemas hidropónicos es ya una realidad en México. Alentadas por los elevados precios que se pagan por los jitomates cultivados en hidroponía, han surgido numerosas empresas enfocadas a la exportación o a mercados selectos en el contexto nacional. La revista Productores de

Hortalizas (De Santiago, 1997) cita 13 de estas empresas, entre las que destacan por su superficie Agrícola: Bátiz, Agrícola Saracho y el Complejo Agrícola de Morelos 2001; en esta última se utilizan los paquetes tecnológicos de producción en hidroponía generados en la Universidad Autónoma Chapingo, incluyendo el de despuntes y altas densidades.

#### **4.2. Producción continua de jitomate**

Varios autores (Sánchez-Román, 1981; Adamson y Mass, 1981; Romero y Díaz, 1982; Sánchez *et al.*, 1991) presentan esquemas para producción continua de jitomate y otras hortalizas en hidroponía, tanto a cielo abierto (para climas tropicales secos) como bajo invernadero. En ellos se involucran técnicas como el transplantar 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 despuntar las plantas para dejar sólo una o dos inflorescencias (racimos) con una a dos hojas arriba de éstas; además se eliminan mecánicamente todos los brotes laterales que emite la planta antes, durante y después del despunte, todo con el propósito de establecer muy altas densidades de población (Cancino *et al.*, 1991; 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 sólo 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 alturas se puede incrementar la densidad de población hasta 25 plantas/m<sup>2</sup>, lo que permite el establecimiento rápido y temprano, en ciclo de cultivo, de un IAF óptimo, así como el mantenimiento del mismo durante todo el período de crecimiento del fruto. 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. La biomasa que se logra por m<sup>2</sup> por año es muy superior y el índice de cosecha casi igual al del sistema convencional, por lo que la productividad aumenta más de tres veces (Sánchez y Corona, 1994; Ponce 1995).

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

enfermedades y fenómenos meteorológicos.

Considerando la flexibilidad que el cultivo de jitomate presenta para su manejo, es razonable plantear la estrategia de incrementar la productividad anual haciendo despuntes para dejar una sola inflorescencia pero incrementando la densidad de población (25 plantas/m<sup>2</sup>), ya que, aunque se logran rendimientos similares a los sistemas de dos o tres racimos por planta, se acorta el ciclo y se pueden obtener más ciclos de cultivo por año, además de otras variedades como las mencionadas por Veliath y Ferguson (1972), McAvoy *et al.*, (1989); Cancino *et al.*, (1990) y Sánchez y Corona (1994): a) Concentrar las producciones en fechas de mayor demanda y mejores precios para el productor. b) Disminuir el ciclo de cultivo (70 a 90 días de trasplante a cosecha) comparando con los sistemas convencionales (150 a 210 días), lo que da la posibilidad de escapar a enfermedades virosas, fungosas o bacterias disminuyendo los daños económicos producidos por ellas. c) Eliminar el tutoreo, lo que disminuye considerablemente los costos de instalación y operación. d) Escapar a heladas, bajas temperaturas u otros fenómenos meteorológicos cuando se cultiva bajo invernaderos sin calefacción o a cielo 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 pasan 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 por planta se dejaban, menor era el peso medio por racimo (24 plantas/m<sup>2</sup>), contra 16, 12 y 6 plantas/m<sup>2</sup> en los tratamientos a dos y tres racimos por planta y el testigo, respectivamente.

Similarmente, Sánchez y Corona (1994) manejaron cuatro cultivares de jitomate (Hayslip, Floradade, Florida y Río Grande) despuntado para dejar una o dos inflorescencia por planta a diferentes densidades (de 9 a 24 plantas/m<sup>2</sup>). El rendimiento promedio de los cuatro cultivares en plantas dejadas a un racimo y 24 plantas/m<sup>2</sup> fue estadísticamente igual al de plantas con dos racimos y 20 ó 16 plantas/m<sup>2</sup> (13.12 contra 14.02 y 12.16 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente). El número de frutos/racimo fue mayor para el tratamiento a un racimo por planta que para el de dos racimos (4.97 contra 3.72), o sea que se compensó el mayor número de racimos/m<sup>2</sup> presentes en el tratamiento a dos racimos. Los mejores rendimientos fueron de 16.96 kg/m<sup>2</sup> para el cultivar Hayslip con racimo y 24 plantas/m<sup>2</sup> y de 16.41 kg/m<sup>2</sup> para el mismo cultivar a dos racimos y 20 plantas/m<sup>2</sup>, lo que hay que destacar aquí es que, en el primer caso sólo había 24 racimos/m<sup>2</sup> contra 40 en el segundo, de donde se puede deducir un mayor número de frutos por racimo y un mayor tamaño de frutos en las plantas a un racimo.

Los mismos autores resaltan la productividad potencial de este sistema de producción pues si se realizara un sistema de cultivo continuo con trasplantes tardíos (60 días) de plantas conducidas a un racimo, sería posible obtener 4.5 cosechas por año (pues de trasplante a fin de cosecha transcurrieron 81 días), lo que representaría la posibilidad potencial de obtener 76.32 kg/m<sup>2</sup>/año (763 ton/ha/año).

Las ventajas del paquete tecnológico de producción continua de jitomate en hidroponía bajo invernadero basado en despuntes para dejar uno o dos racimos por planta y altas densidades de población ya se han mencionado; sin embargo, se considera necesaria una descripción muy breve de las ventajas que proporcionan la hidroponía y los invernaderos, ya

que ambos elementos forman parte del mencionado paquete.

Sánchez y Escalante (1989) definen a la hidroponía 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 hidroponía 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, Austria, Nueva Zelanda, 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. Tan solo el Horticultural Abstracts reporta más de 100 resúmenes de artículos cada año.

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 el cultivo convencional en suelo) 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 nutrientes; a la ausencia de malas hierbas, al mayor control que se tiene sobre plagas y enfermedades, al mantenimiento del pH dentro de 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: 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 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 riego). Esto constituye un atractivo comercial para agricultores con poca extensión de terreno, con poco agua o con serias limitantes del suelo (Sholto, 1976; Sánchez y Escalante, 1989; FAO; Resh, 1992).

Contando con invernaderos bien diseñados se logran controlar varios de los factores ambientales que normalmente limitan la obtención de altos rendimientos y calidad: heladas o bajas temperaturas, alta irradiancia, altas temperaturas; vientos intensos; excesos de humedad y enfermedades causadas por ellos, granizo, plantas y algunas enfermedades virosas (Serrano, 1979; Sánchez y Escalante, 1989).

Robledo y Martín (1988), Sánchez y Escalante (1989) y Serrano (1994) expresan que en clima 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 de 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.

### **4.3. Características morfológicas y anatómicas del jitomate**

#### **4.3.1. Raíz.**

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).

Jong y Otingkorang (1969), citados por Folquer (1979), determinaron que el 75% de las raíces se encuentran en un espacio de 25 cm de diámetro por 45 cm de profundidad. El mismo autor señala que los tallos emiten raíces adventicias con facilidad.

En sección transversal, el xilema forma un cilindro en el centro de la raíz con dos alas laterales. El floema completa el tejido vascular, llenando por fuera el espacio entre las alas y formando un cilindro. Este tejido está rodeado por una capa simple de células del periciclo para formar una protoestela, la cual a su vez, está rodeada por una endodermis, un córtex de 3 a 4 capas y una epidermis. Las raíces laterales derivan de las células del periciclo y se desarrollan a través del córtex (Picken *et al.*, 1986).

#### 4.3.2. Tallo

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 (Iñiguez, 1991).

Esau (1968), Fahn, (1978) y Picken *et al.*, (1986), entre otros autores, mencionan que la estructura primaria de los tallos de plantas dicotiledóneas está constituida por varios tejidos que se distinguen fácilmente en cortes transversales. La epidermis, de una capa de célula de grosor, está formada principalmente por células epidérmicas, pero incluyendo generalmente células estomáticas, idioblastos y tricomas. El córtex es la región cilíndrica situada entre la epidermis y el cilindro vascular, en él puede haber distintos tipos de células, predominando las de parénquima con cinco a diez capas de células grandes y con muchos espacios intercelulares; En el caso del jitomate, la región externa del córtex, colindante con la epidermis forma un cilindro completo de tejido llamado colénquima (tejido de sostén) con dos a cinco células de espesor. Hacia el interior del córtex se encuentra un cilindro vascular continuo o

discontinuo que envuelve a la médula, y en el que se pueden ver dos tipos de tejidos, el floema, que es normalmente externo y el xilema hacia el interior, en algunas familias como las solanáceas y cucurbitáceas también se encuentra floema hacia el interior del xilema (floema interno), que en el caso del jitomate se presenta en bandas separadas en el límite exterior de la médula. La presencia de tejido medular (que es fundamentalmente parénquima) dentro del cilindro vascular constituye una estructura anatómica denominada sifonoestela.

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 ó dos hojas), detiene su crecimiento como consecuencia de la formación de una inflorescencia terminal; aunque ocasionalmente pueden alcanzar los 2 m 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.

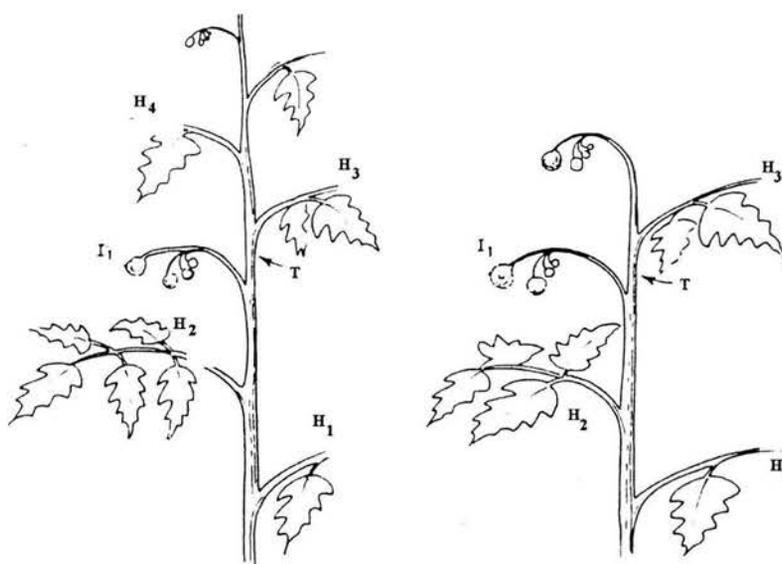


Figura 4. Representación esquemática de los hábitos de crecimiento indeterminado (a) y determinado (b) en jitomate. H (hoja), I (inflorescencia), T (tallo). Atherton y Harris (1986).

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.

El ápice se transforma en una inflorescencia terminal después de la iniciación de 7 a 11 hojas (y aún más en condiciones desfavorables de luz). Crecimiento posterior es posible a partir de las yemas axilares, las cuales pueden producir ramas que se desarrollan de forma similar al tallo principal (sobre todo la que surge de la yema de la hoja iniciada inmediatamente antes que la inflorescencia); esto ocurre a menudo después de un periodo de

dormancia y da la apariencia arbustiva a varios cultivares. Esta característica hace casi siempre necesaria la práctica de la poda (Picken *et al.*, 1986).

#### 4.3.3. Hojas

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. (Figura 5). 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; León, 1987 citado por Iñiguez, 1991).

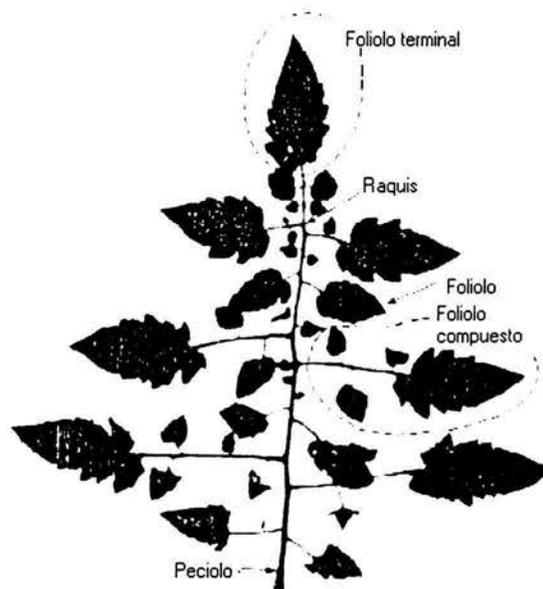


Figura 5. Esquema que representa una hoja típica de jitomate.(Picken, *et al.* 1986)

Cada foliolo se comporta como una hoja, el foliolo 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 traslocar sacarosa en dirección ascendente en el tallo y del floema externo en sentido contrario. Los autores citados piensan que la dualidad de direcciones de translocación de asimilados por el floema es más importante para el abastecimiento de asimilados que el arreglo de las conexiones vasculares.

Coleman y Greyson (1976) mencionan que la epidermis superior e inferior de los foliolos soportan los tejidos internos y no tienen cloroplastos, son interrumpidas por los estomas que son más abundantes en el envés. El mesófilo en empalizada está formado por una a dos capas de células columnares inmediatamente por debajo de la epidermis adaxial. Los cloroplastos se encuentran en el citoplasma de estas células, cerca de espacios de aire, facilitando el intercambio de gases. El mesófilo esponjoso, entre el de empalizada y la epidermis abaxial, comprende tres o más capas de células grandes y vacuoladas, conectadas formando un elaborado sistema de espacios de aire y tiene menos cloroplastos. Las nervaduras principales son prominentes en el envés, su red es irregular. Las nervaduras principales tienen

floema tanto interno como externo.

Los primordios de hojas se ven como una pequeña protuberancia en el domo del ápice, creciendo hasta 200  $\mu\text{m}$  antes de mostrar los primeros signos de formación de foliolos. En contraste con la mayoría de las especies, los foliolos son iniciados en progresión basípeta, del foliolo principal hacia el tallo (Picken *et al.*, 1986).

Russell y Morris (1983) y Picken *et al.*, (1986) indican que, en el jitomate, las hojas están arregladas en 5 hileras verticales (ortostiquios) con una filotaxia de 2/5 en espiral y que la primera inflorescencia recibe asimilados principalmente de las hojas en ortostiquios adyacentes a ella (contando de abajo hacia arriba, las principales contribuyentes son las hojas 1 y 3 que también alimentan al ápice y las hojas 6 y 8 que también traslocan hacia la raíz).  
Figura 6.

#### **4.3.4. Flores e inflorescencia**

Según Adams (1982 a) la diferenciación celular es un producto de la activación diferencial de genes como respuesta a cambios progresivos en el ambiente celular y a ciertos agentes como las hormonas vegetales que actúan como mensajeros de cambios en lugares lejanos. Así, la transformación del ápice vegetativo en una estructura floral requiere de lo que él llama un "estímulo floral" que puede ser la duración de los periodos luminosos y/o la temperatura en plantas con fotoperiodismo, o bien simplemente cambios en otras condiciones ambientales, y concluye señalando que es posible que la

acción inicial del estímulo floral sea activar un sistema particular de genes que dirijan la transformación

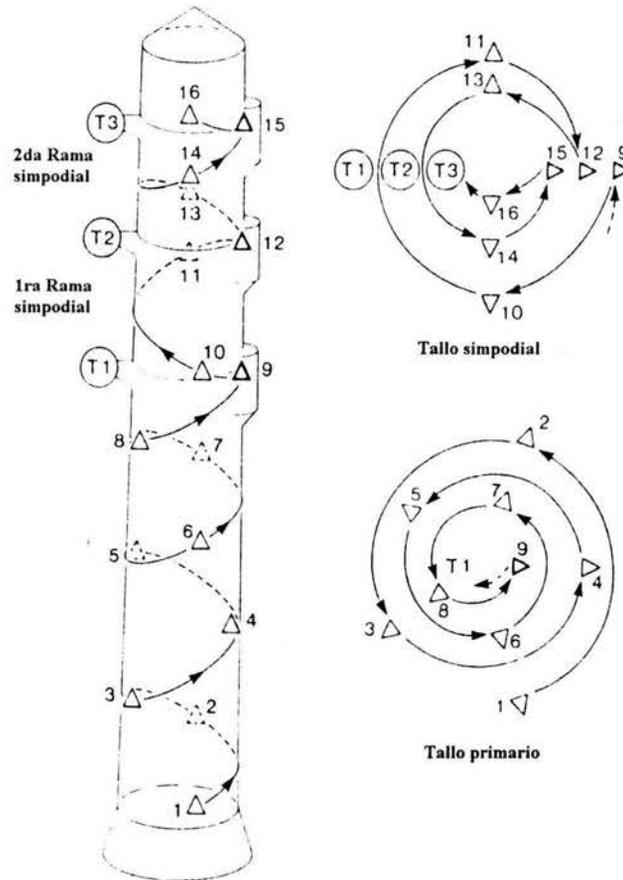


Figura 6. La estructura de una planta de jitomate en fructificación con referencia a la filotaxia. Las posiciones de las bases foliares se muestran como triángulos, la dirección de la filotaxia con flechas y las posiciones de los racimos de frutos en círculos. (Ho y Hewit 1986).

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). El crecimiento vegetativo es continuado por un segundo domo en el tallo que es axilar a la última hoja iniciada, la primera inflorescencia es empujada hacia arriba y parece brotar de un entrenudo; de este domo surgen nuevos primordios de hojas (generalmente 2 ó 3) antes que una diferenciación similar conduzca a la formación de la segunda inflorescencia. El crecimiento de la planta continúa como una sucesión de brotes laterales o crecimiento simpódico en el que además, la hoja que se encuentra inmediatamente arriba de la primera inflorescencia es iniciada antes que ésta (Calven, 1973; Shishido, 1991. Dieleman y Heuvelink, 1992).

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  $90^\circ$  con respecto a dicha inflorescencia, mientras que la hoja por encima de ella queda del lado opuesto ( $180^\circ$ ).

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 tomate 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). Vriesenga y Honma (1974 a) mencionan que las inflorescencias del jitomate son del tipo denominado dicasio compuesto y que se han encontrado hasta 300 flores en una inflorescencia. Expresan que el carácter de inflorescencia simple se encuentra en un amplio rango de fenotipos pero que hay fuertes variaciones en el número de flores y en el grado de bifurcación, y que, excepto para los genes que condicionan el bifurcado en inflorescencias compuestas, se ha considerado el bifurcado de la inflorescencia simple como una condición del número de flores. Reportan que el tamaño de la inflorescencia

esta determinado por un gene principal y un sistema de poligenes.

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 inflorescencia simple.

Dentro de una inflorescencia simple se pueden dar distintos estados de desarrollo reproductivo que pueden incluir, al mismo tiempo, pequeños frutos, flores abiertas y yemas florales todavía sin abrir (Picken *et al.*, 1986), Aunque según Serrano (1978), lo usual es que el tiempo que transcurre desde que se fecunda la primera hasta que se fecunda la última flor de una misma inflorescencia es de seis días.

Durante el desarrollo de las flores ocurre el alargamiento del eje principal y de los pedicelos. Entre cada flor y el eje principal se forma en el pedicelo una zona de abscisión, reconocible por una angulación ligera del pedicelo y una articulación de los tejidos. En esta zona una ranura rodea al pedicelo, representando una reducción del grosor radial del córtex en ese punto. Internamente esta zona de abscisión está caracterizada por la presencia de células pequeñas relativamente indiferenciadas, a través de las cuales atraviesa el tejido vascular manteniendo un continuo (Picken *et al.*, 1986).

Lee (1988) menciona que en la zona de abscisión de los pedicelos hay un estrechamiento muy marcado del xilema, ocasionando que la entrada de agua al fruto sea principalmente por el floema. En dicha zona el floema representa del 46 al 54 % del área transversal del pedicelo, mientras que el xilema ocupa sólo el 3.2 %, en tanto que antes de dicha zona (cerca del pedúnculo), el xilema ocupa el 30 % y el floema el 24% del área total del pedicelo (12 % como floema externo y 12 % como floema interno).

#### **4.3.5. Fruto**

Es una baya carnosa de color rojo (rosa u amarillo en algunos cultivares), lisa y brillante cuando madura. Su peso varía de 15 g en los cultivares tipo cereza, hasta 450 g en los de tipo Beef-steak. 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. Los tejidos de la placenta, sobre los que desarrollan las semillas, contienen una mayor cantidad de haces vasculares que el tejido de parénquima (Calvert, 1973; Folquer, 1976; Maroto, 1986; León, 1987 citado por Iñiguez, 1991).

Los frutos jóvenes de jitomate tienen clorofila y fijan CO<sub>2</sub>; sin embargo, aún a

altas irradiancias la tasa de fijación es muy baja ( $0.064 \text{ mg CO}_2 \text{ g de peso fresco}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) en frutos jóvenes, e indetectable en frutos próximos a madurar; hay también fijación de  $\text{CO}_2$ , que involucra a la fosfoenol piruvato carboxilasa y que contribuye a preservar el carbón desprendido por la respiración del fruto (Ho y Hewitt, 1986)

#### 4.4. Análisis del rendimiento

Charles-Edwards *et al.*, (1986) efectuaron un análisis del crecimiento y productividad de un cultivo en términos de cinco determinantes fisiológicas 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.
- e) La duración del crecimiento y producción de la planta.

Ya que el principal objetivo del desarrollo de arquetipos de dosel es maximizar el rendimiento en un ambiente dado a continuación se hace una revisión breve de cada una de estas determinantes pues se considera que su análisis aporta un fuerte sustento teórico al presente trabajo.

#### 4.4.1. Cantidad de radiación interceptada por el dosel

De acuerdo con varios autores (Loomis y Williams, 1969; Gardner *et al.*, 1985; 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 (Q).

$$J = SQ \dots\dots\dots(3.1)$$

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):

$$Q = 1 - e^{(-kIAF)} \dots\dots\dots(3.2)$$

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.

De acuerdo con varios autores (Pearce *et al.*, 1967; Milthorpe y Moorby 1974; Campbell; 1981; Nobel y Long 1988) 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. De las fórmulas y los ejemplos que dichos autores desarrollan se desprende que, para un mismo IAF, a mayor porcentaje de intercepción de RFA por el dosel mayor  $k$ , pero si se mantiene constante el porcentaje de intercepción de RFA por el dosel, a mayor IAF el  $k$  se va volviendo menor, o dicho de otra manera,  $k$  es directamente proporcional al porcentaje de intercepción de RFA e inversamente proporcional al IAF.

Por lo general los valores de  $k$  se encuentran entre 0.3 y 1 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.

Autores como Loomis y Williams (1969), Evans y Wardlaw (1976) y Gardner *et al.*, (1985) sostienen que la tasa de crecimiento de un cultivo aumenta conforme lo hace

el IAF, hasta alcanzar un valor óptimo, si el IAF sigue aumentando la tasa de crecimiento se mantiene, hasta alcanzar un valor de IAF después del cual empieza a declinar. A este nivel lo designan como IAF crítico o IAF<sub>95</sub>, y es el IAF requerido para interceptar el 95 % de la RFA incidente y que generalmente corresponde a un valor de 3 a 5 (según el k del dosel). Ellos indican que cuando la cobertura de follaje es escasa, la producción de materia seca por unidad de superficie está limitada por Q y que, con la mayoría de los cultivos anuales, manejados de manera convencional, toma una alta proporción de su ciclo de vida el que su dosel llegue a interceptar más del 75 % de la RFA incidente, lo que es una importante limitante para el rendimiento. Dicho de otra manera, si un cultivo pudiera llegar muy pronto a un IAF óptimo y de ahí hasta el final de su ciclo este IAF se mantuviera constante, la intercepción diaria de RFA sería máxima por un mayor intervalo de tiempo, lo que se reflejaría en una mayor acumulación diaria de biomasa y probablemente en un mayor rendimiento económico.



## IZT.

Los mismos autores y otros como Jones (1956) ponen de manifiesto que la respuesta de la tasa de fotosíntesis de una hoja con ciclo fotosintético C<sub>3</sub>, a la irradiancia fotosintética no es lineal sino cuadrática, alcanzando su máximo a irradiancias relativamente bajas (alrededor de 100 a 150 W m<sup>2</sup> de RFA). 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 luz sea lo más uniforme en el dosel.

Entonces, para una misma irradiancia fotosintética se puede lograr una mayor tasa de fotosíntesis del dosel o tasa de asimilación neta (TAN), si un alto porcentaje de las hojas es iluminada a una intensidad media, que si una menor proporción de hojas reciben alta intensidad de RFA y una mayor proporción reciben poca, como consecuencia del sombreado mutuo. Hojas muy sombreadas pueden inclusive perder más materia seca a través de la respiración que la que ganan en la fotosíntesis (Donald, 1968).

#### 4.4.2. Eficiencia de la energía interceptada por el dosel

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

$$B = \epsilon J - T_p \dots \dots \dots (3.3)$$

Donde:

$T_p =$  tasa de pérdidas (respiración, fotorespiración, caída de hojas, etc.)

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

Lawlor (1993) menciona que, en general la eficiencia de conversión de RFA en materia seca para diferentes cultivos agrícolas oscile 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  $\text{C}_4$ , mientras que Charles-Edwards *et al.*, (1986) reportan eficiencias promedio de  $2.5 \mu\text{gJ}^{-1}$  para la mayoría de las especies de plantas creciendo en condiciones ambientales óptimas. Citan un trabajo en donde se encontró ese valor de  $2.5 \mu\text{gJ}^{-1}$  en plantas jóvenes de girasol (dicotiledónea  $\text{C}_3$ ) y amaranto (dicotiledónea  $\text{C}_4$ ), otro de  $2.4 \mu\text{gJ}^{-1}$ , para plantas de avena (monocotiledónea  $\text{C}_3$ ) y uno más de  $2.6 \mu\text{gJ}^{-1}$  en sorgo (monocotiledónea  $\text{C}_4$ ). Como se puede apreciar los valores son muy similares tanto para monocotiledóneas como para dicotiledóneas, y tampoco influye el que tengan un mecanismo fotosintético  $\text{C}_3$  ó  $\text{C}_4$ .

Warren (1981) y Picken *et al.*, (1986) definen a la tasa de asimilación neta (TAN)

como una medida de la eficiencia del uso de la RFA, y se refiere a la tasa de producción de materia seca por unidad de área total foliar por unidad de tiempo. La razón de área foliar (RAF) la definen como la cantidad total de superficie foliar por unidad de peso seco de la planta, y la consideran como un indicador de la capacidad fotosintética.

Hurd y Thornley (1974) indican que la TAN y la tasa relativa de crecimiento (TRC) total son máximas en plantas jóvenes de jitomate y que tienden a disminuir con la edad debido al auto-sombreado de las hojas, 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) reportan, para la misma especie, valores de TRC 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 (TAC) total de hasta 194 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en peso fresco.

Lawlor (1993) y Salisbury y Ross (1994) mencionan 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 ahora, los intentos de incrementar la eficiencia fotosintética de las hojas ha tenido poco o ningún éxito.

En forma similar, Somerville (1990) menciona que, considerando que el crecimiento vegetal es dependiente en última instancia de la fijación neta de CO<sub>2</sub>, se ha despertado el interés por incrementar el rendimiento mediante la identificación de genotipos con más altas tasas de fotosíntesis foliar; sin embargo, destaca que no ha sido posible demostrar correlaciones estrechas entre la tasa de fotosíntesis neta por unidad de

área foliar (medida en una sola hoja y en un sólo momento) y el rendimiento biológico, lo que indica la presencia de otros factores que limitan el rendimiento y concluye que la limitación se da a tal grado que la variación en la capacidad fotosintética es generalmente irrelevante. Sin embargo, menciona estudios recientes, en los que la cantidad de fotosíntesis del dosel entero se ha medido o estimado a lo largo de la estación de crecimiento, y que han demostrado una relación lineal entre tasa de fotosíntesis neta del dosel y rendimiento por unidad de superficie.

#### **4.4.3. Proporción de nueva materia seca traslocada al producto de interés agronómico**

El ambiente en el que crece la planta y el estado de desarrollo en que se encuentra, afectan las proporciones en que la nueva materia seca es repartida entre sus diferentes órganos. Por ejemplo, se ha observado que en suelos poco fértiles, una mayor proporción de la materia seca producida por la planta es derivada hacia las raíces. Cuando una planta determinada entra en su fase reproductiva se da un cambio en el patrón de distribución de materia seca conforme la producción de nuevas hojas cesa, favoreciéndose a los nuevos órganos reproductivos; cambios menos definidos pero también importantes ocurren en la distribución de materia seca en plantas indeterminadas (Charles Edwards *et al.*, 1986; Salisbury y Ross, 1994).

Sonnewald y Wilimítzer (1992), entre muchos otros autores, indican 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

reservas en los momentos en que exportan sus azúcares almacenados), y 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 de demanda se pueden subdividir en demandas de utilización (tejidos de crecimiento rápido con metabolismo alto y activo como meristemos, hojas inmaduras y frutos que inician su crecimiento), y demandas de almacenamiento (donde los carbohidratos se almacenan como almidones, ácidos grasos o proteínas como en tubérculos, raíces o semillas).

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).

Varios autores (Esau, 1968; Fanh, 1978; Behnke, 1989; Salisbury y Ross, 1994) expresan que el floema es un tejido complejo formado por:

a) elementos cribosos o miembros de tubo criboso unidos por los extremos, con

placas cribosas, formando largos agregados celulares denominados tubos cribosos; los elementos simples del tubo criboso pueden medir entre 50 y 5000  $\mu$  m de largo, mientras que su diámetro oscila entre 10 a 100  $\mu$  m.

b) Células acompañantes, de menor tamaño y muy asociadas a los elementos cribosos que poseen citoplasma denso y núcleos que se aprecian claramente, cuentan generalmente con muchos plasmodesmos que conectan con los elementos cribosos.

c) Células de parénquima del floema con paredes delgadas, similares a otras células de parénquima de diversas partes del vegetal pero más elongadas, actúan como elementos de almacenamiento y en el transporte lateral de solutos y agua.

d) Fibras del floema, son células de paredes gruesas que dan firmeza y sostén a los distintos órganos del vegetal, en ocasiones se agrupan para formar un haz.

Los mismos autores destacan al xilema como otro tejido complejo, donde las células más importantes son los elementos traqueales o vasos, que son células no vivas relacionadas con el transporte ascendente de agua y nutrientes minerales. En el xilema hay también fibras y eventualmente esclereidas, que junto con los vasos, contribuyen de manera importante al soporte mecánico de la planta. Finalmente, hay parénquima que cumple funciones de almacenamiento y transporte lateral.

Salisbury y Ross (1994) destacan la importancia del área transversal del floema en el transporte de asimilados definiendo la tasa de transferencia de masa como la cantidad de materia seca que pasa por una sección transversal de tubos cribosos por unidad de tiempo. Ejemplifican con pedúnculos de frutos de calabaza, donde el floema comprendía un área

transversal de  $18.6 \text{ mm}^2$  y alrededor de un 20 % de dicha área transversal estaba constituida por tubos cribosos ( $3.72 \text{ mm}^2$ ). La tasa de transferencia de masa se estimó en  $0.164 \text{ g mm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Mencionan que la solución contenida en los tubos cribosos se encuentra generalmente a presiones bastante elevadas, de hasta 2.4 Mpa (la presión normal de la sangre en el ser humano es de 0.016 Mpa).

También Milburn y Kallarackal (1989) subrayan la importancia del área del floema en tallos y pedúnculos. Basándose en evidencia experimental recopilada por varios autores, plantean que la tasa de traslocación puede medirse como transferencia de volumen ( $T_v$ ), en  $\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$ , mediante la fórmula:

$$T_v = A \times V \dots\dots\dots(3.4)$$

Donde:

A = área de floema en sentido transversal ( $\text{mm}^2$ )

V = velocidad de traslocación ( $\text{cm h}^{-1}$ )

Canny (1973) y Martínez (1995) consideran que como el contenido de agua en el floema es variable es conveniente ignorar el agua en el sistema de transporte del floema y considerar solamente la transferencia de peso seco o transferencia de masa ( $T_m$ ) en  $\text{g cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  con la siguiente fórmula:

$$T_m = V \times C \dots\dots\dots(3.5)$$

Donde:

$V$  = velocidad de traslocación ( $\text{cm h}^{-1}$ )

$C$  = Concentración de la materia seca ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Concluyen que  $4 \text{ g cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  es un valor medio general para la mayoría de los cultivos cuando se toma en cuenta el área transversal total de floema o de aproximadamente  $20 \text{ g cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$  cuando se considera sólo el área transversal ocupada por tubos cribosos, ya que según ellos, dichos tubos representan alrededor de 20 % del área total transversal del floema. Al respecto Evans y Wardlaw (1976) destacan que en el caso específico de algunos cereales como el trigo, buscando un mayor rendimiento durante el proceso de domesticación, se ha forzado un mayor tamaño de los granos, a través de una mayor área de floema en el pedúnculo y no de una mayor transferencia de masa.

Canny (1973) Menciona que los numerosos experimentos realizados en torno a el movimiento de solutos en el floema permiten establecer varias generalizaciones, que aunque tienen sus excepciones, permiten una buena conceptualización de los patrones de movimiento de solutos en dicho tejido:

- a) el movimiento de solutos muestra una tendencia a un confinamiento longitudinal estricto.
- b) Las hojas maduras generalmente no importan asimilados.
- c) La contribución de las hojas superiores a la demanda apical es superior que la de las hojas inferiores, y la contribución de las hojas inferiores a la demanda de la raíz es

mayor que la de las hojas superiores.

d) El fruto deriva sus fotoasimilados casi enteramente de la hoja inmediatamente abajo de él.

e) Las demandas son abastecidas principalmente por las fuentes más cercanas; o dicho de otra manera, la transferencia de masa es mayor a distancias más cortas.

Durante la fructificación del jitomate, un racimo importa asimilados de las hojas superiores a él por el floema externo y de las hojas inferiores por el floema interno; debido a que el área de floema interno en el pedúnculo del racimo y en los pedicelos de los frutos es mayor que la de floema externo, puede ser que se importen más asimilados de las hojas inmediatamente abajo del racimo a través del floema interno, si a esto se agrega que la hoja inmediatamente por abajo del racimo es mayor en área que la situada inmediatamente arriba de éste, se puede concluir que la hoja inferior de un racimo dado es la principal fuente de asimilados de dicho racimo (Ho y Hewitt, 1986).

Walker y Thornley (1977) destacan que la tasa de flujo de fotoasimilados hacia los frutos en crecimiento ( $F$ ) está en función directa de la diferencia de concentración de sacarosa entre la fuente ( $F_s$ ) y ellos que constituyen la demanda ( $F_d$ ) y que el área de floema, a nivel del pedúnculo de la inflorescencia, es uno de los principales determinantes del tamaño de fruto, pues a mayor área transversal de floema menor resistencia al flujo ( $R$ ). Lo anterior lo sintetizan en la siguiente ecuación:

$$F = (F_s - F_d) / R \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

Walker y Ho (1977), midiendo el área transversal de floema del pedúnculo de la primera inflorescencia y de los pedicelos de las flores encontraron tasas de flujo de carbono de 6.75 a 2.51 mg mm<sup>-2</sup> de floema h<sup>-1</sup> en frutos cuyo peso fresco variaba de 30 a 100 g respectivamente, indicando que, por unidad de peso, la capacidad de los frutos para atraer asimilados va disminuyendo con el aumento de su tamaño.

De acuerdo con diferentes autores (Walker y Ho, 1977; Wolf y Rudich, 1988; Sonnewald y Wiltmitzer, 1992) a la fuerza o poder de la fuente para exportar asimilados se le llama capacidad de la fuente y está determinada principalmente por la tasa de fotosíntesis, la tasa de síntesis de sacarosa y la tasa de llenado del floema con sacarosa a través de proteínas acarreadoras específicas (translocación a través de la membrana). A la fuerza con que los órganos importan asimilados se le llama fuerza de la demanda y depende del tamaño de la demanda (número de demandas o peso de las mismas) y la actividad de la demanda (tasa de acumulación de peso seco por unidad de peso del tejido demandante).

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

Según Ho (1984), cuando la primera inflorescencia de jitomate se hace visible, su habilidad para competir es muy limitada, mientras que el abastecimiento de asimilados es crucial para su desarrollo futuro. Un bajo suministro de éstos a partir de ese momento y hasta unos 10 días después puede causar la complete aborción de las flores con una fuerte disminución en el rendimiento final de frutos, mientras que el crecimiento de las hojas jóvenes continúa gracias a su mayor fuerza demandante en ese periodo.

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 del 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 Lipar 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.

Ho *et al.*, (1983) expresan que en muchas especies cultivadas, cuando la capacidad de la fuente o la fuerza de la demanda son limitantes cambian las relaciones entre éstas para crear un nuevo equilibrio: así, la tasa de fotosíntesis puede ser reducida por una demanda pequeña o aumentada por una grande. Indican que el aumento progresivo del tamaño en los frutos de jitomate es acompañado por una reducción proporcional de su actividad demandante.

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 y está determinado por el número de células en el ovario antes de la antesis y la tasa de división celular en la primera semana después de dicha 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).

El establecimiento y mantenimiento de un flujo de asimilados hacia una demanda en crecimiento implica el establecimiento de un gradiente de concentración de sacarosa. Si se considera relativamente constante la aportación de este azúcar como resultado del proceso fotosintético, entonces el gradiente que induce el transporte en el floema se produce, en la mayoría de los casos debido al metabolismo de la sacarosa en las demandas activas como consecuencia de su utilización como fuente energética en la respiración y biosíntesis celular para impulsar el crecimiento en este sitio o su almacenamiento en forma de azúcares reducidos (principalmente almidón). Ello implica la acción de una enzima (invertasa) que hidroliza la sacarosa en glucosa + fructosa. Aún en los órganos de almacenamiento, la sacarosa se puede transformar en almidón o algún otro producto menos soluble, que tenga un efecto menor que la sacarosa sobre la presión osmótica. Entonces, la actividad de la demanda no es más que el reflejo del metabolismo celular en el tejido demandante (Russell y Morris, 1982).

Si el gradiente de concentración de sacarosa entre la fuente y la demanda es, en gran parte consecuencia de la respiración y la biosíntesis del tejido demandante, es de esperarse que los factores que afecten estos procesos tengan un efecto importante sobre la fuerza de la demanda y eventualmente sobre el rendimiento de la planta

Por ejemplo, Walker y Ho (1977) y Pearce *et al.*, (1993) han encontrado que el aumento en la temperatura de los frutos de jitomate provoca un aumento en la actividad metabólica de los mismos y por lo tanto incrementa la entrada de carbón (sacarosa) y agua, dando por resultado un aumento de tamaño y peso.

Una expresión de la proporción de materia seca total que finalmente es trasladada al producto de interés agronómico es el llamado índice de cosecha (IC), el cual se define como el cociente entre el rendimiento económico  $R_e$  (producto de interés económico) y la biomasa total producida (B) o rendimiento biológico (Beadle, 1985). Este índice representa la eficiencia de la canalización de biomasa hacia el rendimiento económico.

Scurlock *et al.*, (1985) definen al rendimiento agronómico ( $R_a$ ) como la proporción de la producción neta que es asignada a la parte útil o cosechada del cultivo y le llaman índice de cosecha (IC) a la proporción de producción total de biomasa que se destina a las partes cosechadas de la planta

El jitomate presenta índices de cosecha que oscilan normalmente entre 0.4 y 0.65: es decir, que del 40 al 65 % de la materia seca producida por una planta es canalizada hacia los frutos (Ho, 1984; Hewitt y Marrush 1986; Srinivasa y Bhatt, 1988; Sánchez, 1994).

Según Ho y Hewitt (1986) para plantas de jitomate con más de 4 racimos, el IC es estimado en 64 a 70 % y de 35 a 50 % para plantas de 1 a 3 racimos.

Koning (1996) destaca la importancia del IAF sobre el rendimiento de jitomate al señalar que la cantidad de materia seca (fotoasimilados) disponible para el crecimiento de los frutos es igual a la diferencia entre la tasa de producción de materia seca y la cantidad (tasa) de materia seca demandada para el crecimiento vegetativo a un cierto

IAF, y que dentro de ciertos límites, al aumentar el IAF aumenta la intercepción de RFA por el dosel, y en consecuencia, hay un aumento en la producción de materia seca por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Llega incluso a plantear un modelo sencillo de predicción de la producción de materia seca por día en función del IAF, dentro de un invernadero.

$$\Delta ms = \frac{(47.3) (RFA_i + 0.29)}{(RFA_i + 7.96)} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$RFA = (I_g) (0.7) (0.5) (1 - e^{-0.6IAF}) \dots\dots\dots (3.8)$$

Donde:

$\Delta ms$  = Incremento diario de materia seca por el dosel ( $g\ m^{-2}\ d^{-1}$ )

$RFA_i$  = Radiación (entre 400 y 700  $\Gamma m$ ) interceptada diariamente por el dosel ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )

$I_g$  = Irradiancia global diaria ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ )

0.7 = Constante que indica la proporción de irradiancia global transmitida al interior de un invernadero

0.5 = Constante que indica la proporción de irradiancia global que es RFA

0.6 = Coeficiente de extinción del dosel (estimado)

IAF = índice de área foliar

Estima que una planta madura (ya con racimos en producción tiene una demanda diaria promedio de  $2 \text{ g d}^{-1}$ ), de modo que para un determinado IAF la cantidad diaria de fotoasimilados disponibles para el crecimiento de los frutos es una función de la densidad y de la tasa de crecimiento diario del cultivo. Subraya que el valor de modelos como éste estriba en que se pueden estimar la densidad, el número de racimos y el número de frutos por racimos óptimos para diferentes estaciones del año en función de la irradiancia global.

De acuerdo con Charles-Edwards *et al* (1986), la ganancia de peso del producto de interés económico ( $\Delta_{pe}$ ) en un intervalo de tiempo dado será igual a la tasa bruta de ganancia ( $T_{bg}$ ) en ese periodo multiplicado por la proporción de materia seca que deriva hacia el producto económico ( $P_{pe}$ ) menos la tasa de pérdidas de materia seca del producto económico ( $T_{ppe}$ ) en ese intervalo de tiempo

$$\Delta_{pe} = T_{bg} \cdot P_{pe} - T_{ppe} \dots\dots\dots(3.9)$$

Si se considera toda la etapa de crecimiento del producto de interés económico en términos de producción o ganancia neta se pueden obtener fórmulas equivalentes, más conocidas, que relacionan el rendimiento agronómico de un cultivo con el índice de cosecha y la biomasa por unidad de superficie (Scurlock *et al.*, 1988; Beadie, 1988)

$$Ra = B \times IC \dots\dots\dots (310)$$

$$IC=Ra/B \dots\dots\dots (3.11)$$

De aquí se puede concluir que las estrategias agronómicas para incrementar el rendimiento de un cultivo pueden consistir en incrementar la biomasa por unidad de superficie, sin una disminución equivalente del índice de cosecha, incrementar el índice de cosecha por planta, manteniendo constante la biomasa por unidad de superficie, o Incrementar simultáneamente tanto el índice de cosecha como la biomasa por unidad de superficie.

#### **4.4.4. 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 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, por regla general, no pueden considerarse como 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 translocación de asimilados almacenados en ellos, y una consecuencia, en caso de que el destino de los asimilados translocados sea el producto económico, puede ser el aumento del rendimiento (Moorby, 1981; Donald y Hamblin, 1983; Hewitt y Marrush, 1986).

#### **4.4.5. 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 su biomasa y eventualmente su rendimiento agronómico serán mayores. La duración del periodo vegetativo deberá ser lo suficientemente larga para que el cultivo desarrolle un dosel lo suficientemente grande, para proveer de suficientes fotoasimilados a las demandas reproductivas que se desarrollarán posteriormente. Entre más dure el periodo desde iniciación de la inflorescencia hasta la antesis, potencialmente se podrán iniciar y establecer más flores, y entre más dure el periodo de antesis a madurez de los frutos o semillas es de esperar que sea mayor su peso y tamaño dado que hay translocación de asimilados por un mayor periodo de tiempo y el rendimiento agronómico será mayor. Hay que considerar que además del tiempo, también influyen sobre el rendimiento las tasas de fotosíntesis y de crecimiento de frutos o de granos. (Evans y Wardlaw, 1976; Charles-Edwards *et al.*, 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.

Lawlor (1993), tratando de estimar el rendimiento biológico, plantea que la fotosíntesis neta total ( $F_{nt}$ ) de un cultivo en todo su ciclo de cultivo por unidad de área ( $m^2$ ) puede considerarse como una función de la energía radiante absorbida por unidad de área foliar ( $m^2$ ), de la respuesta de la tasa de fotosíntesis neta ( $F_n$ ) a la intensidad de luz o irradiancia fotosintética, del área foliar total ( $m^2$ ) y del número de días de asimilación, y plantea las siguientes fórmulas:

$$F_{nt}m^{-2} \cdot ciclo^{-1} = (F_n m^{-2} \text{ hoja día}^{-1}) (IAF) (\text{días ciclo}^{-1}) \dots\dots\dots (3.12)$$

$$B = (F_{nt}m^{-2} \text{ suelo día}^{-1})(\text{número de días ciclo}^{-1}) - (R_t m^{-2} \text{ suelo día}^{-1})(\text{número de días ciclo}^{-1}) \dots\dots (3.13)$$

Donde:

$R_t$  = Tasa de respiración total del dosel

Ho y Hewitt (1986) señalan 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 159 (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 TAC del fruto se incrementa de 30 mg d<sup>-1</sup> a 150 mg d<sup>-1</sup> 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 periodo 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.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Ubicación del experimento

El experimento se realizó en un invernadero de vidrio de la empresa Industrial Agropecuaria Junco ubicada en la localidad de Santa Elena Municipio de Texcoco, Estado de México. Geográficamente se localiza a 19° 29' de latitud norte y 98° 53' de longitud oeste y a una altitud de 2250 metros sobre el nivel medio del mar (García, 1988).

El invernadero que se utilizó es de tipo capilla, con estructura metálica y cubierta de vidrio, orientado en dirección este-oeste. Sus dimensiones son 103 m de largo por 11.2 m de ancho y 3.8 m de altura máxima. Las ventanas son laterales, miden 1.5 metros de alto y corren a todo lo largo de ambos costados del invernadero; se cubrieron con malla plástica antiáfidos (40 x 25 mesh) y con una cortina de polietileno que permite su apertura y cierre. En el interior cuenta con tres juegos de seis tinas cada uno (18 tinas en total) separados por pasillos transversales de 1 m de ancho. Cada tina mide 33 m de largo y 1.3 m de ancho y están separada por pasillos cementados de 50 cm de ancho. (Figura 7).

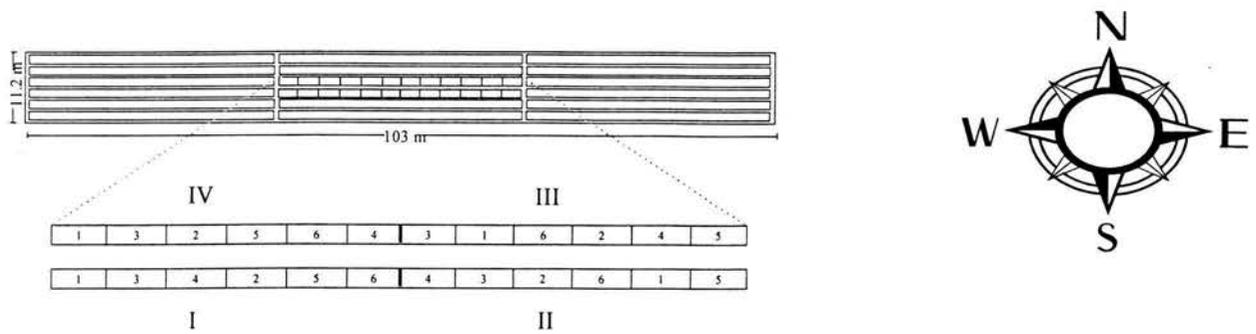


Figura 7 Distribución de Bloques y Tratamientos dentro del invernadero. Boques I, II, III, y IV. Tratamientos 1,2,3,4,5,6.

Las tinas de 40 cm de profundidad se rellenaron colocando primero una capa de 10 cm de grava compuesta de partículas de tezontle rojo de aproximadamente 1 cm de diámetro, seguida de otra capa de 28 cm de arena de tezontle rojo con partículas comprendidas entre 1 y 3 mm de diámetro. La capa de grava se colocó con el objetivo de dar un drenaje libre y aislar el suelo de la capa de arena de tezontle que fue el sustrato donde crecieron las raíces de las plantas.

## 5.2. Material Vegetal

Se utilizaron dos cultivares de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): Solarset, comercializado por la empresa Asgrow, es cultivar de hábito determinado, cuyo tamaño de planta es compacto, con un fruto de tamaño mediano (120-150 g) y con resistencias incorporadas a *Verticilium*, *Fusarium* razas 1 y 2, *Alternaria* y *Stemphylium*.

Daniela, comercializado por la empresa Hazera, es un cultivar de hábito indeterminado, planta grande, con fruto mediano (120 a 150g) con también con resistencias incorporadas a *Verticilium*, *Fusarium* razas 1 y 2, *Alternaria* y *Stemphylium*. Es un cultivar transgénico con

larga vida de anaquel.

### 5.3. Semillero

La siembra en semillero se efectuó en charolas de poliestireno de 65 cm de largo, 30 cm de ancho y 8 cm de profundidad con 200 cavidades cada una. Las cavidades se rellenaron con “peatmoss” (Turba de *Sphagnum*) preparado especialmente para semilleros. Se sembró una semilla a 0.5 cm de profundidad en cada cavidad. Inmediatamente después se dio un riego, se estibarón las charolas y se cubrieron con un plástico durante tres días a fin de favorecer la germinación. Después se destaparon y se colocaron encima de las tinas iniciándose una rutina de tres riegos diarios por microaspersión. La emergencia total de las plántulas ocurrió a los 6 días después de la siembra (dds). A partir de ahí y hasta la cosecha los riegos se efectuaron con una solución nutritiva balanceada con las siguientes concentraciones de nutrimentos en  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Nutrimentos, concentraciones y compuestos fertilizantes utilizados para preparar la solución nutritiva.

NUTRIMENTO	CONCENTRACIÓN ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	COMPUESTO FERTILIZANTE
Nitrógeno	200	Nitrato de Calcio
Fósforo	60	Ácido Fosfórico
Potasio	300	Sulfato de Potasio
Calcio	300	Nitrato de calcio
Azufre	200	Sulfato de Potasio; Sulfato de Magnesio
Magnesio	60	Sulfato de Magnesio
Hierro	4	Sulfato Ferroso
Manganeso	0.7	Sulfato de manganeso
Boro	0.5	Borax
Cobre	0.1	Sulfato de cobre
Zinc	0.1	Sulfato de zinc

No se suministró molibdeno ni cloro considerando que se requieren en muy baja concentración, y aparecen en cantidad suficiente como impurezas en los fertilizantes usados, y eventualmente en el agua de riego (Sánchez y Escalante, 1989).

#### **5.4. Trasplante**

Dos semanas antes del trasplante, el sustrato de las tinas donde se realizó el experimento fue esterilizado con bromuro de metilo a razón de  $30 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  de tina. Previo a la aplicación el sustrato fue cubierto con láminas de polietileno a fin de prevenir el escape del gas. Una vez aplicado el producto se dejaron tapadas las tinas por tres días, después se removió el plástico dejándose ventilar las tinas otros tres días. Posteriormente se dio un riego pesado con solución nutritiva, se removió el sustrato con pala, se niveló y se acolchó con una lámina de polietileno de color blanco lechoso con un calibre de 150 galgas (diez-milésimas de pulgada). Posteriormente se procedió a hacer las perforaciones en el plástico (5 cm de diámetro a las distancias establecidas para cada uno de los tratamientos).

El trasplante se realizó 30 dds, haciendo hoyos de 10 cm de profundidad bajo las perforaciones realizadas en el plástico y colocando las plántulas con todo y cepellón hasta el nivel de las hojas cotiledonares. Al terminar el trasplante se regó una vez más con solución nutritiva.

### **5.5. Descripción de los tratamientos y diseño experimental**

Se evaluaron y compararon tratamientos basados en doseles escaleriformes y tratamientos basados en doseles uniformes.

Los tratamientos basados en doseles escaleriformes se lograron mediante el manejo de hileras de plantas de distintas alturas y con orientación este-oeste, que es el sentido longitudinal de las tinas. La forma de escalera se logró entonces podando cada hilera de plantas a diferentes altura, dejándoles un diferente número de racimos por planta. Así la hilera ubicada en el lado sur de cada tina se manejó con despuntes para dejar un racimo por planta (dando plantas de aproximadamente 50 cm de altura); la hilera central se despuntó para dejar tres racimos por planta (dando plantas de alrededor de 1 m de altura); La hilera ubicada al norte de cada tina se dejó a 6 racimos por planta (dando plantas de aproximadamente 1.8 m de altura). Con esta disposición el sol corrió en la dirección longitudinal de las tinas, pero la mayor parte del ciclo de cultivo (que transcurrió durante parte del invierno y toda la primavera) con un ángulo de inclinación hacia el sur con respecto al cenit. De esta manera se logró que las hileras de plantas más grandes no sombrearan a las hileras de plantas más chicas (Figura 3).

Variando las densidades de cada hilera de plantas y el número de hileras por tina, se generaron cuatro tratamientos basados en doseles escaleriformes, se dispusieron además dos tratamientos testigo que son de los manejados comercialmente por la empresa, basados en doseles uniformes (hileras de plantas de la misma altura) con hileras de plantas orientadas en dirección este-oeste:

Cuadro.5.2 Descripción resumida de los tratamientos manejados en el experimento.

Tratamientos	Hileras de plantas				Número de racimos·m <sup>-2</sup>
	1	2	3	4	
<b>Doseles Escaleriformes</b>					
1.Densidad Media 18 plantas·m <sup>-2</sup>	11 plantas·m <sup>-1</sup> a 1 racimo	7 plantas·m <sup>-1</sup> a 3 racimos	5 plantas·m <sup>-1</sup> a 6 racimos		48
2.Densidad Alta 25 plantas·m <sup>-2</sup>	13 plantas·m <sup>-1</sup> a 1 racimo	9 plantas·m <sup>-1</sup> a 3 racimos	6 plantas·m <sup>-1</sup> a 6 racimos		58
3.Densidad Baja 15 plantas·m <sup>-2</sup>	9 plantas·m <sup>-1</sup> a 1 racimo	6 plantas·m <sup>-1</sup> a 3 racimos	4 plantas·m <sup>-1</sup> a 6 racimos		40
4. Escaleriforme en 4 hileras 25 plantas·m <sup>-2</sup>	11 plantas·m <sup>-1</sup> a 1 racimo	9 plantas·m <sup>-1</sup> a 2 racimos	7 plantas·m <sup>-1</sup> a 3 racimos	5 plantas·m <sup>-1</sup> a 6 racimos	62
<b>Doseles Uniformes</b>					
5.Testigo Dosel Uniforme en 4 hileras 12 plantas·m <sup>-2</sup>	4 plantas·m <sup>-1</sup> a 3 racimos	36			
6.Testigo Dosel Uniforme en dos hileras 6 plantas·m <sup>-2</sup>	4 plantas·m <sup>-1</sup> a 6 racimos	4 plantas·m <sup>-1</sup> a 6 racimos			36

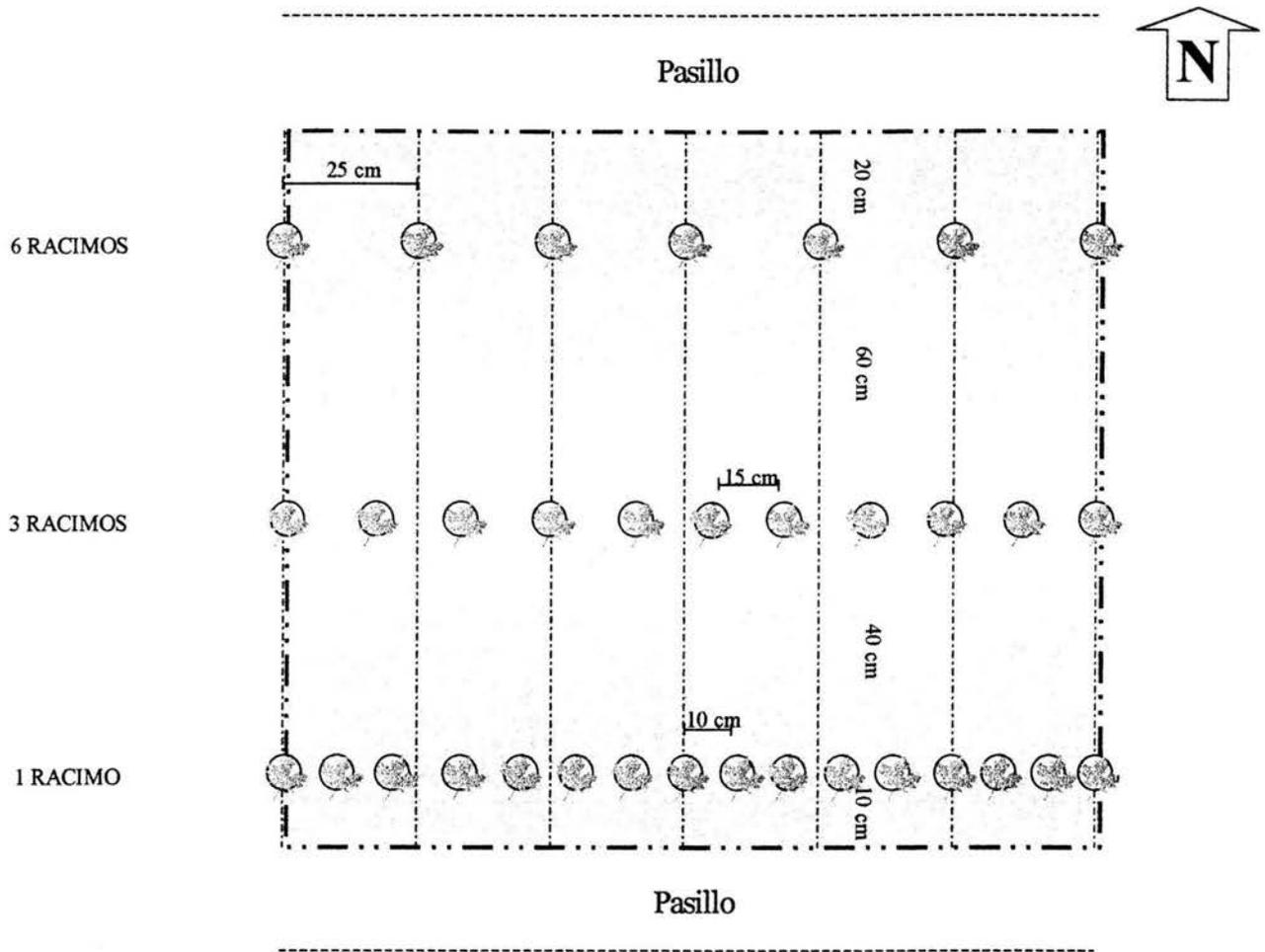


Fig. 8 Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 1.

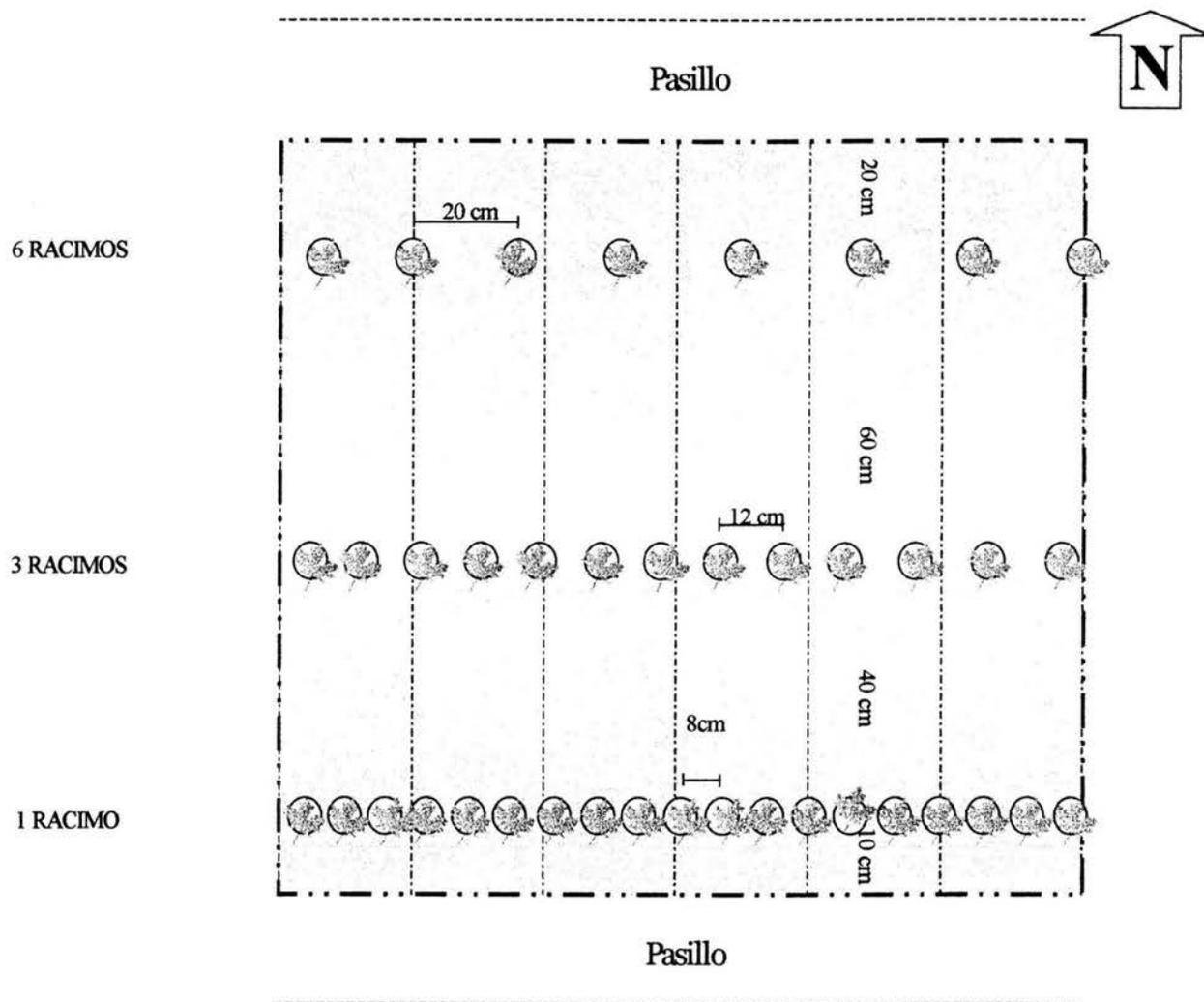


Fig. 9 Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 2

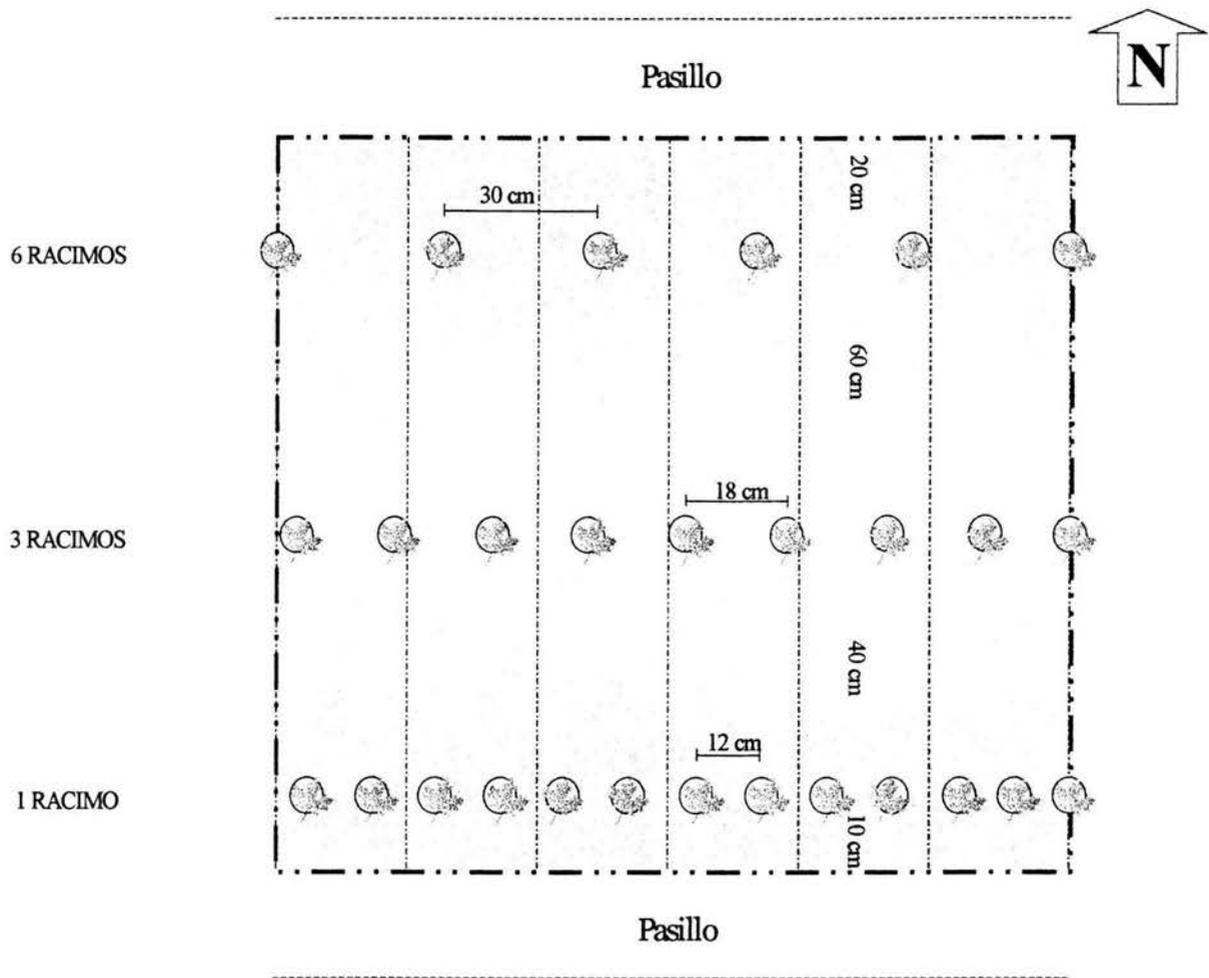


Fig. 10 Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 3

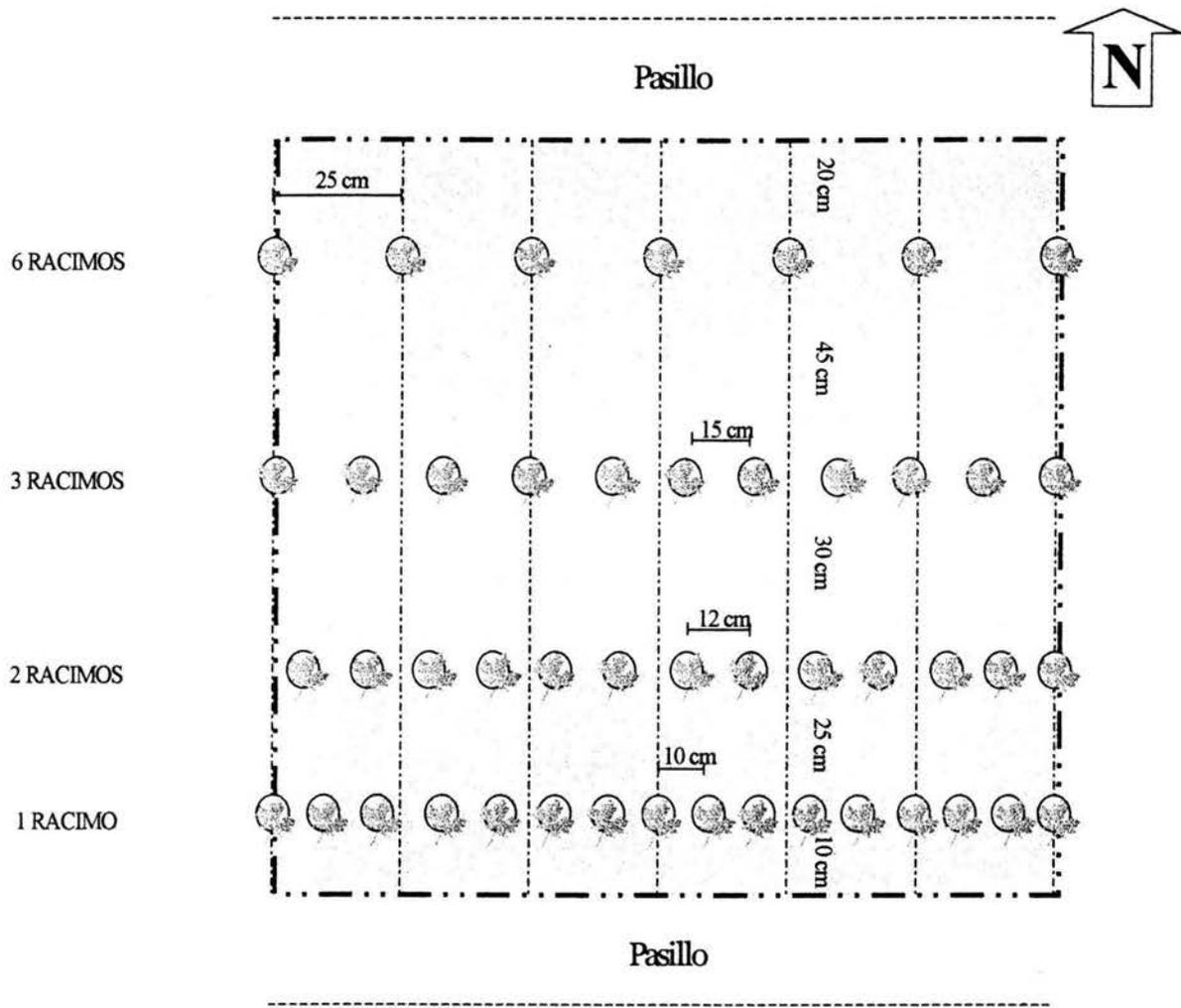


Fig.11 Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 4

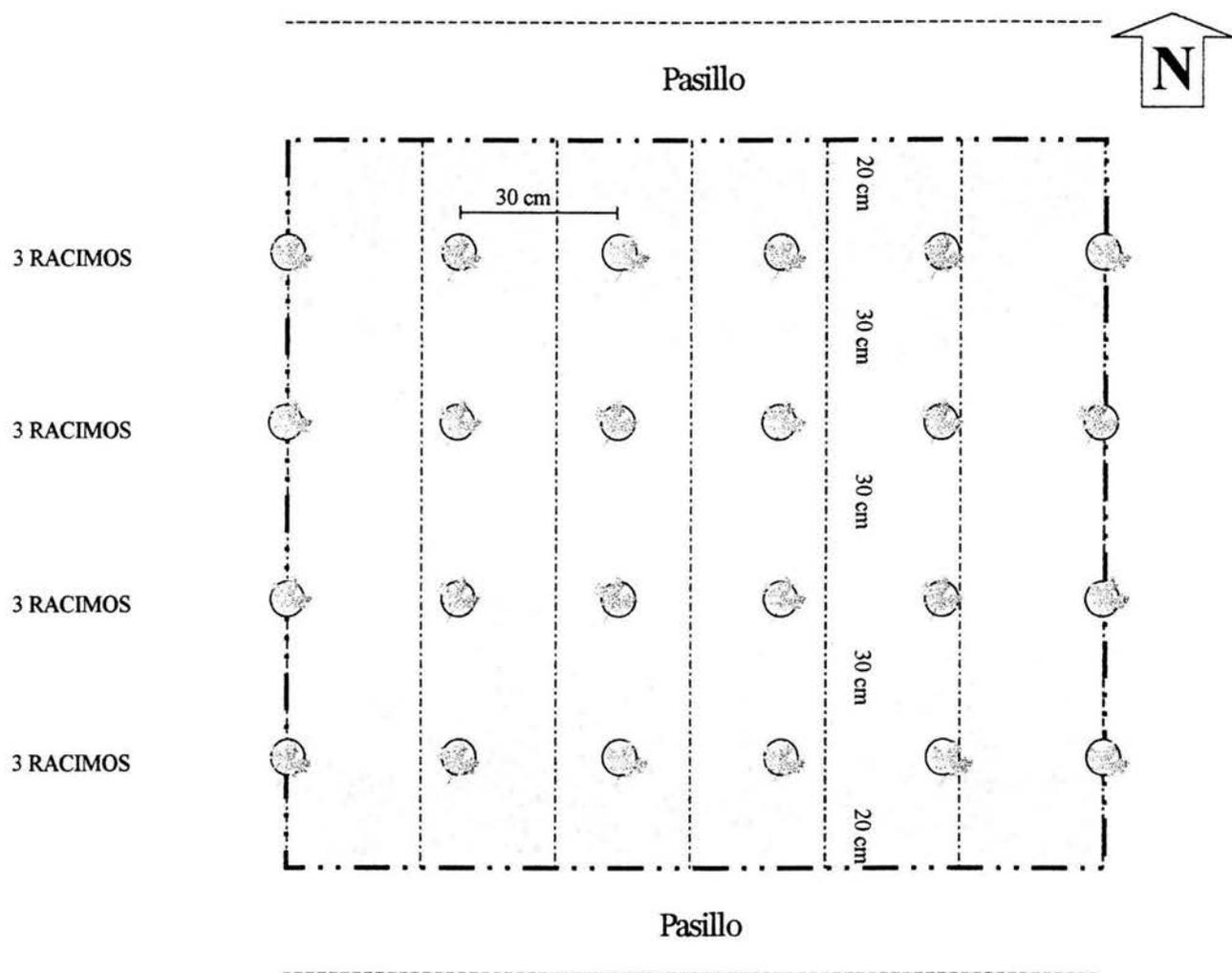


Fig. 12 Esquema de la distribución de plantas en una unidad del tratamiento 5

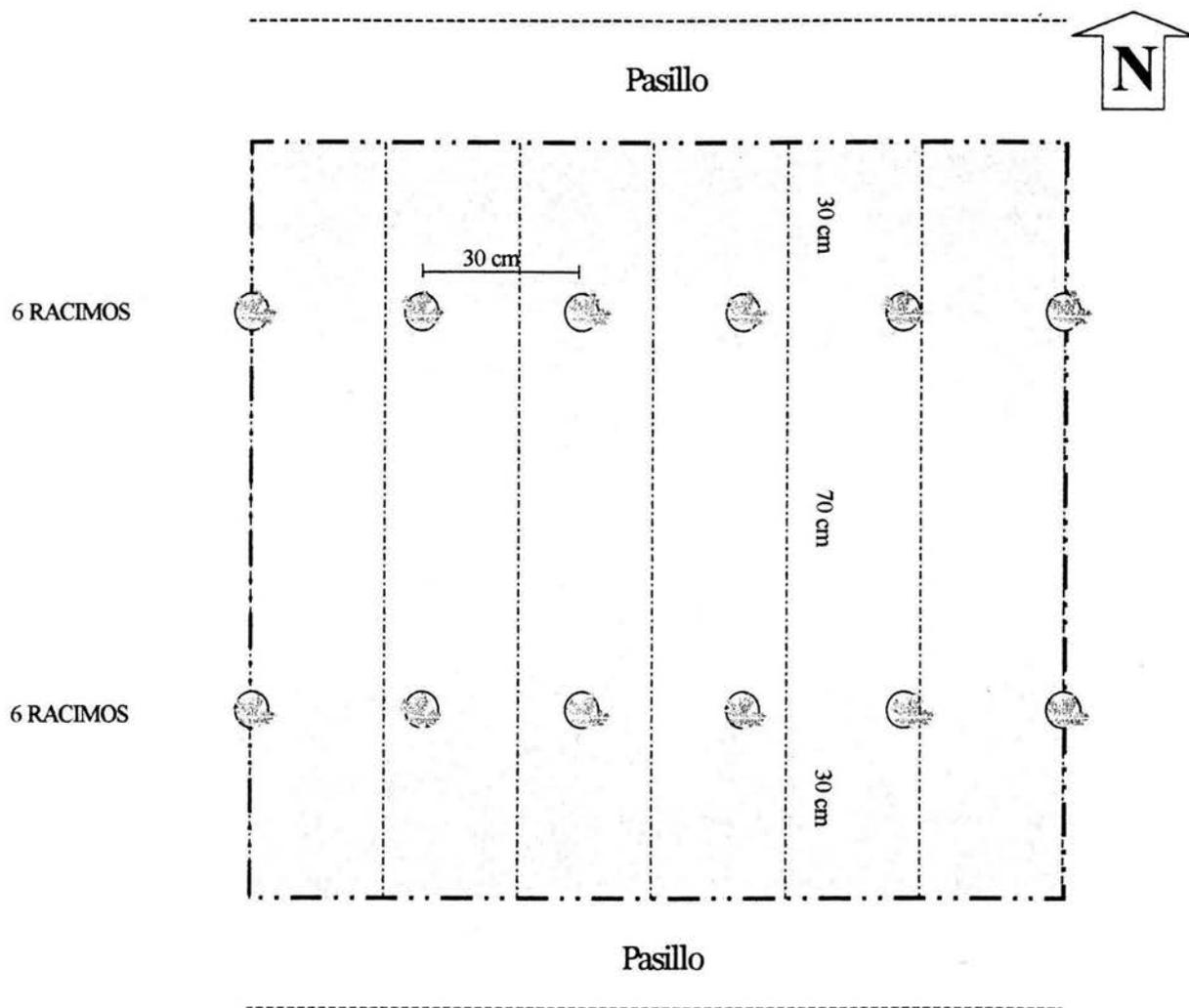


Fig 13 Esquema de la distribución de plantas en una unidad experimental del tratamiento 6

Se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. El tamaño de cada unidad experimental fue de  $1.95 \text{ m}^2$  (1.5 m de largo por 1.3 m de ancho).

### 5.6. Riego y solución nutritiva.

A partir del trasplante, el riego siempre fue con solución nutritiva en las concentraciones marcadas en el Cuadro 5.1. Se aplicó vertido directo a las camas con manguera y sin recirculación. Se aplicaron diariamente de 4 a 8 Lm<sup>-2</sup> suficientes para mantener el sustrato a su capacidad de retención en las diversas condiciones de temperatura, luminosidad y edad de la planta que se presentaron.

Las plantas se condujeron con tutoreo. Se efectuó el despunte manualmente (eliminación de la yema terminal) de las plantas, dos hojas arriba de la última inflorescencia que se iba a dejar. Se eliminaron también manualmente los brotes laterales.

Se utilizó la misma solución nutritiva que para la producción comercial de la empresa; para prepararla se procedía de la siguiente manera:

- 1) Se llenaba una cisterna de 20 m<sup>3</sup> a tres cuartas partes de su capacidad con agua procedente de un pozo profundo.
- 2) Se pesaban las cantidades requeridas de cada fertilizante por separado
- 3) Cada fertilizante conteniendo macronutrientes se diluía por separado con agua en un tambo de 200 litros, se dejaba reposar y posteriormente se agregaba a la cisterna, desechando los sedimentos no solubles.
- 4) Los fertilizantes que contenían los micronutrientes se mezclaban en un solo tambo y se vertían a la cisterna.

5) Después de agregar cada nutrimento a la cisterna se agitaba la solución haciendo que la bomba la recirculara.

6) Se llenaba la cisterna a su capacidad total y se ajustaba el pH entre 6 y 6.5 agregando ácido sulfúrico diluido.

### 5.7. Manejo del cultivo.

Las plantas se tutoraron a los 50 dds enrollando las plantas con cordón plástico (raffia) sujeto a alambres colocados a 2 m de altura sostenidos a su vez de la estructura del invernadero. (Figura 14).

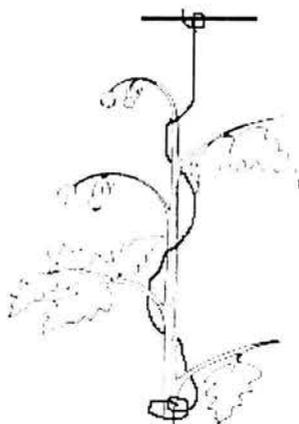


Figura 14. Representación esquemática de una planta de jitomate tutorada (sostenida) para mantenerla erguida.

Todas las plantas se condujeron a un solo tallo, para lo cual fue necesario eliminar los brotes laterales semanalmente a medida que aparecían a lo largo del ciclo de cultivo. Esta práctica se hizo manual y se inicio a los 45 dds.

A los 56 dds se inició el despunte (eliminación de la yema terminal) de las plantas conducidas a un racimo, dejando dos hojas más arriba de éste. Para el caso de plantas dejadas

a dos, tres y seis racimos los despuntes se efectuaron a los 64, 72 y 92 dds respectivamente, dejando dos hojas más arriba del último racimo permitido.

No fue necesario aplicar productos químicos para el control de plagas y enfermedades ya que no se presentaron más que algunos gusanos que fueron removidos manualmente.

La cosecha se efectuó en varios cortes, iniciando a los 117 dds; en cada corte se colectaron los frutos que alcanzaban la madurez comercial.

#### **5.8. Variables evaluadas.**

De cada unidad experimental, por hilera y en cada corte se tomaron los datos de rendimiento de fruto en peso fresco, número total de frutos cosechados, número de frutos extragrandes (mayores de 8 cm de diámetro ecuatorial), grandes (diámetro ecuatorial mayor a 6 cm pero menor a 8 cm), medianos (entre 4 y 6 cm) y pequeños (menores de 4 cm). Para la clasificación del tamaño se utilizaron cribas de madera con perforaciones circulares de 4, 6 y 8 cm de diámetro.

Con éstos datos se calcularon el rendimiento, el peso medio del fruto y el número de frutos por unidad de superficie, por metro lineal de hilera y por racimo. También se calculó el porcentaje de frutos extragrandes, grandes, mediano y chicos por unidad de superficie y por metro lineal de hilera.

A los 102 días después de la siembra se midió el grosor del tallo en el entrenudo de las

hojas inmediatas inferiores a la primera inflorescencia; se determinó también la altura de la planta al momento de efectuar el despunte conforme las plantas en las diferentes hileras iban completando el número de racimos previsto en cada hilera de cada unidad experimental.

Los seis tratamientos se compararon mediante pruebas estadísticas de análisis de varianza y pruebas de Duncan ( $\Delta = 0.05$ ), comprendiendo los factores densidades y tamaño de planta (hileras con diferente número de racimos).

Se realizaron también análisis estadísticos del rendimiento y sus componentes por hilera, considerando primero los tratamientos que incluyen hileras de plantas a un racimo, en segundo lugar los tratamientos que incluyen hileras de plantas a tres racimos y, por último, los tratamientos que incluyen hileras de plantas a seis racimos, para establecer la densidad más adecuada en cada hilera de plantas.

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Comparación global de tratamientos

#### 6.1.1. Rendimiento y sus componentes primarios

El análisis de varianza (Cuadro 6.1.) indica que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables de rendimiento por unidad de superficie y sus componentes primarios (número de frutos por unidad de superficie y peso medio de fruto) sin embargo la probabilidad de que el rendimiento y número de frutos por unidad de superficie difieran entre tratamientos es alta (93% y 92% respectivamente). Es decir, tomando como criterio un nivel de significancia de 0.08, se podría considerar la existencia de diferencias entre tratamientos. De hecho la prueba de comparación de medias de Duncan (Cuadro 6.2) sí establece diferencias significativas al 0.05 para estos dos variables, como se describe a continuación.

Cuadro 6.1. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento y sus componentes en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS			
		RENDIMIENTO	NÚMERO DE FRUTOS	PESO MEDIO DE FRUTO	FRUTOS POR RACIMO
Bloque	3	32762060	1677	59.06	0.96
Tratamiento	5	39930545	3853	75.06	1.41
Error	15	16569355	1668	57.59	0.75
Pr > F	-	0.069	0.079	0.305	0.1392
C.V. (%)	-	15.73	16.88	7.06	16.47
Media general	-	25.9 (kg m <sup>-2</sup> )	242 (fruto m <sup>-2</sup> )	107 (g)	5.26

Cuadro 6.2 Medias de Rendimiento y sus componentes por superficie en jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (kg m <sup>-2</sup> )	FRUTOS (número m <sup>-2</sup> )	PESO MEDIO DE FRUTO (g)	FRUTOS POR RACIMO
Escaleriforme densidad media	29.3 a	264 a	111	5.5 ab
Escaleriforme densidad alta	29.0 ab	261 a	112	4.5 b
Escaleriforme de 4 hileras	28.0 abc	277 a	101	4.9 b
Testigo uniforme de 2 hileras	24.5 abc	222 ab	110	6.2 a
Escaleriforme densidad baja	22.5 bc	215 ab	105	5.4 ab
Testigo uniforme de 4 hileras	21.3 c	194 b	110	5.4 ab
Media general	25.9	242	107	5.26
*Duncan (0.05)	6.83	68.5	12.7	1.01

\*Rango crítico para 6 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

El rendimiento por unidad de superficie varió desde 29.3 kg m<sup>-2</sup> en el tratamiento escaleriforme con densidad media hasta 21.3 kg m<sup>-2</sup> en el tratamiento testigo con dosel uniforme y plantas conducidas a tres racimos y 12 plantas m<sup>-2</sup>. Tanto el tratamiento escaleriforme de densidad media como el de densidad alta fueron estadísticamente superiores al testigo mencionado. También, el primer tratamiento mencionado, se mostró estadísticamente superior al tratamiento manejado con un dosel escaleriforme pero a densidad baja.

Para la variable número de frutos por unidad de superficie la media general de

tratamientos fue de 242 frutos·m<sup>-2</sup>, pero osciló desde 264 en el tratamiento escaleriforme de densidad media, hasta 194 en el testigo a tres racimos por planta en dosel uniforme. Este último tratamiento resultó estadísticamente inferior a los tratamientos escaleriformes con densidad media, alta y media con cuatro hileras.

Respecto al peso medio de fruto la prueba de Duncan no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Es de hacer notar que el rango entre el tratamiento con mayor peso de fruto (escaleriforme densidad alta en tres hileras) y el tratamiento con menor peso medio de fruto (escaleriforme con densidad alta en cuatro hileras) fue de sólo 10% (112 y 101 g respectivamente).

En el mismo Cuadro 6.2. se observa que el testigo con dosel uniforme en dos hileras fue el que dio el mayor número de frutos por racimo con 6.2, en tanto que el tratamiento de dosel escaleriforme y densidad alta amarró sólo 4.5 frutos por racimo, pero hay que hacer notar que en el primer caso sólo había 36 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil, mientras que en el segundo se tenían 58 en esa misma superficie.

### **6.1.2. Tamaño de frutos**

En los Cuadros 6.3 y 6.4 se presentan los análisis de varianza en número y porcentaje de frutos de distintos tamaños (chicos, menores de 4 cm de diámetro; medianos, entre 4 y 6 cm; grandes, entre 6 y 8 cm, extragrandes, más de 8 cm de diámetro).

Cuadro 6.3. Cuadrados medios y niveles de significancia para el número de frutos chicos, medianos, grandes y extragrandes en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS			
		FRUTOS EXTRAGRANDES	FRUTOS GRANDES	FRUTOS MEDIANOS	FRUTOS CHICOS
Bloque	3	151.67	2097.85	420.24	108.43
Tratamiento	5	92.87	1633.64	730.49	40.12
Error	15	32.81	657.71	265.82	51.04
Pr > F		0.040	0.063	0.045	0.592
C.V. (%)		35.32	17.23	27.47	38.03
Media general		16.2 (frutos·m <sup>-2</sup> )	148.8 (frutos·m <sup>-2</sup> )	59.4 (frutos·m <sup>-2</sup> )	18.8 (frutos·m <sup>-2</sup> )

## IZT.

Cuadro 6.4. Cuadrados medios y niveles de significancia para porcentaje de frutos de distintos tamaños en jitomate considerando distintos arreglos de plantación.

F. V.	G. L.	CUADRADOS MEDIOS			
		FRUTOS EXTRAGRANDES	FRUTOS GRANDES	FRUTOS MEDIANOS	FRUTOS CHICOS
Bloque	3	25.78	186.46	42.51	20.16
Tratamiento	5	18.02	40.75	36.65	6.36
Error	15	5.66	9.42	12.43	7.80
Pr > F		0.026	0.104	0.035	0.572
C.V. (%)		34.51	7.15	14.88	35.48
Media general		6.89 %	61.64 %	23.69 %	7.87 %



Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para frutos medianos y extragrandes, tanto en número de frutos por unidad de superficie como en porcentaje. Para frutos grandes, el nivel de significancia se situó en 0.06 para número de frutos y en 0.1 para porcentaje. En ambos casos, la prueba de Duncan (Cuadros 6.5 y 6.6) sí reporta diferencias significativas al 0.05 para éstos variables. Para frutos chicos no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, ni en número, ni en porcentaje.

Cuadro 6.5. Medias del número de frutos de distintos tamaños por unidad de superficie para jitomate en diferentes arreglos de plantación.

ARREGLO	FRUTO EXTRAGRANDE (número m <sup>-2</sup> )	FRUTO GRANDE (número m <sup>-2</sup> )	FRUTO MEDIANO (número m <sup>-2</sup> )	FRUTO CHICO (número m <sup>-2</sup> )
Escaleriforme densidad baja	21 a	125 b	49 b	19
Escaleriforme densidad media	21 a	173 a	65 ab	15
Escaleriforme densidad alta	13 ab	161 ab	66 ab	20
Escaleriforme de 4 hileras	12 ab	161 ab	83 a	19
Testigo uniforme de 4 hileras	9 b	128 b	43 b	13
Testigo uniforme de 2 hileras	17 ab	129 b	52 b	21
Media general	16.21	148.82	59.36	18.79
*Duncan	9.61	43.03	27.36	11.79

\*Rango crítico para 6 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

El tratamiento escaleriforme de densidad media fue el que dio más frutos grandes y extragrandes por unidad de superficie. En frutos grandes fue estadísticamente superior a todos los demás tratamientos, mientras que en frutos extragrandes sólo fue significativamente mayor al testigo uniforme en cuatro hileras.

El número de frutos medianos fue mayor (83 frutos m<sup>-2</sup>) en el tratamiento escaleriforme con cuatro hileras de plantas, difiriendo estadísticamente de otros tres tratamientos. El testigo a tres racimos por planta con dosel uniforme, fue el que tuvo el menor.

número de frutos medianos por unidad de superficie (43 frutos·m<sup>-2</sup>).

Cuadro 6.6. Medias de los porcentajes de frutos de distintos tamaños en jitomate, considerando distintos arreglos de plantación.

ARREGLO	FRUTO EXTRAGRANDE (%)	FRUTO GRANDE (%)	FRUTO MEDIANO (%)	FRUTO CHICO (%)
Testigo uniforme de 2 hileras	7 ab	58 b	23 b	12
Escaleriforme densidad baja	10 a	58 b	23 b	9
Escaleriforme densidad alta	5 b	61 ab	25 ab	9
Escaleriforme en 4 hileras	4 b	59 ab	29 a	8
Testigo uniforme de 4 hileras	4 b	65 a	22 b	9
Escaleriforme densidad media	8 ab	65 a	20 b	7
Media general	6.89	61.64	23.69	7.87
*Duncan	3.99	7.39	5.9	4.68

\*Rango crítico para 6 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En términos porcentuales, también el tratamiento escaleriforme en cuatro hileras fué estadísticamente superior (29 % de frutos medianos). Cabe destacar que el tratamiento con menor porcentaje de frutos medianos (20 %) y consecuentemente mayor porcentaje de frutos grandes (65 %), fue el tratamiento escaleriforme con densidad media.

## **6.2. Análisis por hileras de plantas**

Con el objetivo de definir la mejor densidad para cada hilera de los tratamientos con dosel escaleriforme, se efectuó una comparación estadística del rendimiento y sus componentes y de variables morfológicas (grosor del tallo, altura de planta y número de flores) por hilera, considerando primero los tratamientos que incluyeron hileras de plantas conducidas a un racimo; en segundo lugar, los tratamientos que incluyeron hileras de plantas conducidas a tres racimos y finalmente, los tratamientos que incluyeron plantas manejadas a seis racimos.

### **6.2.1. Hilera a un racimo**

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas para rendimiento por hilera o sus componentes primarios (número de frutos por hilera y peso medio de fruto) entre hileras conducidas a un racimo de los diferentes tratamientos. (Cuadro 6.7). Sin embargo la prueba de Duncan sí detectó diferencias significativas al 0.05 entre hileras tanto para el rendimiento por hilera como para el peso medio de frutos.

El tratamiento escaleriforme con densidad alta, que contempló 13 plantas por metro lineal en la hilera conducida a un racimo, fue el que dio el mayor rendimiento con  $4.6 \text{ kg m}^{-1}$  de hilera, difiriendo estadísticamente del escaleriforme de densidad media que incluyó 11 plantas por metro lineal en la hilera a un racimo y que rindió  $3.2 \text{ kg m}^{-1}$  de hilera (Cuadro 6.8.).

Cuadro 6.7. Cuadrados medios y niveles de significancia para el rendimiento y sus componentes en relación a la hilera orientada al sur de las camas de cultivo con plantas a un racimo en los arreglos escaleriformes.

F. V.	G. L.	RENDIMIENTO POR HILERA	NÚMERO DE FRUTOS	PESO MEDIO DE FRUTO
Bloque	3	410015	19.52	20.98
Tratamiento	3	1288000	46.20	442.70
Error	9	636255	34.77	229.07
Pr > F		0.1547	0.3148	0.1690
C. V. (%)		20.14	19.24	11.63
Media general		3.96 (kg.m <sup>-1</sup> )	30.6 (frutos.m <sup>-1</sup> )	130 (g)

Cuadro 6.8. Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal en la hilera orientada al sur de las camas de cultivo con plantas a un racimo en los arreglos escaleriformes.

ARREGLO	RENDIMIENTO (kg.m <sup>-1</sup> )	FRUTOS (número.m <sup>-1</sup> )	PESO MEDIO DE FRUTOS (g)
Escaleriforme densidad alta (13 plantas.m <sup>-1</sup> )	4.6 a	35	129 ab
Escaleriforme densidad baja (9 plantas.m <sup>-1</sup> )	4.0ab	27	144 a
Escaleriforme en 4 hileras (11 plantas.m <sup>-1</sup> )	3.7 ab	29	126 ab
Escaleriforme densidad media (11 plantas.m <sup>-1</sup> )	3.2 b	27	115 b
Media general	3.96	30.65	130.15
*Duncan	1344	9.9	25.5

\*Rango crítico para 4 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

En el mismo Cuadro 6.8 se observa que el peso medio de fruto fue estadísticamente superior en la hilera de plantas a un racimo del tratamiento escaleriforme con densidad baja (9 plantas por metro lineal en la hilera a un racimo) con  $144 \text{ g fruto}^{-1}$  contra sólo  $115 \text{ g fruto}^{-1}$  en la hilera a un racimo del dosel escaleriforme con densidad media.

No se encontraron diferencias significativas para las variables altura de planta y grosor del tallo medidos a los 102 dds, en las hileras de plantas conducidas a un racimo en los diferentes tratamientos que las incluían Cuadro 6.9.

Cuadro 6.9. Cuadrados medios y niveles de significancia para altura de planta, grosor de tallo, y número de flores por racimo en la hilera orientada al sur de las camas de cultivo con plantas a un racimo en los arreglos escaleriformes.

F.V.	G.L.	ALTURA DE PLANTA	GROSOR DEL TALLO	FLORES POR RACIMO
Bloque	3	3.50	0.0091	0.3220
Tratamiento	3	17.80	0.01527	0.4182
Error	9	18.08	0.01452	0.1449
Pr>F		0.4524	0.4213	0.0691
C.V.%		10.57	11.93	9.08
Media general		40.21 cm	1.01 cm	4.19

Con éste análisis se buscaba estimar si las plantas por estar en alta densidad presentaban síntomas de competencia por luz (menor grosor del tallo, mayor altura de planta y menos flores por racimo). Como se observa en la prueba de comparación de medias Cuadro 6.10 los tratamientos que incluían alta densidad fueron los que numéricamente tuvieron los

mayores valores para altura de planta y los menores para grosor del tallo y número de flores

por racimo; sin embargo no difieren estadísticamente de los demás tratamientos, indicando que en el rango de las densidades consideradas el efecto por competencia no es marcado.

Cuadro 6.10 Medias de altura de planta, grosor de tallo y número de flores por racimo en la hilera orientada al sur de las camas de cultivo con plantas a un racimo en los arreglos escaleriformes.

ARREGLO	ALTURA DE PLANTA (cm)	GROSOR DEL TALLO (cm)	FLORES POR RACIMO
Escaleriforme densidad alta (13 plantas m <sup>-1</sup> )	42.7	0.94	3.9
Escaleriforme en 4 hileras (11 plantas m <sup>-1</sup> )	41.7	0.96	4.2
Escaleriforme densidad baja (9 plantas m <sup>-1</sup> )	40.4	1.03	4.2
Escaleriforme densidad media (11 plantas m <sup>-1</sup> )	38.1	1.02	3.8
Media general	40.21	1.01	4.19
*Duncan	7.16	0.20	0.52

\* Rango crítico para 4 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

### 6.2.2. Hilera a tres racimos

Al igual para las hileras a un racimo, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las hileras conducidas a tres racimos de los diferentes tratamientos (Cuadro 6.11), pero, la prueba de Duncan al 0.05 (Cuadro 6.12) si las detectó para las variables

rendimiento y peso medio de frutos.

Cuadro 6.11. Cuadrados medios y niveles de significancia para rendimiento y sus componentes para la hilera. intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes

F.V.	G.L.	RENDIMIENTO	NÚMERO DE FRUTOS	PESO MEDIO DE FRUTO
Bloque	3	8267568	359.92	190.73
Tratamiento	3	13443270	724.07	225.12
Error	9	6078084	422.87	71.02
Pr>F		0.13	0.21	0.054
C.V.		22.90	19.56	8.30
Media general		10.8 (kg·m <sup>-1</sup> )	105 (frutos·m <sup>-1</sup> )	101.5 (g)

Cuadro 6.12. Medias de rendimiento por metro lineal y sus componentes para la hilera intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes.

ARREGLO	RENDIMIENTO (kg·m <sup>-1</sup> )	NÚMERO DE FRUTOS	PESO MEDIO DE FRUTOS (g)
Escaleriforme densidad alta (9 plantas·m <sup>-1</sup> ).	12.3 a	115	105 a
Escaleriforme densidad media (7 plantas·m <sup>-1</sup> ).	10.8 ab	101	105 a
Escaleriforme densidad baja (6 plantas·m <sup>-1</sup> ).	9.3 ab	90	102 a
Escaleriforme en 4 hileras (7 plantas·m <sup>-1</sup> ).	8.6 b	95	88 b
Media general	10.8	105	101.5
*Duncan	3.65	34.65	13.20

\*Rango crítico para 4 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

El mayor rendimiento por metro lineal de hilera a tres racimos ( $12.3 \text{ kg m}^{-1}$ ) correspondió al tratamiento escaleriforme con densidad alta (nueve plantas por metro lineal para la hilera de tres racimos), difiriendo estadísticamente del tratamiento escaleriforme con cuatro hileras, en el que la hilera a tres racimos tenía siete plantas por metro lineal y que solo rindió  $8.6 \text{ kg m}^{-1}$ .

Con respecto al peso medio de frutos la hilera de plantas a tres racimos del tratamiento escaleriforme en cuatro hileras dio un promedio de 88 gramos por fruto siendo estadísticamente inferior a los otros tres tratamientos que tuvieron un peso medio de fruto mayor de 100 gramos.

Cuadro 6.13. Cuadrados medios y niveles de significancia para altura, grosor de tallo y número de flores para la hilera intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes.

F.V.	G.L.	ALTURA DE PLANTA	GROSOR DE TALLO	FLORES POR RACIMO
Bloque	3	1421.76	0.0351	0.8731
Tratamiento	3	51.65	0.0209	0.2344
Error	9	140.86	0.0049	0.4077
Pr>F		0.8635	0.0128	0.7185
C.V.%		11.36	6.09	9.83
Media general		104.8 cm	1.11 cm	6.4

En el caso de las variables morfológicas, el análisis de varianza (Cuadro 6.13) muestra diferencias significativas entre tratamientos sólo para la variable grosor del tallo. En la prueba

de comparación de medias (Cuadro 6.14) se aprecia que los tratamientos con menor grosor del tallo fueron los sometidos a mayor densidad de plantas (escaleriforme en cuatro hileras, escaleriforme en densidad alta y escaleriforme en densidad media). En este caso, el testigo a cuatro hileras y tres racimos por planta en dosel uniforme, fue el que presentó estadísticamente, el valor más alto de grosor del tallo y corresponde al tratamiento con menor densidad de todos los considerados.

Cuadro 6.14. Medias de altura de planta, grosor de tallo y número de flores por racimo para la hilera intermedia con plantas a tres racimos en los arreglos escaleriformes.

ARREGLO	ALTURA DE PLANTA (cm)	GROSOR DE TALLO (cm)	FLORES POR RACIMO
Escaleriforme densidad media (7 plantas·m <sup>-1</sup> ).	108.4	1.08 ab	6.5
Escaleriforme densidad alta (9 plantas·m <sup>-1</sup> ).	105.6	1.10 ab	6.6
Escaleriforme en 4 hileras (7 plantas·m <sup>-1</sup> ).	103.9	1.07 b	6.0
Escaleriforme Densidad baja (6 plantas·m <sup>-1</sup> ).	101.5	1.18 a	6.5
Media general	104.8	1.11	6.4
*Duncan	19.92	0.107	1.07

\*Rango crítico para 4 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

### 6.2.3. Hilera a seis racimos

Nuevamente, el análisis de varianza (Cuadro 6.15) no detectó diferencias significativas

para las hileras a seis racimos de los diferentes tratamientos escaleriformes, ni para rendimiento, ni para sus componentes primarios, en tanto que, la prueba de Duncan al 0.05 (Cuadro 6.16) muestra diferencias significativas entre tratamientos para el rendimiento por metro lineal de la hilera conducida a seis racimos. En este caso la hilera de plantas a seis racimos del tratamiento escaleriforme con densidad media (cinco plantas por metro lineal para hilera a seis racimos), fue el que rindió más ( $27 \text{ kg m}^{-1}$ ) alcanzando a diferir estadísticamente de la hilera de plantas a seis racimos del tratamiento escaleriforme en cuatro hileras (cinco plantas por metro lineal para la hilera a seis racimos) que sólo rindió  $15 \text{ kg m}^{-1}$ .

Cabe destacar que aún cuando no hubo diferencias significativas para el número de frutos entre tratamientos para ésta hilera, la variación fue numéricamente grande, desde 220 hasta 125 frutos por metro lineal de hilera, no así para el peso medio de frutos cuya variación fue de sólo de 117 a 106 gramos por fruto.

Cuadro 6.15. Cuadrados medios y niveles de significancia para el rendimiento y sus componentes para la hilera, orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.

F.V.	G. L.	RENDIMIENTO	NÚMERO DE FRUTOS	PESO MEDIO DE FRUTO
Bloque	3	47380186	3200	128.53
Tratamiento	3	96217542	6450	103.37
Error	9	43560418	3338	132.24
Pr>F		0.1294	0.1697	0.3473
C.V.%		31.56	31.48	10.09
Media general		$20.9 \text{ (kg m}^{-1}\text{)}$	$183 \text{ (frutos m}^{-1}\text{)}$	114 (g)

En el caso de las variables morfológicas para las hileras despuntadas a seis racimos no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los distintos tratamientos escaleriformes (Cuadros 6.17 y 6.18).

Cuadro 6.16 Medias de rendimiento y sus componentes por metro lineal para la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.

ARREGLO	RENDIMIENTO (kg·m <sup>-1</sup> )	FRUTOS (número·m <sup>-1</sup> )	PESO MEDIO DE FRUTOS (g)
Escaleriforme densidad media (5 plantas·m <sup>-1</sup> ).	27.0 a	220	122
Escaleriforme densidad alta (6 plantas·m <sup>-1</sup> ).	24.0 ab	219	109
Escaleriforme densidad baja (4 plantas·m <sup>-1</sup> ).	17.1 ab	163	106
Escaleriforme en 4 hileras (5 plantas·m <sup>-1</sup> ).	15.0 b	125	117
Media general	20.8	182	114
*Duncan	11.12	97.36	19.38

\*Rango crítico para 4 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas

Cuadro 6.17. Cuadrados medios y niveles de significancia para altura, grosor de tallo y número de flores para la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.

F.V.	G.L.	ALTURA DE PLANTA	GROSOR DE TALLO	FLORES POR RACIMO
Bloque	3	206.02	0.001972	0.195
Tratamiento	3	117.69	0.004336	1.839
Error	9	135.69	0.006772	0.4375
Pr>F		0.5254	0.6727	0.84
C.V.%		7.01	6.53	9.01
Media general		165 cm	1.26 cm	7.34

Cuadro 6.18. Medias de altura de planta, grosor de tallo y número de flores por racimo en la hilera orientada al norte de las camas de cultivo con plantas a seis racimos en los arreglos escaleriformes.

ARREGLO	ALTURA DE PLANTA (cm)	GROSOR DE TALLO (cm)	FLORES POR RACIMO
Escaleriforme densidad alta (6 plantas m <sup>-1</sup> ).	172	1.26	7.6
Escaleriforme densidad baja (4 plantas m <sup>-1</sup> ).	168	1.21	7.6
Escaleriforme densidad media (5 plantas m <sup>-1</sup> ).	163	1.24	7.6
Escaleriforme en 4 hileras (5 plantas m <sup>-1</sup> ).	157	1.31	6.9
Media general	165	1.26	7.4
*Duncan	19.5	0.138	1.11

\*Rango crítico para 6 medias. Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

## VII. DISCUSIÓN

Con el propósito de evaluar el rendimiento por unidad de superficie que se puede lograr en el cultivo de jitomate, mediante el arreglo de hileras de plantas de distinto tamaño (orientadas en dirección este-oeste) para formar doseles escaleriformes, se diseñaron e implementaron varios tratamientos con esta característica y se compararon con dos testigos manejados con hileras de plantas de la misma altura (también orientadas este-oeste) formando doseles uniformes.

Cabe mencionar que estos tratamientos testigo corresponden a dos sistemas de producción generados en la Universidad Autónoma Chapingo, que ya han sido validados y que actualmente están siendo usados comercialmente por productores.

Uno de los testigos contempla el manejo de 12 plantas·m<sup>-2</sup> de superficie útil, dispuestas en cuatro hileras por cama (camas de 1.3 m de ancho) y a las cuales se les despunta (eliminación de la yema terminal) dos hojas por encima de la tercera inflorescencia formada y se les quitan todos los brotes laterales a fin de dejar sólo tres racimos por planta. Este manejo a resultado exitoso comercialmente ya que permite concentrar toda la cosecha de un ciclo de cultivo en un mes, periodo que se puede hacer coincidir con las ventanas del mercado en que los precios que se pagan al productor son los más altos. Además, pensando en un esquema de producción continua, dependiendo de la edad de la planta a la que se trasplante, se pueden obtener de tres a cuatro ciclos de cultivo por año con mayor rendimiento anual por unidad de superficie que el que se logra con los sistemas de producción de jitomate denominados “de

punta” como los practicados en los invernaderos de Holanda o Canadá (Ponce, 1995; Sánchez, 1997).

Trabajos de investigación (Ponce, 1995; Ucán, 1999) y pruebas a nivel comercial realizados en la empresa “Industrial Agropecuaria Junco” (datos no publicados) muestran que, a partir de doseles uniformes, con más de 12 plantas·m<sup>-2</sup> de superficie útil con tres racimos cada una (36 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil) ya no se logran aumentos significativos en el rendimiento por unidad de superficie pues, debido al sombreado mutuo, el rendimiento por planta disminuye en la misma proporción que el aumento en el número de plantas (y racimos) por unidad de superficie. Particularmente se afecta el rendimiento de las plantas de las hileras centrales de las tinajas, ya que por su ubicación son las más sombreadas (Jarvis, 1998).

Por ejemplo Ucán (1999) maneja cuatro hileras de plantas en un dosel uniforme, justamente a la densidad de 12 plantas·m<sup>-2</sup> de superficie útil con tres racimos cada una (36 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil), encontrando que el rendimiento por planta de las dos hileras centrales fue 24 % menor que las hileras exteriores de las tinajas.

El otro testigo, contempla una densidad de 6 plantas·m<sup>-2</sup> de superficie útil dispuesta en dos hileras por cama y despuntadas dos hojas arriba de la sexta inflorescencia para dejar 6 racimos por planta (36 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil). Es un sistema parecido al convencional en invernadero, pero permite de 2 a 3 ciclos de cultivo por año en intervalos de cosecha de dos meses por ciclo. Este tipo de manejo a tenido éxito comercial en las empresas “Complejo Agrícola de Morelos 2001” e “Industrial Agropecuaria Junco”. En ambas empresas se han

ensayado diferentes densidades encontrándose que a más de 6 plantas·m<sup>-2</sup> de superficie útil ya no se obtiene más rendimiento por unidad de superficie (Sánchez y Ponce, 1997, datos no publicados) por razones similares a las mencionadas para el testigo anterior.

Es razonable pensar que en ambos casos el rendimiento por unidad de superficie esta limitado por lo que Gardner (1986) define como un índice de área foliar crítico: aquél en el que el dosel de plantas intercepta el 95 % de la radiación fotosintéticamente activa y a partir del cual mayores incrementos en área foliar ya no repercuten en mayores tasas de acumulación de materia seca del cultivo debido al sombreado mutuo de las hojas.

La hipótesis central del presente trabajo es que se puede aumentar el rendimiento por unidad de superficie incrementando el número de racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil por arriba de los 36 racimos·m<sup>-2</sup> que permiten los doseles uniformes, mediante la formación de doseles escaleriformes conformados por hileras de plantas de distinta altura orientadas en dirección este-oeste y con la hilera de menor altura en el costado sur de las camas de cultivo.

Este supuesto esta basado en la idea de que con un dosel de esta orientación y geometría se puede lograr una distribución más uniforme de la radiación fotosintéticamente activa incidente sobre él (mayor penetración de la luz), permitiendo establecer un índice de área foliar crítico mayor y, por lo tanto, el acomodo de más racimos por unidad de superficie sin un detrimento significativo del rendimiento por racimo ni del peso medio de fruto. A ello contribuye también el heliotropismo positivo de las hojas de jitomate (Bidwell, 1993; Salisbury y Ross, 1994), que ocasiona que la mayor parte de las hojas de cada planta se inclinen hacia el sur y que las hojas que no lo pueden hacer, se orienten hacia el norte, pero

hacia donde el nivel de luz difusa (que en los invernaderos normalmente está incrementada) es mayor.

Por ello se probaron tratamientos de dosel escaleriforme que permitieron acomodar desde 40 hasta 62 racimos de jitomate por  $m^2$  de superficie útil (en vez de los 36 que se manejan comercialmente con los doseles uniformes basados en plantas conducidas a tres o a seis racimos).

Los resultados obtenidos muestran que el mayor rendimiento por unidad de superficie se obtuvo con el tratamiento escaleriforme conformado por tres hileras de plantas por tina, orientadas en dirección este-oeste, con las plantas de la hilera que da al sur manejadas a un racimo y 11 plantas por metro lineal, las de la hilera central a tres racimos y siete plantas por metro lineal y las de la hilera norte a seis racimos y cinco plantas por metro lineal de tina (escaleriforme de densidad media), mismo que permitió acomodar  $48 \text{ racimos} \cdot m^{-2}$  de superficie útil (Cuadro 6.2). Según la Prueba de Duncan este tratamiento rindió significativamente más que el testigo comercial con cuatro hileras de plantas conducidas a tres racimos con un dosel uniforme y  $36 \text{ racimos} \cdot m^{-2}$  de superficie útil.

La razón de esta diferencia fue que en el tratamiento escaleriforme de densidad media se logró un número significativamente mayor de frutos por unidad de superficie sin una disminución apreciable del peso medio de los frutos ni del número de frutos por racimo en relación al testigo mencionado (Cuadro 6.2), sugiriendo que a ese nivel de densidad y con la orientación y forma particular del dosel, si bien se tuvo más área foliar por unidad de superficie de tina, se logró una distribución más uniforme de la radiación incidente sobre las

hojas que lo conforman, de tal manera que no se llegó a niveles de competencia por luz entre las plantas que limitaran su producción de fotoasimilados a un grado tal que influyera negativamente sobre el número de frutos por racimo o el peso medio de los mismos. Como se mencionó, en el caso de los doseles uniformes, el rendimiento se ve limitado por el menor número y tamaño de frutos que presentan las plantas que se ubican en las hileras centrales porque el nivel de sombra en que se encuentran sus hojas limita su tasa de producción de asimilados (Jarvis, 1998, Ucán, 1999).

Se pudo apreciar, que al aumentar la densidad en cada hilera del dosel escaleriforme (a 13, 9 y 6 plantas por metro lineal respectivamente) para acomodar 58 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil (tratamiento escaleriforme de densidad alta), se afectó negativamente el número de frutos por racimo. Lo mismo se observó en el tratamiento escaleriforme en cuatro hileras de plantas para acomodar 62 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil (Cuadro 6.2). En ambos casos parece que se alcanzó un nivel de competencia por luz entre plantas tal que disminuyó el número de frutos por racimo y también influyó de manera negativa en el peso medio de los frutos (aunque en este último caso la diferencia no alcanzó a ser significativa con respecto al escaleriforme de densidad media).

Desde el punto de vista económico, en el caso del jitomate bola, el tamaño de fruto es tan o más importante que el rendimiento por unidad de superficie, pues el precio al que vende el productor depende, en gran medida, del tamaño de los frutos. Por ejemplo, de acuerdo a datos proporcionados por el Sistema Nacional de Información de Mercados (1999), el precio al mayoreo que en que se cotizó el jitomate bola en la Central de Abasto del Distrito Federal durante la segunda semana de Diciembre de 1998 fue de \$15.00 el kg; sin embargo los precios oscilaban según el tamaño de fruto de acuerdo al siguiente Cuadro.

Cuadro 7.1. Precios promedio pagados por caja al productor (empresa Industrial Agropecuaria Junco) por un comisionista-mayorista de la Central de Abasto del D. F.

PRESENTACIÓN	Peso por caja (kg)	Frutos por caja	Precio por caja (pesos)	Precio por kg (pesos)	Precio por fruto (pesos)
Caja de una tanda (28)*	7.0	28	120	17.14	4.29
Caja de una tanda (35)	7.5	35	120	16.00	3.43
Caja de dos tandas (30)	10.0	60	100	10.00	1.67
Caja de dos tandas (36)	10.0	72	90	9.00	1.25
Caja de tres tandas (49)	12.0	147	60	5.00	0.41

\*El número entre paréntesis indica el número de frutos que caben por capa o tanda

Como se puede apreciar, mientras que un kilogramo de jitomate grande se cotizaba en más de \$17.00, el chico apenas se pagaba a \$5.00. Dicho de otra manera, por una caja de 24 frutos grandes pagaban \$120.00 (\$4.29 por fruto), mientras por una de 147 frutos chicos pagaban \$60.00 (\$0.41) por fruto.

El tratamiento escaleriforme de densidad media produjo un número significativamente mayor de frutos grandes y extragrandes por unidad de superficie que los testigos (Cuadro 5.5), lo cual también se puede explicar por una mejor distribución de la radiación fotosintéticamente activa en el dosel de dicho tratamiento.

Con la finalidad de encontrar el nivel de densidad óptimo para el dosel escaleriforme, uno de los propósitos del trabajo era el detectar, para cada hilera de plantas, el nivel de densidad que produce el mayor rendimiento por metro lineal.

Al comparar distintos tratamientos escaleriformes, solamente en lo que respecta a la

hilera de plantas conducidas a un racimo (Cuadro 6.8), se encontró que el tratamiento de densidad alta (13 plantas por metro lineal) rindió significativamente más que el de densidad media (11 plantas por metro lineal) pero no que el de densidad baja (9 plantas por metro lineal).

Estos resultados parecen difíciles de explicar, pues lo esperado era que al aumentar la densidad de plantas en la hilera, el rendimiento por metro lineal aumentara o se estabilizara como consecuencia de que el peso medio de fruto o el número de frutos por planta disminuyeran progresivamente. Sin embargo, fue el tratamiento de densidad media el que presentó el menor peso medio de fruto y el menor rendimiento por metro lineal en esa hilera.

Observando los datos originales se detectó que una de las repeticiones de ese tratamiento de densidad media rindió muy poco, lo que repercutió negativamente en el promedio de las cuatro repeticiones, por lo que lo más probable es que en dicha repetición hubo alguna limitación no determinada que ocasionó esa diferencia entre tratamientos.

Los resultados de rendimiento y sus componentes en relación con las hileras conducidas a tres racimos por planta entre los distintos tratamientos escaleriformes (Cuadro 6.12) se pueden explicar con más claridad, pues a medida que disminuyó la densidad de la hilera de 9 a 6 plantas por metro lineal, se observa una tendencia a un menor rendimiento por metro lineal como consecuencia también de una tendencia hacia un menor número de frutos por metro lineal mientras que el peso medio de fruto permanece constante. La explicación más probable vuelve a ser la menor producción de asimilados por planta como consecuencia del sombreado mutuo causado por el aumento en el índice de área foliar a medida que se

incrementa la densidad.

La presión de densidad se notó particularmente en el menor rendimiento por metro lineal de la hilera a tres racimos por planta del tratamiento escaleriforme de densidad media conformado por cuatro hileras en vez de las tres de los demás tratamientos. Ello fue causado principalmente por una disminución significativa en el peso medio de los frutos con respecto a los demás tratamientos, aunque también se observa una tendencia a una disminución en el número de frutos por metro lineal (Cuadro 6.12). Esto es consecuencia de un mayor sombreado entre plantas causada por el acercamiento entre hileras, pues en vez de ser tres hileras por tina en este tratamiento se colocaron cuatro ocasionando que las hojas de plantas en hileras contiguas alcanzaran a sombreadarse de manera importante, dando un efecto similar de competencia al mencionado por Jarvis (1998) y en los trabajos de Ucán (1999).

La comparación entre las tratamientos escaleriformes con respecto a la hilera a seis racimos por planta (Cuadro 6.16) muestra que la densidad de cinco plantas por metro lineal (escaleriforme de densidad media) tuvo el mayor rendimiento por metro lineal debido principalmente a un alto número de frutos en dicha hilera. El rendimiento obtenido en la hilera de plantas a seis racimos de este tratamiento fue estadísticamente mayor a la hilera a seis racimos por planta y cinco plantas por metro lineal del tratamiento escaleriforme de densidad media pero con cuatro hileras por tina. La razón fue que en este último caso se tuvieron 95 frutos menos por metro lineal, lo que seguramente se explica también por la mayor presión de densidad entre hileras que provocan traslapes y, por tanto, sombreado de hojas entre hileras vecinas.

Con el análisis de las variables morfológicas (grosor del tallo, altura de planta y número de flores por racimo) por hilera, se buscaba estimar si las plantas, por estar en alta densidad, presentaban síntomas morfogenéticos de competencia por luz (mayor altura de planta, menor grosor de tallo y menor número de flores por racimo).

Como se muestra en el Cuadro 6.10, en relación a las hileras de plantas conducidas a un racimo, se observa la tendencia de que los tratamientos de más alta densidad fueron los que numéricamente tuvieron los mayores valores de altura de planta y los menores para grosor del tallo; sin embargo, no se alcanzó significancia estadística indicando que en el rango de las densidades consideradas el efecto no fue marcado.

Para el caso de las hileras conducidas a tres racimos por planta en los tratamientos escaleriformes, sí se encontraron diferencias significativas para la variable grosor del tallo (Cuadro 6.13). La prueba de comparación de medias (Cuadro 6.14) mostró que las plantas sometidas a mayor densidad (escaleriforme de tres hileras en densidad alta y de cuatro hileras en densidad media) fueron las que presentaron el menor grosor de tallo, mientras que el tratamiento de dosel uniforme con cuatro hileras de plantas conducidas a tres racimos fue el que tuvo el mayor grosor del tallo y corresponde a la menor densidad.

La ausencia de efectos en el caso de hileras de plantas despuntadas a seis racimos (Cuadros 6.17 y 6.18) se puede deber a que la densidad sólo se hizo variar entre cuatro y seis plantas por metro lineal, además de ser la hilera de plantas mejor iluminada por su mayor altura.

Se puede concluir que el mejor tratamiento en cuanto a rendimiento por unidad de superficie fue el escaleriforme de densidad media con tres hileras de plantas (una hilera de plantas a un racimo y 11 plantas por metro lineal, otra a tres racimos y siete plantas por metro lineal y la última a seis racimos y cinco plantas por metro lineal).

## VIII. CONCLUSIONES

Con base en las condiciones en que se realizó el experimento se puede concluir lo siguiente:

1. La disposición de plantas en doseles escaleriformes con tres hileras orientadas en dirección este-oeste a densidades que permitan acomodar entre 48 y 58 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil (tratamientos de densidad media y alta), dio por resultado un rendimiento por unidad de superficie mayor que el testigo comercial donde las plantas se disponen en doseles uniformes formados con cuatro hileras de plantas a tres racimos permitiendo sólo 36 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil.

2. El mayor rendimiento de los doseles escaleriformes dispuestos en tres hileras fue derivado de la obtención de un mayor número de frutos por unidad de superficie sin detrimento de su peso medio en relación al testigo comercial de dosel uniforme con cuatro hileras de plantas a tres racimos.

3. La disposición de plantas en dosel escaleriforme con hileras orientadas en dirección este-oeste y a una densidad que permitió acomodar 48 racimos·m<sup>-2</sup> de superficie útil (tratamiento de densidad media), produjo un mayor número de frutos grandes y extragrandes que los testigos comerciales dispuestos en doseles uniformes, lo que puede redundar en un beneficio económico adicional para el productor por el mejor precio que se paga por los frutos de mayor tamaño.

## IX. Recomendaciones

Debido a lo promisorio de los resultados obtenidos se recomienda hacer más experimentos con doseles escaleriformes que ayuden a afinar esta técnica a fin de que pueda ser validada a escala comercial por productores. Particularmente se sugiere enfocar las investigaciones en aspectos como los siguientes:

1. Probar los tratamientos escaleriformes en distintas épocas del año para definir los tratamientos más adecuados en cada estación de crecimiento.

2. Probar cubiertas de invernadero que provoquen un mayor porcentaje de luz difusa, así como también superficies reflectoras y mallas que dejen pasar un cierto porcentaje de radiación pero que también sean parcialmente reflejantes.

3. Probar tratamientos escaleriformes basados en hileras de plantas en tinas móviles o macetas despuntadas al mismo número de racimos pero sembradas en distintas fechas (por ejemplo trasplantar una hilera cada 45 días en caso de plantas conducidas a 6 racimos), de tal manera que las hileras de las plantas más grandes queden orientadas hacia el norte y las más pequeñas hacia el sur. Cuando las plantas de la primera hilera se acaben de cosechar, se quitan las tinas o macetas de esa hilera y se recorren un lugar las tinas o macetas de las otras hileras, mientras que las macetas o tinas que tenían las plantas recién cosechadas se colocan en el lado sur para recibir las plantas del nuevo ciclo. De esta manera podría obtenerse un ciclo de cinco a 6 plantas por metro lineal cada 45 días (nueve ciclos en un año).

4. Probar tratamientos de doseles escaleriformes basados en plantas de la misma edad y nivel de despunte, pero colocadas a diferentes alturas. En este caso particular se tendría la ventaja ya señalada de poder programar las fechas de cosecha para las ventanas donde los precios son más favorables para el productor.

## X. LITERATURA CITADA

- Acock, B., 1991., Modelling canopy photosynthetic response to carbono dioxide, light interception, temperature and leaf traits. In: Modelling crop photosynthesis from biochemistry to canopy. Boote, K. J. Y R. S. Loomis (editores). Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin, E.U.A. pp 41-55.
- Adams, M. W., 1982 b. Plant architecture and yield breeding. Iowa State J. Research 56(3):225-254.
- Adamson, R. M. and E. F. Mass., 1981. Soilless culture of seedless greenhouse cucumber and sequence cropping. Publicación 1725. Minister of Supply and Services of Canada. Ottawa Canadá. 25 pp.
- Bassols, B. A. 1982. Geografía Económica de México. Editorial Trillas. México, D. F. 431 P.
- Beadle, C. L., 1988. Análisis del crecimiento vegetal. En: Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Scurlock, J. M., S. P. Long, D. O. Hall and J. Coombs (editores). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Behnke, H. D., 1989. Structure of the phloem. In: Transport of Photoassimilates. Baker, D. A. Y J. A. Milburn (editores). Longman Scientifica and Technical. New York, EUA. pp 79-117.
- Bidwell, R. G. S., 1993. Fisiología Vegetal. AGT Editor. México, D. F. 784 pp.

- Calvert, A., 1973. Environmental responses. In: The United Kingdom tomato manual. Growers Books. Londres, Inglaterra. pp 19-34.
- Campbell, G. S., 1981. Fundamentals of radiation and temperature relations. In: Physiological Plant Ecology I. Lange, O. L., P. S. Nobel, C. B. Osmond y H. Ziegler. Springer-Verlag. New York. pp 11-40.
- 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 hidroponía bajo invernadero. Revista Chapingo, 73-74: 26-30. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México.
- Canny, M. J., 1973. Phloem traslocation. Cambridge University Press. Londres, Inglaterra. 301 pp.
- Castaños, C. M., 1993. Horticultura. Manejo Simplificado. Universidad Autónoma Chapingo. México. 527 pp.
- Charles-Edwards, D. A., D. Doley and G. M. Rimmington., 1986, Modelling plant growth and development. Academic Press. Sydney, Australia.
- Coleman, W. K. and R. I. Greyson., 1976. The growth and development of the leaf in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) II: Leaf Ontogeny. Canadian Journal of Botany 54:2704-2717.
- Comerville, C. R., 1990. The biochemical basis for plant improvement. In: Plant Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. Dennis, T. D. Y D. H. Turpin (editores). Longman Scientific and Technical. New York, EUA. pp 490-501.

- De Santiago, J., 1997. Hortalizas en Invernadero: Canadá, Estados Unidos y México. Productores de Hortalizas N°3:8-9. Marzo de 1997.
- Deleman, J. A. and J. A. Heuvelink., 1992. Factors affecting the number, of leaves preceding the first inflorescence in the tomato. *Journal of Horticultural Science* 67(1):1-10.
- 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.
- Esay, K., 1968. Anatomía de las plantas con semilla. Editorial Hemisferio sur Buenos Aires, Argentina. 512 pp.
- Evans, I. T. Y I. F. Wardlaaw., 1976; Aspects of the comparative Physiology of grain yields in cereals. *Advances in Agronomy* 28:301-359.
- Fahn, A., 1978. Anatomía Vegetal. H. Blume Ediciones. Madrid, España. 643 pp.
- FAO., 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 188 pp.
- Fisher, K. L., 1977. Competition effects between fruit trusses of the tomato plant. *Scientia Horticulturae* 7:37-42.
- Folquer, F., 1979. El tomate. Estudio de planta y su producción. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina 105 pp.

- Gardner, F. P. ; Pearce, R. B. and Mitchel, R. L. 1990. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Ames. , Iowa, USA. 327 P.
- Hewitt, J. D. And M. Marrush., 1986. Remobilization of non structural carbohydrates from vegetative tissue to fruits in tomato. J. Am. Soc. Hort. Sci. 111(1):142-145.
- Ho, L. C., 1984. Partitioning of assimilates in fruiting plants. Plant growth Regulation 2:277-285.
- Ho, L. C. And A. F. Shaw., 1977. Carbon economy and traslocation of  $^{14}\text{C}$  in leaflets of the seventh leaf of tomato during leaf expansion. Annals of Botany 41:833-848.
- Ho, L. C., A. F. Shaw, J. B. Hammond and K. S. Burton., 1983. Scurce-sink relationships and carbon metabolism in tomato leaves: I.  $^{14}\text{C}$  assimilate comparmentation. Annals of Botany 52:365-372.
- Ho, L. C., and J. D. Hewitt., 1986. Fruit development. In: The tomato crop. Atherton, J. G. And J. Rudich (editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 201-239.
- Hurd, R. G. and A. J. Cooper., 1967. Increasing flower number in single-truss tomatoes. Journal of horticultural Science 42:181-188.
- Hurd, R. G. and J. H. Thornley., 1974. An analysis of the growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and  $\text{CO}_2$  concentrations I: Physiological aspects. Annals of Botany 338:375-378.

- 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. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México (Tesis profesional).
- Jones, H. G., 1986. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge University Press. Londres, Inglaterra. 323 pp.
- Jorge Santos, M. 1999. Densidades, Arreglos de Plantación y Niveles de Despunte en Jitomate Cultivado en Hidroponía bajo Invernadero. Departamento de Fitotecnia UACH. Chapingo, Méx. xxx pp. (Tesis de Maestría en Ciencias).
- Khan, A. A. And G. R. Sagar., 1967. The distribution of the products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of fruit production *Horticultural Research* 7:61-69.
- Koning, A. N. M. de., 1996. Model predictions of optimum shoot density and truss size in glasshouse tomato. *International Workshop on Greenhouse Crop Models. Acta Horticulturae* 417:99-106.
- Lawlor, D. W., 1993. Photosynthesis: molecular, physiological and environmental processes. Longman Scientific and Technical. Londres, Inglaterra. 318 pp.

- Lee, D. R. 1988. Vasculature of the abscission zone of the tomato fruit: implications for transport. *Canadian Journal of Botany* 67:1898-1902.
- 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.
- Loomis, R. S., y W. A. Williams., 1969. Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves. I: Physiological aspects of crop yield. Dinauer, C. R. (editor). American Society of Agronomy and Crop Science Society of America Madison, Wisconsin, EUA. pp 27-51.
- Maroto, B. J.V., 1986. *Horticultura herbácea especial*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 589 pp.
- Marschner, H., 1986. *Mineral nutrition in higher plants*. Academic Press. Londres, Inglaterra. 674 pp.
- Martínez, F. G., 1995. *Elementos de Fisiología Vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 1147 pp.
- McAvoy, R. J. And H. W. Janes., 1998. Tomato plant Photosynthetic activity as related to canopy age and tomato development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(3):478-482.
- Milthorpe, F. L. Y J. Moorby., 1974. *An introduction to Crop Physiology*. Cambridge University Press. Londres, Inglaterra. 202 pp.

- Mock, J. J. And R. B. Pearce., 1975. An ideotype of maize *Euphytica* 24:613-623.
- Moorby, J., 1981. Transport systems in plants. Longman Scientific and Technical. New York, EUA. 169 pp.
- Monteith J. L., 1981. Does light limit crop production. In: Physiological processes limiting plant productivity. Johnson C.B. (editor). The Camelot Press. Londres Inglaterra pp 23-38.
- Muñoz, R. M., R. Altamirano C., J. Carmona M., J. Trujillo F., G. López C. y A. Cruz A., 1995. Desarrollo de ventajas competitivas en la agricultura: El caso del tomate rojo. SAGDER. CUESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo, México. 120 pp.
- Nobel P. S. and S. P. Long., 1988. Estructura del dosel e intercepción de luz. En: Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Scurlock. J. M., S. P. Long, D. O. Hall, and J. Coombs (editores). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp 334-41.
- Pearce, R. B., R. H. Brown and R. E. Blaser., 1967. Photosynthesis in plant communities as influenced by leaf angle. *Crop Science* 7:321-324.
- Pearce, B. D., R. Y. Grange and K. Hardwick., 1993. The growth of young tomato fruit I: Effects of temperature and irradiance on fruit growth in controlled environments *Journal of Horticultural Science* 68(1):1-11.
- Picken, A. J. A. F., 1984. A review of pollination and fruit set in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Horticultural Science* 59(1):1-13.

- Picken, A. J. F., K. Stewart and D. Klapwijk., 1986. Germination and vegetative development  
In: The tomato crop. Atherton, J. G. and J. Rudich (editores). Chapman and Hall.  
Londres, Inglaterra. pp. 110-166.
- Ponce, O. J., 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en  
jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en Hidroponía. Universidad Autónoma  
Chapingo, Departamento de Fitotecnia Chapingo México (tesis profesional) 96 pp.
- Resh, H. M., 1992. Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España (tercera  
edición) 369 pp.
- Rodríguez, R. R., R. Tabares J. y S. Medina J., 1984. Cultivo moderno del tomate. Ediciones  
Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 pp.
- Romero, F. e. Y G. Díaz., 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.  
C.P. CREDIDATH. 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. Universidad  
Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. (tesis  
profesional) 94 pp.
- Russell, C. R. and D. A. Morris., 1982. Invertase activity, soluble carbohydrates and  
inflorescence development in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Annals of  
Botany 49:89-98.
- 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.) Annals of Botany 52:357-363.

- SAGAR, 1996. Boletín mensual de información básica del sector agropecuario y forestal. Abril 1996. Pag. 165. México.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross., 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. México, D. F. 759 pp.
- Sánchez, Del C. F., 1994. Relaciones entre fuente y demanda en jitomate manejo con despuntes y altas densidades de población. Colegio de Postgraduado. Montecillos, México. (Tesis de Maestría en Ciencias).
- Sánchez, Del C. F. y E. Escalante R., 1989. Hidroponía: un sistema de producción. UACH chapingo, México (tercera edición) 194 pp.
- Sánchez, Del C. F., P. Espinosa R. y E. Escalante R., 1991. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Hidroponía bajo invernadero. Avances de investigación. Revista Chapingo 78:62-68
- Sánchez, Del C. F. y T. Corona, S., 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., 1997. Valoración de Características para la Formación de un Arquetipo de Jitomate Apto para un Ambiente no Restrictivo. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. 189 pp. (Tesis de Doctor en Ciencias).
- Sánchez, Del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V. and Bustamante, O. J., 1998. Physiological and agronomical parameters of tomato in two new production systems. Fitotecnia Mexicana Vol. 21(1):1-13.

- Sánchez, Del C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. C.; González, H. V. A. y Colinas, L. M. T., 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* Vol 33(1):21-29.
- Sánchez-Román B. F., 1981. *Hidroponia en Quintana Roo*. México, D.F. (inédito). 78 pp.
- SARH., 1993. *Anuario Estadístico de Producción*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México D.F.
- Scurlock, J. M., S. P. Long, D. O. Hall and J. Coombs (editores), 1988. *Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 258 pp.
- Serrano, C. Z., 1979. *Invernaderos: instalación y manejo*. Ministerio de Agricultura. Madrid, España. 445 pp.
- Sholto, D. J., 1976. *Advanced guide to hydroponics*. Drake Publishers, Inc. New York. USA. 333 pp.
- Sonnewald W. And L. Willmitzer., 1992. Molecular approaches to sink-source interactions. *Plant Physiology* 99:1267-1270.
- Taylor, Y. B., 1986. Biosystematics of the tomato. In: *The tomato crop*. Atherton, J. G. And J. Rudich (editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 1-34.

- Ucán, Ch. I. 1999. Efecto del Manejo de Relaciones Fuente-Demanda sobre el Tamaño del Fruto en Jitomate. Departamento de Fitotecnia UACH. Chapingo, Méx. 92 pp. (Tesis de Maestría en Ciencias).
- Van de Voren, J; G. W. H. Welles and G. Hayman., 1986. Glasshouse crop production. En The tomato crop. Atherton, J. G. And J. Rudich (editores). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. pp. 582-624.
- 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.
- Villareal, R., 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 184 pp.
- Vriesenga, J. D. And Honma., 1974 a. Inheritance of tomato inflorescence. Journal of Heredity 65:443-47.
- Walker A. J. y H M. Thomley, 1977. Tomato fruit: Import, growth, respiration and carbon metabolism at different fruit sizes and temperatures. Annals of Botany 41:977-985.
- Walker, A. J. and L. C. Ho., 1977. Carbon traslocation in the tomato: Carbon import and fruit growth. Annals of Botany 41:813-823.
- Warren, W. J.. Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. Annals of Botany 48:507-512.
- Wittwer, S. and S. Honma., 1979. Greenhouse tomatoes, lettuce and cucumbers. Michigan State University Press. EUA. 225 pp.