

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**DENSIDADES, ARREGLOS DE PLANTACION Y
NIVELES DE DESPUNTE EN JITOMATE CULTIVADO
EN HIDROPONIA BAJO INVERNADERO**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

**P R E S E N T A :
MIGUEL JORGE SANTOS**

CHAPINGO, MEX., NOVIEMBRE 1999



910991

**DENSIDADES, ARREGLOS DE PLANTACIÓN Y NIVELES DE DESPUNTE
EN JITOMATE CULTIVADO EN HIDROPONIA BAJO INVERNADERO**

Tesis realizada por **Miguel Jorge Santos** bajo la dirección del
comité asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptado como requisito
parcial para obtener el grado de :

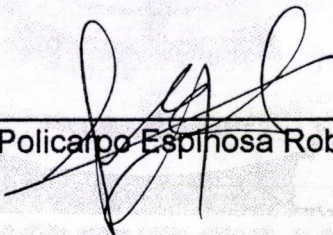
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



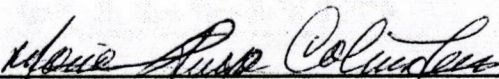
Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR:



M.C. Policarpo Espinosa Robles

ASESOR:



Dra. María Teresa Colinas León

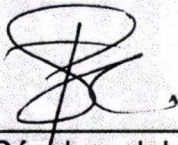


HORTICULTURA
posgrado
universidad autónoma chiapaneca

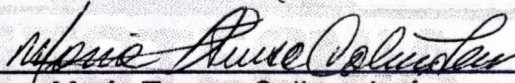
A-35146

DENSIDADES, ARREGLOS DE PLANTACIÓN Y NIVELES DE DESPUNTE
EN JITOMATE CULTIVADO EN HIDROPONIA BAJO INVERNADERO

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Miguel Jorge Santos** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:

PRESIDENTE: 
Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR: 
M.C. Policarpo Espinosa Robles

ASESOR: 
Dra. María Teresa Colinas León



DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis nació en Chacotla, Municipio de Mochitlán, Estado de Guerrero, México; el 15 de octubre de 1956, de 1977 a 1982 realizó sus estudios Profesionales en el "Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero", ubicado en Iguala, Gro., en la Carrera de Ingeniero Agrónomo en la Especialidad de Fitotecnia. Obtuvo el título con la tesis intitulada "Ensayo preliminar para evaluar el efecto de las aplicaciones de estiércol y fertilizantes en maíz (*Zea mays*) en suelos de lomerío".

En el aspecto Profesional ha desarrollado las siguientes actividades:

- Promotor de Organización Agraria, en la Secretaria de la Reforma Agraria en Guerrero (1983-1984).
- Como docente en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario 191, dependiente de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (1985-1991).
- Funciones Administrativas en la Coordinación Estatal de la DGETA en Guerrero, como encargado del Area de Producción y Vinculación con el Sector Productivo (1992-1997).

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, por darme la oportunidad de realizar los estudios de Maestría.

Al Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica, por el apoyo económico otorgado para concluir los estudios del programa de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo y en particular al Departamento de Fitotecnia por brindarme la oportunidad y las facilidades de realizar los estudios de Maestría.

Al Dr. Felipe Sánchez del Castillo por sus valiosos consejos y apoyo en la planeación, elaboración y realización del presente trabajo.

A la Dra. Ma. Teresa Colinas León, por su importante asesoría y conocimientos recibidos.

Al M.C. Policarpo Espinosa Robles, por el asesoramiento y aportaciones en la realización de este trabajo y la amistad brindada.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego por su apoyo y facilidades otorgadas para la culminación del trabajo de tesis.

Al M.C. Tomás Corona Sáez, por su Asesoría en la parte Estadística de la Investigación.

Al Sr. Antonio Junco Naranjo, por las facilidades otorgadas para realizar el experimento en sus instalaciones.

A todos los Maestros de la Universidad Autónoma Chapingo, que directa o indirectamente intervinieron en mi formación con sus conocimientos consejos y experiencias.

Al Ing. Abel Muñíz Vidals compañero y amigo, por el apoyo brindado en la realización del experimento.

A todos mis compañeros y amigos con los cuales compartí tristezas y alegrías.

DEDICATORIAS

Con mucho amor y fe a dios por darme la fuerza y voluntad para seguir adelante.

Con mucho amor a mi esposa Ma. Del Socorro, por su cariño, sacrificio, apoyo y comprensión.

Con el mismo amor a mis hijas, Nalleli, Itzel, Coral y Monserrat.

Con todo cariño a mis padres Benita e Inocente por su gran apoyo.

A mis Hermanos, Gaudencio, Emilia, Teresa y Gregoria por su confianza.

A mis sobrinos como un ejemplo de superación personal.

CONTENIDO

	Página
ÍDICE DE CUADROS	Xi
ÍNDICE DE FIGURAS	Xiv
RESUMEN	Xv
ABSTRACT	Xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	6
III. REVISIÓN DE LITERATURA	9
3.1. Origen, Clasificación e importancia del jitomate	9
3.1.1. Origen	9
3.1.2. Clasificación taxonómica del cultivo	10
3.1.3. Importancia del jitomate	10
3.2. Características botánicas del cultivo	13
3.3. Temperatura	16
3.4. Humedad relativa	17
3.5. Radiación solar.	18
3.6. Area foliar e índice de área foliar	22
3.7. Hidroponia	27

Página

3.8. Producción de jitomate en un sistema hidropónico bajo invernadero	31
3.9. Densidades	33
3.10. Podas y despuntes en plantas de jitomate	38
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1. Ubicación del experimento	44
4.2. Material vegetal.	45
4.3. Semillero.	45
4.4. Desinfección de sustrato	47
4.5. Trasplante	47
4.6. Descripción de tratamientos y diseño experimental	48
4.7. Riego y solución nutritiva	51
4.8. Tutorio	53
4.9. Podas y despuntes.	54
4.10. Control de Plagas y enfermedades	54
4.11. Variables a evaluar	56
4.11.1. Variables morfológicas	56
4.12.2. Estructura del follaje y RFA	56
4.11.3. Rendimiento y sus componentes	59

	Página
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
5.1. Variables morfológicas	61
5.1.1. Diámetro de tallo	61
5.1.2. Altura de planta	64
5.2. Estructura del follaje y RFA	68
5.2.1. Área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF)	68
5.2.2. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA)	71
5.2.3. Correlaciones entre variables morfológicas	75
5.3. Rendimientos y sus componentes	77
5.3.1. Rendimiento por unidad de superficie	77
5.3.2. Distribución proporcional de fruto por su tamaño	82
VI. CONCLUSIONES	88
VII. BIBLIOGRAFÍA	90

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición y concentraciones de nutrimentos de la solución nutritiva empleada.	46
2. Descripción de tratamientos que se evaluaron en el experimento (densidades, arreglos de plantación y niveles de despunte) en jitomate bajo invernadero.	49
3. Cantidades de fertilizantes necesarios para preparar 1000 litros de solución nutritiva.	51
4. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para diámetro de tallo de plantas de jitomate en dos fechas.	61
5. Comparación de medias de tratamientos para diámetro del tallo de plantas de jitomate en dos fechas.	62
6. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para altura de plantas de jitomate despuntadas a un racimo.	64
7. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para altura de plantas de jitomate despuntado a tres racimos.	65
8. Comparación de medias de tratamientos para altura de plantas de jitomate despuntadas a un racimo.	66

Cuadro	Página
9 Comparación de medias de tratamientos para altura de plantas de Jitomate despuntadas a tres racimos.	67
10 Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para componentes del dosel de plantas de jitomate.	69
11 Comparación de medias de tratamientos para componentes de la estructura del dosel de plantas de jitomate.	70
12 Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para porcentaje de intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) en plantas de jitomate.	72
13 Comparación de medias de tratamientos para intercepción de radiación fotosintéticamente activa en plantas de jitomate.	73
14 Coeficientes de correlación (Pearson) entre indicadores de la estructura del dosel para los 9 tratamientos (densidades, arreglos y despuntes de plantas de jitomate).	76
15 Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para rendimiento y sus componentes en jitomate.	78
16 Comparación de medias de tratamientos para rendimiento por unidad de superficie y sus componentes en jitomate.	79

Cuadro	Página
17 Comparación de medias, para rendimiento y sus componentes, considerando los tratamientos donde las plantas se podaron a un racimo.	81
18 Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia en la clasificación de frutos de jitomate por su tamaño.	83
19 Comparación de medias de tratamientos para tamaño de frutos por unidad de superficie en jitomate.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1 Distribución de tratamientos descritos en el Cuadro 2, en un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones, para su evaluación bajo invernadero.	50
2 Esquema de los nueve tratamientos evaluados según su arreglo, distribución y nivel de despunte en plantas de jitomate.	55
3 Criba de madera usada para la clasificación del tamaño de los frutos de jitomate.	59
4 Comparación de medias de tratamientos para RFA interceptada por el dosel de las plantas de jitomate en diferentes fechas.	74
5 Comportamiento porcentual del tamaño de frutos de jitomate por unidad de superficie útil.	85
6 Rendimiento porcentual acumulado por corte en el cultivo de jitomate.	86

RESUMEN

El experimento se realizó de julio a diciembre de 1998, en un invernadero de vidrio en Cuahutlalpan, Edo. de México. Se utilizó como sustrato arena de tezontle rojo irrigado con una solución nutritiva balanceada. El objetivo del experimento fue comparar el comportamiento de diferentes densidades de población (6, 12, 16, 20, 25 y 36 pl·m⁻²), distribución de plantas (una o dos plantas por mata, en 2, 3, 4, 5 o 6 hileras) y niveles de despunte dejando 1, 2 ó 3 racimos por planta, en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Conteza, buscando incrementar el rendimiento por unidad de superficie sin afectar el tamaño y peso medio de frutos. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y una unidad experimental de dos m². Los resultados obtenidos mostraron que el arreglo de 25 plantas por m² distribuidas en 5 hileras, donde la primera y quinta hilera se despuntaron a un racimo, la segunda y cuarta hilera a dos racimos y la tercera a tres racimos, formaron un dosel piramidal del cual se obtuvo el más alto rendimiento por m² (25.54 kg), el mayor número de frutos por m² (219) y un peso medio de frutos de 116 g. El rendimiento más bajo (17.78 kg) correspondió al tratamiento con menor densidad de población (testigo). En los tratamientos donde se colocaron dos plantas por mata en altas densidades (36 pl·m⁻²) despuntadas a un racimo, se presentó una menor elongación y menor diámetro de tallo, que al trasplantar una planta por golpe a la misma densidad o a una densidad menor (25 pl·m⁻²); sin embargo esto no causó efecto negativo sobre el rendimiento.

Palabras clave: hilera, planta, dosel, piramidal, racimo y rendimiento.

ABSTRACT

The experiment was carried out from July to december 1998, in a glasshouse located in Cuahutlalpan, State of Mexico. Red tezontle sand was used as sustrate and it was irrigated with a balanced nutnent solution. The objetive of the experiment was to compare the behavior of plants at different population densities (6, 12, 16, 20, 25 and 36 pl·m⁻²), distributions (one or two plants per site of plantation in 2, 3, 4, 5 or 6 rows) and levels of topping leaving one, two of there clusster per plant in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Conteza, aiming to increase the yield per unit area without affecting the mean size and weight of fruit. A randomized block design with four replications was used with an experimental unit of 2 m². The results showed that the manage plants at a density of 25 per m², distributed in five rows forming a pyramidal canopy, where the first and the fifth rows were topped to one cluster per plant, the second and fourth row to two clusters and the third (central) row to three clusters per plant reached, the highest yield per m² (25.54 kg), the highest number of tomatoes per m² (219), and an average weight of tomatoes of 116 g. The lowest yield (17.78 kg) was obtained with the control wich had the lowest of population density. Higher elongation of plants lower and diameter of the stems were obtained in the treatment where two plants per plantation site high density (36 pl·m⁻²) and topped to leave just one cluster per plant were placed, when compared witch plants of at the same density and topping level but trasplanted at one plan per plantation site or to a minor density (25 pl·m⁻²). However, this did not cause a negative affect over the yield.

Key words: row, plant, canopy, pyramidal, clusster and yield .

I. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en México tiene un desarrollo lento en comparación con la demanda de la población; esto se debe principalmente a la interacción de factores: naturales, económicos, sociales y políticos. Dentro de los factores naturales que limitan la agricultura convencional; quizá el principal es el topográfico debido a lo accidentado de los terrenos y a un alto porcentaje de suelos erosionados que en su mayoría son de temporal, aunado a esto existe el minifundismo; por otra parte se tiene que los suelos aptos para la agricultura presentan problemas de agua insuficiente para su óptima explotación y en ocasiones se tienen problemas de cambios bruscos de temperatura que limitan la agricultura convencional.

Otro aspecto que agudiza el problema es el mal manejo del suelo; esto ocasiona que la superficie cultivada disminuya año tras año debido a la erosión, salinidad, acidez y alcalinidad de los suelos, dando como resultado que la agricultura convencional no produzca la demanda creciente del país y en consecuencia se tengan que importar productos agrícolas, esto implica que haya desempleo, subocupación del campesino y en consecuencia tiende a emigrar a las principales ciudades del país, a las regiones agrícolas más

desarrolladas o inclusive al extranjero en busca de mejores alternativas de vida, ocasionando el abandono del campo.

Ante esta problemática es necesario desarrollar técnicas de producción que se adecuen a las diferentes condiciones actuales, económicas, políticas y sociales de las diferentes regiones del país, que permitan reactivar e impulsar la agricultura. Una alternativa que merece atención, es la agricultura protegida que involucra entre otras tecnologías el uso de invernaderos y los sistemas hidropónicos, que permiten un adecuado control y manejo de los factores que limitan la productividad como son: luz, temperatura, viento, CO₂, humedad relativa, plagas, enfermedades y malezas.

Debido a la elevada inversión que implica la instalación de la agricultura protegida, la rentabilidad económica se restringe a cultivos de alto valor en el mercado como son algunas especies olerícolas y florícolas, donde se hace un manejo eficiente de espacio y tiempo para alcanzar la máxima productividad, entendiendo a esta como el rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo ($\text{kg m}^{-2}\text{año}^{-1}$).

Dentro de los cultivos olerícolas el jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), es el que más se cultiva y el que ha dado más altos rendimientos y rentabilidad bajo esquemas de producción en hidroponía e invernadero a nivel comercial en el mundo y en México (Sánchez, 1997).

Según estadísticas de la FAO (1996a), en campo y a cielo abierto el jitomate es la hortaliza que más se cultiva y consume a nivel mundial después de la papa, cultivándose una superficie de alrededor de tres millones de hectáreas, siendo los continentes: Asiático, Americano y Africano los principales productores.

En México el jitomate o tomate esta considerado como la segunda especie hortícola más importante por la superficie sembrada y como la primera por su valor de producción, la más importante por su volumen en el mercado nacional y la que más divisas genera por su exportación. Los principales estados productores según la SAGAR (1997) son: Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Michoacán y Morelos. A esta hortaliza de fruto se le encuentra en los mercados durante todo el año, y se le consume tanto fresca como procesado (puré), siendo una fuente rica en vitaminas y minerales.

Buscando una mejor alternativa accesible para la mayoría de los productores que les permita hacer una explotación intensiva, el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en 1986 inició una línea de investigación titulada "Producción superintensiva de jitomate en hidroponia bajo condiciones de invernadero rústico", con la finalidad de generar tecnología que permita producir al menos cuatro ciclos de cultivo por año en forma redituable, que sea relativamente fácil de ser adoptada y llevada a la práctica por productores minifundistas que cuentan con superficies pequeñas (500 m²) y

con la cual podrán generar un ingreso lo suficientemente elevado para cubrir las necesidades básicas para su familia. Aplicando este paquete a una escala mayor, se pretende generar fuentes de empleo de mano de obra no calificada y la posibilidad de generar divisas para el país mediante la exportación (Sánchez *et al.*, 1991).

Después de varios trabajos de investigación realizados por Cansino *et al.* (1991); Castro (1992); Sánchez (1994); Sánchez y Corona (1994); Ponce (1995); Contreras, (1996); Sánchez (1997); Ponce (1998); Ucan (1999); entre otros, realizaron investigaciones encaminadas a definir una nueva tecnología de producción intensiva de jitomate en hidroponía, que consiste en despuntar (eliminar la yema apical) las plantas a una, dos o tres inflorescencias (racimos florales) por planta, eliminando también todos los brotes laterales que emite la planta durante su ciclo productivo; con esta práctica se pueden establecer altas densidades de población (hasta $25 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$) en vez de las 2 a $4 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ que se utilizan en los sistemas convencionales; esto conlleva: a establecer más ciclos por año, concentrar la producción para aprovechar las ventanas de mercado, donde el fruto se cotiza a un buen precio, además se tienen menos problemas fitosanitarios debido a que disminuye el ciclo del cultivo y en consecuencia el costo de producción.

Este sistema de producción de jitomate se ha validado con productores y se ha estado aplicando en forma comercial en varias empresas, por ejemplo:

“Complejo Agrícola de Morelos 2001”, en Ocuituco (6.5 hectáreas); “Sol y Plantas” localizado en Tetecalita, Morelos (0.5 hectárea); “Industrial Agropecuaria Junco”, en Texcoco, Edo. de México (1 hectárea); “Rancho Cartujano” ubicado en Cadereyta, Querétaro (1.0 hectárea) e “Hidroponia Tepetlaxtoc”, en Tepetlaxtoc, Edo. de México (0.7 hectárea).

Con la finalidad de mejorar aún más la productividad del paquete tecnológico, desarrollado en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en el presente trabajo se evaluaron seis densidades, dos arreglos de plantación colocando 1 ó 2 plantas por mata, distribuciones de plantas en 2, 3, 4, 5 ó 6 hileras y la combinación de niveles de despunte a 1, 2 ó 3 racimos por planta; para cosechar un mayor número de racimos por unidad de superficie sin afectar la calidad del fruto y concentrar la producción en un menor tiempo, se utilizó el híbrido Conteza cuyo hábito de crecimiento es determinado.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo central del presente trabajo de investigación fue comparar diferentes densidades de población, distribuciones de plantas, y niveles de despunte, con relación al rendimiento por unidad de superficie y sus componentes (número de frutos por unidad de superficie y peso medio de fruto) en el cultivo de jitomate (cv. Conteza), manejado en condiciones de invernadero e hidroponia.

Particularmente se buscó:

1. Determinar la factibilidad de incrementar la densidad de plantas por metro cuadrado, para aumentar el rendimiento por unidad de superficie, sin afectar de manera importante el tamaño y peso del fruto, en un híbrido de crecimiento determinado.
2. Comparar el rendimiento por unidad de superficie, entre densidades de 25 y 36 plantas por metro cuadrado de superficie útil, podadas a un racimo.

3. Comparar el rendimiento por unidad de superficie y sus componentes, a una misma densidad de población, pero con diferente arreglo y distribución de plantas.
4. Definir la mejor combinación de densidad, arreglo, distribución de plantas y nivel de despunte, para optimizar el aprovechamiento de la radiación fotosintéticamente activa para un mayor rendimiento.
5. Determinar el aumento en rendimiento por unidad de superficie que se puede lograr mediante incrementos del índice de área foliar y del número de racimos por metro cuadrado, logrados a través de doseles piramidales, formados con hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos(1, 2 ó 3 racimos/planta); a una densidad de 25 plantas por metro cuadrado de superficie útil.

Las hipótesis que sirvieron como punto de partida de la investigación fueron las siguientes:

1. A medida que se incrementa el número de racimos permitidos por unidad de superficie (a través de manejo de densidades, distribución de plantas y niveles de despunte o configuración del dosel) entre 25 y 45 racimos por m² se aumenta el rendimiento por unidad de superficie.

2. Si se mantiene el mismo número de racimos por unidad de superficie por ciclo, la productividad aumenta con los tratamientos de plantas en alta densidad, podadas a 1, 2, ó 3 racimos por planta, debido a que se obtiene el mismo rendimiento por unidad de superficie, en menos tiempo que con plantas a baja densidad, pero dejando varios racimos por planta.
3. En los tratamientos manejados a la misma densidad y nivel de despunte, se obtiene un rendimiento por unidad de superficie diferente, en función de las distintas distribuciones de plantas.
4. El aprovechamiento de la radiación fotosintéticamente activa en altas densidades de población, es mejor cuando se manejan cinco hileras de plantas con una combinación de despuntes (a uno, dos y tres racimos por planta) formando un dosel piramidal que al manejar la misma distribución de plantas pero despuntadas a un racimo (dosel uniforme) con un índice de área foliar similar, esto se manifiesta en un mayor rendimiento por unidad de superficie, sin afectar la calidad de fruto.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Origen, clasificación e importancia del jitomate

3.1.1. Origen

El jitomate es una planta de América intertropical, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú), donde se encuentra una gran variabilidad genética y abundancia de genotipos silvestres. A pesar de esto se cree que la domesticación del jitomate ocurrió fuera de su centro de origen y fue realizada por los primeros pobladores de México, de aquí se introdujo a Sudamérica y se considera que Hernán Cortés introdujo esta planta a España de donde se difundió a casi toda Europa y Asia (González, 1991 y Nuez, 1995).

El jitomate cultivado pertenece a la especie *Lycopersicon esculentum* Miller; el género *Lycopersicon* es relativamente pequeño dentro de la familia Solanacea, ya que la conforman sólo ocho especies: *L. esculentum* Mill., *L. pimpinellifolium* Mill., *L. cheesmanii* Riley, *L. parviflorum*, *L. chmielewskii*, *L. hirsutum*, *L. Chilense* Dun. y *L. Peruvianum* (Taylor, 1986; González, 1991; Nuez, 1995).

3.1.2. Clasificación taxonómica del cultivo

Reino ----- Vegetal
División ----- Tracheophyta
Subdivisión ----- Pteridofita
Clase ----- Angiospermae
Subclase ----- Dicotyledoneae
Grupo ----- Mettachlamydae
Orden ----- Solanales
Familia ----- *Solanaceae*
Género ----- *Lycopersicon*
Especie ----- *esculentum*

3.1.3. Importancia del jitomate

El jitomate es la hortaliza que más se cultiva y se consume en el mundo, según la FAO (1996a), en este año la superficie cultivada de jitomate a nivel mundial fue de 3,094,000 hectáreas, siendo el continente Asiático, Europeo, Africano y Americano los principales productores. En ese mismo año en México se sembraron ochenta y seis mil hectáreas.

Rodríguez *et al.* (1989) mencionan que los principales países consumidores de jitomate son: España donde un habitante consume 31.8 kg

por año, mientras que en Estados Unidos el consumo es de 25.5 kg; existiendo un importante mercado para exportar, sobre todo en este último país y Canadá, donde están dispuestos a pagar muy buenos precios a cambio de calidad y sanidad, ambas condiciones se pueden cumplir más fácilmente en un sistema hidropónico.

Villarreal (1982) menciona que la importancia que tiene el jitomate como cultivo es muy importante, principalmente en los países tropicales, entre los que se encuentra México, debido a que el cultivo presenta como ventajas: La de generar empleos en el campo, por la demanda de un gran número de jornales por hectárea; por su comercialización en el mercado extranjero y ser una fuente importante de divisas; su explotación es redituable aún en pequeñas superficies; el fruto es muy rico en vitaminas y minerales lo que lo hace muy importante en la nutrición humana.

En México, el cultivo de jitomate representa una de las fuentes de empleo rural más importantes, debido a la gran cantidad de mano de obra que se utiliza en su proceso productivo y de empaque. Muñoz *et al.* al. (1995) mencionan que de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda de 1990, se emplearon aproximadamente 172,289 jornales para el cultivo de 75,000 hectáreas de jitomate durante ese año.

El jitomate en México es la principal hortaliza que se cultiva, ocupando una mayor superficie, la más importante por su volumen en el mercado nacional y la que más divisas genera por su exportación. Los principales estados productores son: Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí y Morelos. En 1997 se sembraron 71,967 hectáreas y la producción alcanzó la cantidad de 1,923,869 toneladas (SAGAR, 1997). Los principales mercados para la exportación del país son Estados Unidos y Canadá. Según la FAO (1996b) el volumen exportado fue de 683,903.95 toneladas, correspondiendo en su mayoría a los Estados Unidos; el valor de las exportaciones de jitomate alcanzó un monto de 539,447,000 dólares lo que corresponde al 10 % del valor total de las exportaciones agropecuarias del país en el mismo año.

El jitomate se encuentra durante todo el año en el mercado, debido a que es un producto de la canasta básica de los hogares mexicanos, por ser una fuente rica en vitaminas (Valadez, 1990).

Actualmente la producción de hortalizas de invernadero en México, con tecnología moderna como la de los sistemas hidropónicos, se ha colocado rápidamente en una inmejorable posición para competir en los grandes mercados, ocasionando que en menos de cinco años la superficie para cultivo hidropónico de hortalizas haya rebasado las 150 hectáreas, lo cual representa el 20% de la superficie total de Norteamérica; estos se ubican en su mayoría en los estados de Baja California, Sonora, Querétaro, este auge se debe a los

elevados precios que se pagan por los frutos cultivados bajo este sistema, ocasionando el surgimiento de numerosas empresas enfocadas a la exportación o a mercados selectos del país. De Santiago (1997) cita a 13 de estas empresas, entre las que destacan: Agrícola ABC, Agrícola Bátis, Complejo Agrícola de Morelos 2001; En esta ultima empresa se aplican paquetes tecnológicos generados en la Universidad Autónoma Chapingo, basados en despuntes tempranos y en el manejo de altas densidades.

3.3. Características botánicas del cultivo

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo, que se cultiva en forma anual. La planta puede desarrollarse en forma rastrera, semi-erecta o erecta y el crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las variedades indeterminadas, esta ultima en un año pueden alcanzar 10 metros de altura (Rick, 1975 citado por Nuez, 1995).

La raíz principal de la planta es de tipo pivotante y simultáneamente se forman raíces secundarias y adventicias que forman una masa densa, profundizan más en el suelo cuando la siembra se hace en forma directa, esto ocasiona que las plantas sean más resistentes a la sequía que las que se trasplantan, el 75 % del sistema radical se forma a 45 cm (Guenkov, 1974; Rodríguez, *et al.* 1989 y Nuez, 1995).

El tallo en su primera etapa de crecimiento es erguido, pero a medida que crece se dobla, debido a que es poco consistente, es anguloso y provisto de tricomas y glándulas que segregan una sustancia con un olor muy característico, puede ser de crecimiento determinado e indeterminado llegando a alcanzar 2.5 metros de altura y un diámetro en la base del tallo de 2 a 4 cm; hasta la primera inflorescencia el tallo es monopódico, de allí empieza a ramificar (Maroto, 1992 y Nuez, 1995).

Las dos primeras hojas de la planta son simples y las demás compuestas septadas hasta llegar a las imparipinadas con 7 a 9 foliolos, se distribuyen en el tallo con una filotaxia de 2/5 en espiral, son pecioladas y contienen de 4 a 6 foliolillos intercalados entre los foliolos; secretan también la sustancia olorosa que presenta el tallo (Maroto, 1992 y Nuez, 1995). La forma de las hojas del jitomate es muy variable y depende en gran parte de las condiciones ambientales. La lamina está dividida en pares de segmentos o foliolos de diferente tamaño, cuyo número varía de dos a doce; con frecuencia entre dos pares de foliolos grandes hay de dos a tres pares de más pequeños, y en todos ellos los bordes son muy recortados. (González, 1991).

Las flores están agrupadas en racimos simples o ramificados; donde se pueden llegar a tener de 3 a 10 flores. La flor es hermafrodita consta de un pedicelo corto, un cáliz gamosépalo con seis lóbulos profundos; corola gamopétala con cinco o más lóbulos; el androceo tiene cinco ó más estambres

adheridos a la corola; el gineceo presenta de 2 a 9 carpelos que al desarrollarse darán origen a los lóculos del fruto, el pistilo presenta ovario supero con estilo liso y estigma achatado. En las variedades de crecimiento determinado, el primer racimo se forma después de 6 ó 7 hojas y en las de hábito indeterminado entre 7 y 10 hojas (Guenkov, 1974; Maroto, 1992; González, 1991 y Pérez, 1997).

El fruto es una baya carnosa de color variable que va de amarillo a rojo, se desarrolla a partir de un ovario de unos 5 a 10 mg y alcanza un peso final de 15 a 500 gramos, en función de la variedad y las condiciones en que se desarrolla. Esta constituido básicamente por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. El pericarpio lo componen la pared externa, radiales o septos que separan los lóculos y la parte interna o columela. Una fuerte cutinización del fruto puede ser la causa de la resistencia al rajado de algunos cultivares (Nuez, 1995). El mismo autor menciona que el tiempo necesario para que un ovario fecundado se desarrolle a un fruto maduro es de 7 a 9 semanas en función del cultivar, la posición en el racimo y las condiciones ambientales.

Las semillas son de color grisáceo, de forma oval, planas que miden de 3 a 5 milímetros de diámetro, cubiertas de vellosidades y pequeñas escamas, formadas por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal; en un gramo podemos encontrar alrededor de 300 a 350 semillas, su poder germinativo es de 5 a 6 años con un buen manejo (Maroto, 1992 y Nuez, 1995).

3.4. Temperatura

Para la germinación de la semilla la temperatura óptima se encuentra entre 20 y 25 °C (Mobayen, 1980, citado por Nuez 1995). Para el crecimiento de la planta se ubica alrededor de 22 °C con una variación ambiental de más o menos de 7 °C, una temperatura permanente menor de 15 °C detiene la floración y una a bajo de 10 °C el crecimiento. A temperaturas mayores de 35 °C la fotosíntesis es más lenta. (Guenkov, 1974 y Marrero, 1986).

El crecimiento máximo se obtiene con una temperatura diurna de 23 °C y una nocturna de 17 °C, estos factores fluctúan en relación de la intensidad de luz, la edad y el balance de agua en la planta (Folquer, 1979 y Rodríguez *et al.*, 1989).

Según Calvert (1964) encontró que la tasa de elongación del tallo aumenta con la temperatura; el tallo se torna más delgado con una mayor proporción de parénquima y aumento del contenido de agua.

La temperatura óptima diaria para el desarrollo y color rojo del fruto de jitomate oscila entre 18 a 24 °C, cuando se supera esta temperatura un buen porcentaje de frutos presentan maduración deficiente (Casseres, 1984).

Según Gardner *et al.* (1985), la fijación de CO₂ es una reacción controlada enzimáticamente y aumenta exponencialmente con incrementos en la temperatura, hasta que la temperatura alcanza un nivel que provoca la desnaturalización enzimática. La tasa de respiración y la fotorrespiración también se incrementan exponencialmente con la temperatura, lo que ocasiona que haya mucho menos respuesta en la tasa de fotosíntesis neta en plantas C₃, dado que también está enzimáticamente controlada, lo que redundará en menores tasas de fotosíntesis neta para especies C₃ que para C₄ a temperaturas relativamente altas (30 a 40 °C).

3.5. Humedad relativa

Guenkov (1974) señala que la humedad relativa favorable para el cultivo de jitomate, oscila alrededor del 50 al 60%, debido a que cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse y caer sobre el estigma, y en consecuencia no hay formación de fruto. En cambio Rodríguez *et al.* (1989) indica que la humedad relativa ideal para el cultivo de jitomate para invernadero es de 60 a 70%, los excesos se pueden controlar con ventilación, aumentando la temperatura y controlando los riegos; mientras que la falta de humedad se controla con la frecuencia de riegos o con nebulización de agua dentro del invernadero.

Cuando el ambiente dentro del invernadero es muy seco los órganos femeninos de la flor se desecan y por ello no se produce la fecundación y a la inversa en ambiente muy húmedos se ocasionan el apelmamiento de polen lo que trae consigo fallas en la fecundación (Nuez, 1995).

3.6. Radiación solar

Según Ramos y Rallo (1992), la agricultura es básicamente un sistema de explotación de la energía solar, que utilizando el CO₂ atmosférico a través del proceso de fotosíntesis, conduce a la producción de biomasa, siendo una fracción de la misma el producto cosechable habitual. El rendimiento final de un cultivo depende fundamentalmente de tres factores: la intercepción de la radiación solar a lo largo del ciclo del cultivo por los órganos fotosintéticos de las plantas, la eficiencia con la que esta radiación interceptada es utilizada para producir biomasa y la fracción de esta biomasa total que se destina a los órganos cosechables.

La luz se define como energía electromagnética propagada en corpúsculos discretos llamados quanta o fotones. Esta energía de luz generalmente se describe en términos de kilocalorías por mol de quantum o por "Einstein" (1 mol quantum o 1 Einstein = 6.02×10^{23} quanta) (Bidwell, 1993).

Entre el 41 y el 50 % de la radiación que atraviesa la atmósfera y llega a la superficie de la tierra procedente del sol, es luz visible, con longitudes de onda entre 400 y 700 nm son las más eficientes para la fotosíntesis y entre un 5 a 9 % es considerada radiación de onda corta (principalmente ultravioleta) con longitudes de onda menores de 300 nm, la medición de la radiación es expresada como radiación fotosintéticamente activa (RFA) o flujo de fotones fotosintéticos (FFF). El sistema internacional de unidades utiliza el término $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (micromoles de fotones incidentes por metro cuadrado por segundo). Como referencia un mol de fotones es equivalente al número de Avogadro (Gardner *et al.*, 1985).

Las plantas desarrollan respuestas a las condiciones promedio de radiación, así las plantas adaptadas a sombra desarrollan superficies foliares delgadas pero extensas y con alta concentración de clorofila, mientras que las expuestas a fuerte radiación desarrollan varias capas de mesófilo y células con abundantes cloroplastos en sus hojas, lo que da como resultado que produzcan mayor cantidad de materia seca, con un alto contenido energético; en cambio las plantas adaptadas a sombra presentan reducida producción de materia seca, especialmente deficiente síntesis de proteína (Larcher, 1980).

Conforme se incrementa gradualmente el nivel de luz (intensidad o irradiancia según las unidades que se manejen) la fotosíntesis se va incrementando hasta alcanzar el punto de compensación por luz. Si la

intensidad luminosa sigue aumentando hay un incremento de la tasa de fotosíntesis neta, pero, después de cierto punto, hay cada vez menos incremento en la tasa de fotosíntesis neta por cada unidad que aumenta la intensidad luminosa o irradiancia fotosintética, hasta que se alcanza el punto de saturación por luz. Cualquier incremento de intensidad de luz después del punto de saturación ya no incrementa significativamente la tasa de fotosíntesis neta (Hall y Rao, 1977 y Gardner *et al.*, 1985).

En cualquier ambiente la irradiancia varía dentro de una misma cobertura vegetal del 80 a 90 % de flujo fotonico fotosintético (FFF) lo absorbe una hoja representativa del dosel, variando este porcentaje de acuerdo a la edad y estructura de la hoja; en general se refleja un 10 % y se trasmite un 5 a 10 % (Salisbury y Ross, 1992).

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 interceptan luz a una irradiancia media; es decir, cuando la distribución de luz sea más uniforme en el dosel.

Según Donald (1968) para una misma irradiancia fotosintética se puede lograr una mayor tasa de fotosíntesis del dosel o tasa de asimilación neta, si un alto porcentaje de las hojas es iluminado 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.

La planta de jitomate es exigente en cuanto a radiación solar, cuando se desarrolla en épocas o condiciones de baja irradiancia, el ciclo vegetativo se prolonga significativamente, la planta se alarga y el tallo es delgado. Cuando se combinan baja irradiancia con temperatura alta, la planta llega a presentar hasta 18 hojas antes del primer racimo (Castro, 1992).

Para lograr la formación de buenos frutos de maduración precoz, se requiere como mínimo de 5,000 luxes (Shomosh y Angeli, 1956; citado por Garza, 1985 y Marrero, 1986) que equivale aproximadamente a $1000 \mu\text{mol}$ de fotones m^2s^{-1} . En cambio si el jitomate se desarrolla bajo muchos días sin sol y temperaturas bajas, el fruto es grueso y esponjoso (Casseres, 1984).

Cuando la irradiancia es igual o superior al óptimo, no afecta al desarrollo del tallo, pero para valores subóptimos, induce un aumento en la elongación del tallo a expensas de otras partes de la planta, dando lugar a tallos más delgados y débiles con una mayor proporción de tejido parenquimático (Kinet, 1977).

La tasa fotosintética de una hoja en particular depende de la edad y posición en la planta y desciende en forma muy importante al iniciarse la senescencia, aún cuando se mantengan en forma óptima las condiciones de irradiancia, temperatura, y concentración de CO₂. La actividad fotosintética no permanece constante y al cabo de 10-12 horas puede reducirse alrededor del 50%, esto se atribuye a un aumento de la fotorrespiración, al cierre de los estomas o la distorsión de los cloroplastos (Gosiewkib *et al.*1982; citado por Nuez,1995).

Papadakis (1980) señala que el resultado de una menor incidencia de radicación (por sombreamiento artificial o por muy alta densidad) sobre el desarrollo del tallo es un debilitamiento, adelgazamiento y alargamiento de éste con una mayor proporción de parénquima y menor de tejido vascular, conduciendo a menores tasas de traslocación, menor número de estructuras reproductivas y de menor peso y por lo tanto, a menores rendimientos.

3.7. Área foliar e índice de área foliar

El área foliar por planta es una medida inapropiada del follaje de todo un cultivo, por no tomar en cuenta el espaciamiento entre plantas, un factor que debe ser involucrado en la estimación, es el concepto de índice de área foliar (IAF), definido como el área foliar por unidad de área de suelo. El IAF de un

cultivo, es fuertemente influenciado por el nivel de radiación solar, así como por la temperatura y regímenes de agua y nutrimentos minerales (Hunt, 1978).

Para Pearce (1985) el IAF es la unidad del área de la superficie de la hoja (haz) por unidad de superficie del suelo, también indica que el número de hojas y tamaño son afectados por el genotipo y el medio ambiente, la posición de las hojas en la planta es controlado por el genotipo, también tiene un efecto sobre el crecimiento de la hoja y de la capacidad de responder a las condiciones imprevistas del medio ambiente.

El IAF representa el número de capas de hojas desplegadas por el cultivo, por unidad de área de suelo, expresado como un promedio para todo el cultivo. Este concepto es muy burdo, ya que las hojas no forman capas compactas una arriba de la otra, si no que las hojas se despliegan comúnmente en varios ángulos y éstos varían con la morfología de la especie y con las condiciones bajo las cuales crece el cultivo. Esto ocasiona que haya huecos en el follaje y no se presente una cobertura total ni homogénea, además de que las hojas a diferentes niveles en el dosel experimentan diferentes condiciones ambientales. A pesar de tales variaciones el IAF es un buen indicador de la superficie del follaje disponible para la captura de la radiación solar y útil para conocer el potencial fotosintético de un cultivo (Mitchell, 1970 y Hunt, 1978).

Salisbury y Ross (1992) consideran al IAF como una proporción del área de la hoja (una sola superficie) de un cultivo, respecto al área del suelo en que se sitúa el cultivo; mencionan también que es común encontrar valores de IAF hasta de 8 para muchos cultivos bien desarrollados, dependiendo de la especie y la densidad de plantación.

Durante las primeras fases del cultivo y a medida que se desarrolla el área foliar se incrementa la interceptación de la RFA, de esta manera se considera necesario un valor de IAF entre 3 y 4 para que la interceptación de la radiación sea del 95%, con los espaciamientos habituales en cultivos herbáceos (Kamgar, 1980, citado por Ranos y Rallo, 1992).

Los doseles con hojas verticales necesitan IAF mayores a 4 para sobrepasar la tasa de crecimiento del cultivo de doseles basados en hojas horizontales. A bajo IAF hay poca sombra entre hojas, de tal manera que los doseles con hojas horizontales tienen ligera ventaja sobre los basados en hojas verticales debido a mayores irradiancias en la superficie de las hojas; sin embargo, a alto IAF los doseles con hojas verticales tienen ventaja debido a que la luz está distribuida de manera más uniforme sobre el área foliar del dosel; la menor interceptación de radiación por las hojas superiores permite que un mayor porcentaje de luz sea interceptado por las hojas inferiores maximizando la fotosíntesis total del dosel (Gardner *et al.*, 1985). Este mismo autor considera que la duración del área foliar, está estrechamente

correlacionada con el rendimiento porque la intercepción de radiación solar por periodos de tiempo más prolongados significa mayor producción total de materia seca.

Autores como Loomis y Willians (1969); Monteith (1981) 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, 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 coeficiente de extinción del dosel). Los mismos autores indican que cuando la cobertura del follaje es escasa, la producción de materia seca por unidad de superficie esta limitada por la proporción de energía incidente que es absorbida por el dosel y en 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 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.

Koning (1996). Resalta 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 de materia seca demandada para el crecimiento vegetativo a un cierto IAF, y que dentro de ciertos límites al aumentar el IAF aumenta la intersección 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.

Beadle (1988) define al índice de cosecha como una expresión de la proporción de materia seca total que finalmente es traslocada al producto de interés agronómico y se obtiene como el cociente entre el rendimiento económico y la biomasa total producida o rendimiento biológico. Este índice represente la eficiencia de la canalización de biomasa hacia el rendimiento económico.

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 (Srinivasa y Bhatt, 1989 y Sánchez 1994).

Ucan (1999) al evaluar cuatro densidades (6, 8, 9 y 12 pl·m⁻²) despuntadas tres racimos, usando el cv Daniela, encontró que al aumentar la densidad de 6 a 12 pl·m⁻² disminuyó significativamente el área foliar por planta

en un 16 % ; en cambio para el índice de área foliar fue al contrario aumento en un 67 %.

3.8. Hidroponia

La hidroponia se define como una técnica de producción agrícola muy intensiva, que se caracteriza porque el sistema radicular de las plantas en vez de suelo se desarrollan en un sustrato, generalmente inerte desde un punto de vista químico, estéril desde un punto de vista biológico y regadas con una solución acuosa que contiene todos los nutrimentos esenciales en las concentraciones adecuadas y requeridas por las plantas. Aunque también las raíces de las plantas pueden desarrollarse directamente en la solución nutritiva (Sánchez y Escalante, 1988 y Resh, 1992).

Actualmente la hidroponia ha venido tomando importancia como una alternativa de producción de la agricultura moderna. Su estructura y métodos han sufrido cambios muy importantes desde la aparición de los plásticos, actualmente se le emplea con mucha frecuencia por ser una alternativa para producir cultivos de alto valor, en lugares donde las condiciones climáticas, edáficas e hídricas son limitantes; además se incrementan los ingresos por la cantidad y calidad de los productos al alcanzar un sobre precio en el mercado (Sánchez y Escalante, 1988).

La hidroponia tiene por objeto optimizar las funciones que el suelo desempeña, es decir, proporciona a las plantas un sustrato, con las condiciones más idóneas desde los puntos de vista físico, químico y sanitario; eliminando con esto la acción de todos aquellos factores que en el suelo por su naturaleza lo llevan inevitablemente a modificaciones que se traducen en las limitaciones para el desarrollo del cultivo. Los componentes de un sistema hidropónico son: planta, solución nutritiva, contenedores, sustrato, sistema de riego y drenaje (Sánchez y Escalante, 1988).

Las ventajas del cultivo en hidroponia son: una mayor eficiencia en la regulación de la nutrición su posibilidad de emplearlo en regiones carentes de tierra cultivable y la utilización más eficiente del agua y fertilizantes; permitiendo así manejar altas densidades de población (Resh, 1992).

La solución nutritiva es la disolución de diversas fuentes de fertilizantes con nutrimentos en agua, con la cual se riegan las plantas y cuya función es proporcionar los elementos requeridos en las proporciones adecuadas. Después de varias investigaciones se concluyó que no existe una solución nutritiva teórica ideal para un cultivo en particular, debido a que la concentración óptima de los elementos nutritivos para una especie vegetal en particular depende de un conjunto de factores dentro de los que destacan: la parte de la planta que se va aprovechar, estación del año, clima, calidad del agua y estado de desarrollo de la planta. Para preparar dicha solución se

disuelven sales fertilizantes en agua con los cuales se aportan todos los elementos esenciales que necesitan las plantas y así promover su desarrollo óptimo (Sánchez y Escalante, 1988).

Los contenedores son recipientes de distintos tamaños, formas y materiales, que contiene al sustrato en el que se cultivan las plantas. Pueden ser tinas de forma rectangular con una profundidad de 20 a 30 cm. con un ancho de 20 a 120 cm y con una longitud variable de 1 a 50 m o más; en escala comercial también se usan macetas o simplemente bolsas de polietileno (Sánchez y Escalante, 1988; Resh, 1992).

El sustrato es un material inerte que sirve como medio de cultivo, su función es de sustituir al suelo agrícola proporcionando a la planta las condiciones edáficas más apropiadas para su desarrollo. Existe una gran diversidad de sustratos que pueden utilizarse como medios de cultivo en hidroponia, estos pueden clasificarse de acuerdo a su origen en: orgánicos (aserrín, fibra de coco, cascarilla de arroz, turba, etc.) e inorgánicos (arena, grava, tezontle, agrolita, lana de roca, entre otros) (Resh, 1992; Serrano, 1996).

Los métodos de producción en hidroponia pueden ser abiertos o cerrados, en el primer método la solución nutritiva no se recircula y se tiene una pérdida de solución mínima; en cambio en el cerrado donde la solución

nutritiva se recircula varias veces, no se tienen pérdidas, pero se debe cuidar que la solución nutritiva mantenga la concentración adecuada de los nutrimentos. El riego en hidroponía puede ser por: inundación o vertido, aspersión, goteo, emisión localizada por microtubo, capilaridad, atomización a las raíces (aeroponía). Los sistemas hidropónicos se pueden realizar a cielo abierto cuando las condiciones climáticas sean favorables o bajo cubierta protectora como invernaderos, a fin de proporcionar las mejores condiciones ambientales posibles (Sánchez y Escalante, 1988; Resh, 1992).

Serrano (1994) define al invernadero como una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para defender a las plantas de la acción de los meteoros exteriores, el volumen interior del recinto permite el desarrollo del cultivo en todo su ciclo vegetativo, proporcionándole las siguientes ventajas: cultivar fuera de época, conseguir mayor precocidad, aumento en la producción, obtención de mayor calidad, mejor control de plagas y enfermedades, ahorro de agua de riego, sufrir menos riesgos catastróficos, trabajar con más comodidad y seguridad.

Sánchez *et al.* (1986) subrayan que en México no es necesaria la instalación de invernaderos sofisticados al estilo de los países desarrollados, pues además de que serían muy caros se debe tomar en cuenta que las condiciones climáticas del país son menos drásticas, sobre todo en bajas temperaturas. Por ello proponen el uso de invernaderos rústicos que son

relativamente baratos (para permitir la rentabilidad) diseñados de acuerdo a las condiciones climatológicas de cada región y a los factores limitantes de cada cultivo.

3.9. Producción de jitomate en un sistema hidropónico bajo invernadero

La producción de jitomate en invernadero con tecnología moderna como la de los sistemas hidropónicos donde se cultivan flores y hortalizas es ya una realidad a nivel mundial. Existen empresas en países como: Holanda, Inglaterra, Alemania, Estados Unidos, Canadá, Japón, Israel, Italia, España, Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Bahamas, Belice, Puerto Rico, Argentina e inclusive México que obtiene elevadas utilidades económicas de sus unidades que año con año se incrementan (Sánchez y Escalante, 1988 y De Santiago, 1997)

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 nutrimentos; a la ausencia de malas hierbas, al mayor control que se tiene sobre las plagas y enfermedades, al mantenimiento del pH dentro de los límites óptimos (6.0 a 6.5) una conductividad eléctrica (CE) de 1.5 a 2.5 mmhos·cm⁻², esto permite utilizar altas

densidades de población por unidad de superficie. (Nuez, 1995 y Sánchez, 1997).

Actualmente al hablar de agricultura intensiva, no solo tenemos que referirnos a los rendimientos por metro cuadrado, sino que también se deben analizar el gasto de agua en litros por hora, el consumo de nutrientes en gramos por litro, entre otros factores, para poder determinar su rentabilidad. Por ejemplo en Montreal Canadá se requiere de una producción de $50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de tomates carnosos (beef tomatoes), para poder mantener la rentabilidad del cultivo bajo invernadero; debido a las extremas condiciones del clima, los productores tienen que aplicar hasta 60 watts por m^2 y un nivel de $1,000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de bióxido de carbono en el ambiente para poder mantener los niveles de producción. En cambio en México, con rendimientos de 12 a $15 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, los productores en campo abierto obtienen una buena rentabilidad y al hablar de invernadero la producción es de $40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ y se produce con una tercera parte del costo que se tiene en los invernaderos de Montreal (Randolph, 1999).

Varios trabajos de investigación realizados por Sánchez y Román 1981 citados por Espinosa, (1996); Sánchez *et al.* (1991); Sánchez (1994), entre otros; presentan esquemas para producción continua de jitomate en hidroponia, tanto a cielo abierto (para climas tropicales) como bajo invernadero. En ellos se involucran técnicas como el trasplantar las plántulas a mayor edad, las inbricaciones de ciclos, el tutorado, los despuntes y las podas.

A través de varios trabajos de investigación, realizados en la Universidad Autónoma Chapingo se ha definido una nueva tecnología de producción de jitomate en hidroponia, que consiste en despuntar las plantas para dejar sólo una o dos inflorescencias (racimos), dejando una o dos hojas arriba de estas; eliminando todos los brotes laterales que emite la planta, antes, durante y después del despunte; posibilitando el establecimiento de altas densidades de población (hasta 25 pl-m²), permite también reducir la altura de la planta de 2 a 0.50 m, así como el área foliar por planta, se reduce notablemente la competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo, favoreciéndose este último. Con estas prácticas se logra: acortar el ciclo del cultivo de 200 a 80 días, tener un IAF óptimo que se mantiene durante todo el periodo de fructificación, obtener altos rendimiento por ciclo con frutos de buena calidad, concentrar la producción, reducir los daños por enfermedades y plagas y establecer hasta cuatro ciclos por año (Cancino *et al.* 1991; Sánchez y Corona 1994; Ponce 1995; Sánchez 1997; Ponce, 1998 y Ucan, 1999).

3.10. Densidades

La densidad de plantación del jitomate en invernadero depende del desarrollo vegetativo que tenga la planta, el números de guías que se dejen y la altura a que se despunten las guías (Serrano, 1978).

Según Gardner *et al.* (1985) Manipulando la densidad de plantas y su distribución, así como combinando técnicas como los despuntes, las podas, el tutoreo y las imbricaciones, favorecen el desarrollo de un área foliar adecuada, uniformemente distribuida para lograr una completa cobertura del suelo y tener una intercepción eficiente de energía radiante por la superficie del cultivo. El mismo autor considera que el ambiente también influye sobre la densidad óptima para rendimientos máximos. Los principales factores involucrados son: irradiancia, humedad y fertilidad del suelo. Entre más escasos son estos factores menor será la densidad a manejar y en consecuencia menor será el rendimiento.

Hernández (1989), encontró que incrementando la densidad de plantación de 19,800 a 23,000 y de ésta a 27,000 plantas por hectárea conducidas a uno y dos tallos, y el testigo (sin podar) se aumentó el número de frutos en las plantas podadas a dos tallos y en el testigos, aunque fueron de menor tamaño no causó una disminución en el rendimiento por planta. Encontró también que los mejores tratamientos para tamaño y rendimiento de fruto fueron donde las plantas se podaron a uno y dos tallos a altas densidades.

Papadopoulos y Ormrod (1990), estudiaron el efecto del espaciamiento entre plantas sobre el rendimiento de jitomate, manejando distancias entre plantas de 23, 30, 38, 45, 53 y 60 cm, se tuvieron densidades de 113,000

64,000, 53,000, 40,000, 31,000 y 25,000 plantas por hectárea respectivamente, utilizando el cv Jumbo y Ohio CR, bajo condiciones de invernadero, las plantas se manejaron a un tallo y no se despuntaron, encontraron que el rendimiento total por planta disminuyó conforme aumentaban las densidades, pero el rendimiento total por hectárea aumentaba conforme las densidades de plantas por unidad de superficie se incrementaba.

Rodríguez (1995) al establecer 10, 20, 30 y 40 mil plantas de jitomate por hectárea, podando a uno o dos tallos y sin despuntarlas, encontró que los rendimientos más altos fueron al utilizar 40 mil plantas por hectárea con poda a uno o dos tallos; obteniendo 27.05, 45.41, 88.18 y 98.97 toneladas por hectárea para plantas conducidas a un tallo y de 40.88, 83.38, 83.42 y 101.40 toneladas por hectárea respectivamente, para las conducidas a dos tallos.

Rhee *et al.* (1997) evaluaron el efecto de cuatro densidades (70 x 10, 70 x 15, 70 x 20 y 70 x 25 cm), sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de jitomate despuntadas a uno y dos racimos, en los cultivares Momotoro y Seokwang cultivados bajo invernadero. La plantación la realizaron en dos fechas: en primavera la densidad de 70 x 10 cm dio el mayor rendimiento a un racimo y las plantas tuvieron un mayor crecimiento y en el verano el mayor rendimiento correspondió a la densidad de 70 x 15 cm; en cambio para las plantas despuntadas a dos racimos la mejor densidad fue la de 70 x 15 cm, para ambas fechas.

Cancino (1991), al evaluar dos densidades de plantas (9 y 16 pl·m⁻²) despuntadas a uno, dos o tres racimos, en dos variedades de jitomate (Tropic y Ace 55 vf); observó que el rendimiento por racimo y por planta se ve disminuido en densidades de 16 pl·m⁻²; por otra parte estableció que a mayor densidad aumenta el rendimiento por unidad de superficie, lo cual es un indicio de que el grado de competencia entre plantas, no ha llegado a un punto en que éste influya negativamente en el rendimiento y calidad de los frutos. Además postula que la causa de la disminución del rendimiento por planta en densidades de 16 plantas por metro cuadrado, es el amplio dosel vegetal por unidad de superficie, que originó una mayor competencia entre plantas por la radiación incidente, lo cual provocó menor producción de asimilados por planta por día.

Castro (1992), al establecer 12 y 16 pl·m⁻² despuntadas a tres y dos racimos respectivamente, obtuvo un rendimiento promedio de 252.24 toneladas por hectárea al establecer 12 pl·m⁻², contra 320.35 toneladas por hectárea en la densidad de 16 pl·m⁻², sin embargo encontró que a medida que se incrementan las plantas por unidad de superficie, la calidad del fruto se demerita.

Hernández, (1993) al utilizar las densidades de 8, 12 y 16 pl·m⁻², podadas a 1 y 2 tallos, con despuntes a tres y dos racimos, encontró que los rendimientos por hectárea fueron mayores en las densidades altas, obteniendo rendimientos de 177.84, 191.98 y 228.16 toneladas por hectárea

respectivamente; aunque la calidad del fruto fue menor para las altas densidades.

Sánchez y Corona (1994) evaluaron cinco densidades (6, 9, 16, 20 y 24 pl·m⁻²) despuntando las plantas a una o dos inflorescencias y el testigo (sin despuntar), en cuatro variedades de jitomate (Hayslip, Florida, Floradade y Rio Grande), con la finalidad de determinar la variedad, densidad y nivel de despunte óptimo para el rendimiento. Los resultados indicaron que a mayor densidad se encontró un mayor rendimiento por m². Las densidades 20 y 24 pl·m⁻² rindieron significativamente más que las de 9 y 6 pl·m⁻², debido a que a mayor densidad de población aumentó mucho el número de frutos por m² sin disminuir significativamente el peso medio de fruto, aunque el rendimiento y número de frutos por planta fue menor.

Papadopoulos y Parashingham (1997) realizaron una revisión bibliográfica para determinar la influencia que tiene, el variar el espaciamiento entre plantas sobre la intercepción de la RFA por el dosel. Concluyeron que a una menor distancia entre plantas se tienen altas densidades por unidad de superficie y a un mayor espaciamiento ésta disminuye. En el primer caso se tuvo un mayor rendimiento de frutos por unidad de superficie, debido a que el dosel interceptó una mayor cantidad de RFA y generó una mayor cantidad de biomasa, esto se lo atribuyeron a dos factores: primero la generación de biomasa del cultivo esta asociada con un incremento en la fructificación y el segundo donde la mayor

biomasa del cultivo esta asociada con un mayor IAF con el cual se incrementa la Intercepción de la RFA, que no solo estimula el crecimiento del cultivo si no que también la disponibilidad de asimilados para los frutos.

Sánchez (1997) evaluó dos densidades de población (12 y 25 pl·m⁻²) de plantas de jitomate despuntadas a un racimo, los resultados mostraron un rendimiento significativamente mayor para la densidad de 25 pl·m⁻² con un rendimiento de 11.170 kg·m⁻² contra 6.330 kg·m⁻² de la densidad de 12 pl·m⁻²; no existieron diferencias en el peso medio de frutos en ambas densidades.

Ucan (1999) al evaluar cuatro densidades (6, 8, 9 y 12 pl·m⁻²) con despunte a tres racimos y dos niveles de poda de frutos (dejando 3 o 4 frutos por racimo) y testigo (sin poda), encontró que el rendimiento por m² fue mayor significativamente para la densidad de 12 pl·m⁻² sin poda de frutos con un rendimiento de 19.94 kg, contra 16.72, 14.50 y 12.46 kg para las densidades de 9, 8 y 6 pl·m⁻² respectivamente; en cambio en el peso medio de frutos fue a la inversa el mayor peso medio correspondió a la densidad de 6 pl·m⁻².

3.11. Podas y despuntes en plantas de jitomate

La poda de la planta de jitomate es indispensable, con el fin de mantener en los límites justos su vegetación, evitando que la savia se gaste en continuos brotes, nuevo follaje y en frutos que después no llegan a madurar. En cultivos

forzados o tempranos donde se requiere obtener frutos a la brevedad posible, es necesario que las plantas se conduzcan a un solo tallo, suprimiendo todos los brotes que emita (Tamaro, 1988 y Serrano. 1996).

Según Serrano 1978 y Rodríguez *et al.* 1989 los principales tipos de podas que se dan al jitomate son:

1. Poda a un tallo. Consiste en eliminar todos los brotes axilares del tallo principal, dejando únicamente las hojas y racimos; la altura a la que se deja crecer la planta es de dos metros.
2. Poda a dos tallo. Conocida también como poda en horqueta, consiste en eliminar todos los brotes excepto el que sale del primer racimo que se dejará como el segundo tallo principal; luego se eliminan los brotes axilares que vayan saliendo.
3. Poda Hardi. Consiste en despuntar el tallo principal por encima de la segunda o tercera hoja formada, después de la primera inflorescencia; de los brotes que aparecen en las axilas de esas dos o tres hojas, se dejan los dos o tres mejores brazos como guías, procurando que estén insertadas en el tallo principal en posición diferente; todos los hijuelos que vayan brotando de estos brazos guías se van eliminando.

4. Poda de despunte. Esta labor se puede realizar en distintos momentos y se trata de eliminar las yemas o brotes terminales, cuando la planta ha llegado al límite de la altura deseada; con esta operación y una poda metódica y racional se limita la cantidad de frutos que se desea recolectar, pero, al mismo tiempo, se disminuye el ciclo vegetativo y por consiguiente, se obtiene una cosecha más precoz; también se consigue un aumento en el tamaño de los frutos al disminuir su número.

Otra práctica que eventualmente se hace cuando el follaje es muy abundante, es la poda de hojas, con ello se mejora la distribución de la radiación incidente y se mejora la ventilación favoreciendo mayor floración y mejor cuajado de frutos, mejor calidad de cosecha y mejor control de plagas y enfermedades. Esta poda debe hacerse con algunas hojas que están por abajo del primer racimo de frutos contando a partir del sustrato o suelo; deben eliminarse aquellas hojas envejecidas o enfermas y que lo único que hacen es consumir energía (Serrano, 1996).

Atherton y Harris (1986), indican que al eliminar el ápice del tallo principal en plantas de jitomate, favorece el desarrollo de flores en la primera inflorescencia, debido a que se elimina la competencia existente con las hojas en desarrollo, tallos e inflorescencias presentes en el ápice.

Hurd y Cooper (1970) y Sobrino (1989) indican que es factible lograr incrementos en el rendimiento por unidad de superficie en un período corto eliminando la competencia entre racimos posteriores, mediante el despunte de las plantas para dejar un solo racimo usando altas densidades.

McAvoy y Janes (1989) manejaron un sistema de producción continua de jitomate en hidroponia, en el cual realizaron despuntes para dejar un solo racimo por planta; manejaron densidades de $12 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$, logrando de esta manera producir seis ciclos por año a partir de plántulas trasplantadas a 45 días de edad; encontraron que la remoción del meristemo apical dos hojas arriba del racimo antes de la antesis redujo la competencia entre órganos demandantes durante el desarrollo inicial del fruto favoreciendo su amarre y crecimiento.

Cancino *et al.* (1991), al evaluar el efecto de tres niveles de despunte para dejar 1, 2 o 3 racimos por planta y dos densidades de población (9 y $16 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$) en dos variedades de jitomate (Tropic y Ace 55 vf); sobre el rendimiento y la precocidad encontraron que la variedad Tropic a una densidad de $16 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ 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 ($17.14 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ por cosecha en 114 días después del trasplante, contra $7.81 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ en el testigo sin despuntar a una densidad de $3 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$), además la práctica de despunte influyó significativamente sobre la precocidad; también

señalan, que la importancia práctica de este trabajo radica en mostrar la posibilidad de obtener varias cosechas al año con altos rendimientos, así como reducir o evitar los daños causados por enfermedades y fenómenos meteorológicos.

Sánchez y Corona (1994) compararon dos niveles de despunte (uno ó dos racimos por planta) y testigo sin despunte, en cinco densidades de población (6, 9, 16, 20 y 24 pl·m⁻²) utilizaron cuatro variedades de jitomate, para determinar si al despuntar a uno o dos racimos por planta en altas densidades se obtienen altos rendimientos y calidad similar al método convencional, con plantas sin podar y densidad baja (6 pl·m⁻²). Encontraron que los tratamientos donde las plantas se despuntaron a uno o dos racimos el rendimiento por m² fue mayor que los testigos. Lo anterior se debió a que aún cuando en los testigos se dieron los más altos rendimientos y el mayor número de frutos por planta, por la menor densidad se tuvieron menos frutos por m². Mencionan también que para las plantas despuntadas a un racimo el mayor rendimiento se obtuvo a una densidad de 24 pl·m⁻², en cambio en el despunte a dos racimos el mayor rendimiento correspondió a 20 pl·m⁻²; el despunte a uno o dos racimos influyó significativamente en la obtención de un mayor rendimiento temprano en relación al testigo sin despuntar. Estos mismos investigadores resaltan la productividad potencial de un sistema de cultivo continuo, manejando trasplantes tardíos (60 días), logrando con esto obtener de 4 a 5 cosechas por año.

Ponce (1995), en un experimento donde manejo cuatro densidades de población (6, 12, 16 y 24 pl·m⁻²) y tres niveles de despunte (1, 2 o 3 inflorescencias) en plantas de jitomate del cultivar Floradade; encontró que para todos los tratamientos los primeros racimos presentaron el mayor número de frutos y el mayor rendimiento; en cambio las plantas manejadas a un racimo y a 24 pl·m⁻², produjeron el mayor número de frutos y rendimiento por unidad de superficie, con un rendimiento de 429.73 ton·ha⁻¹·año⁻¹, fue el más precoz y permite un mayor número de ciclos productivos por año, permite también programar la salida al mercado con toda la producción del ciclo, cuando el precio es alto.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del experimento

Con la finalidad de lograr los objetivos propuestos, el presente trabajo de investigación se realizó en un invernadero de vidrio en la empresa "Industrial Agropecuaria Junco", ubicada en la localidad de Cuahutlalpan, Estado de México, a 10 kilómetros al sur de las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo. Geográficamente se localiza a 19° 29' latitud norte y a 98° 53' de longitud oeste, con una altitud media de 2251 msnm; el clima es $cb(w_0)(w)(i)g$ que corresponde a un templado subhúmedo, con lluvias en verano, la temperatura promedio es de 15.2 °C (García, 1988).

El invernadero que se utilizó es de tipo dos aguas con estructura metálica, cubierta de vidrio, orientado de norte a sur con ventanas de 1.50 m de ancho que corren a todo lo largo de ambos costados del invernadero; las ventanas están cubiertas con malla antiafidos y cortinas abatibles de lámina galvanizada. El invernadero tiene las siguientes dimensiones 70 m de largo, 11.3 m de ancho y una altura máxima de 3.8 m, esta dividido en 12 tinas con las siguientes dimensiones: 6 miden 36.5 m de largo y las otras 6 miden 30.5 m de largo, divididas por un pasillo central de 1m de ancho. Todas las tinas

tienen un ancho de 1.30 m y 35 cm de altura, los costados de las tinas están hechos con lozas de ferrocemento reforzadas con malla electrosoldada y separadas por pasillos cementados de 50 cm de ancho. Para establecer el experimento se utilizaron únicamente dos tinas de 36.5 m de largo, las cuales fueron rellenas con una capa de 10 cm de grava de tezontle rojo con partículas de un diámetro de 2 a 4 cm; sobre ésta se colocó otra capa de 25 cm de arena de tezontle rojo cuyas partículas oscilan entre 1 a 4 mm de diámetro. La capa de grava se colocó para dar un drenaje libre y aislar el suelo de la capa de arena de tezontle que fue el sustrato donde se desarrollo el sistema radicular de las plantas.

4.2. Material vegetal

En el experimento se utilizó el híbrido Conteza, que se caracteriza por presentar un hábito de crecimiento determinado, el tamaño de la planta es mediano, produce frutos grandes de forma redonda y de consistencia muy firme, llegando a pesar hasta 230 g, soporta el transporte a grandes distancias, presenta buen sabor y calidad. Es resistente a *Fusarium*, Nemátodos, VMT, *Alternaria* y *Stemphylium* (Murillo,1989).

4.3. Semillero

El semillero se estableció el día 23 de julio de 1998, 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 de las charolas se rellenaron con peat-moss (Grow-mix) especial para semilleros, el cual se humedeció a punto de escurrimiento y se colocó una semilla por cavidad la cual se cubrió con una capa de vermiculita de 5 mm de espesor; inmediatamente después se dio un riego. Con la finalidad de acelerar la germinación se estibarón las charolas y se cubrieron con un plástico durante tres días, transcurridos estos se destaparon y se colocaron en los bancales. A partir de esta fecha se iniciaron los riegos por microaspersión; la emergencia total de las plántulas ocurrió a los cinco días después de la siembra (dds), iniciándose los riegos con una solución nutritiva a media concentración durante los primeros 10 días y posteriormente hasta el trasplante se regó con la concentración completa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición y concentraciones de nutrimentos de la solución nutritiva empleada.

NUTRIENTES	CONCENTRACIÓN (mg·L ⁻¹)
Nitrógeno	250
Fósforo	60
Potasio	250
Calcio	300
Azufre	200
Magnesio	75
Fierro	3
Manganeso	0.5
Boro	0.5
Cobre	0.1
Zinc	0.1

mg·L⁻¹ = miligramos por litro

4.4. Desinfección de sustrato

Antes del trasplante, se desinfectó el sustrato de las tinas, de la siguiente manera: se dio un riego pesado y posteriormente se espolvoreo con azufre agrícola ® (ingrediente activo azufre elemental al 93%. Agricultura Nacional de Jalisco, S.A. de C.V.), a una dosis de 150 g por cada 1.3 m² de tina, después de dos días se aplicaron tres litros por cada 1.3 m² de tina de la siguiente mezcla: 1.5 ml de Pentaclor 600 F ® (Quintozeno 46.3%. Grupo Bioquímico Mexicano, S.A. de C.V.) más 2 g de Captan 50 ® (ingrediente activo Captan Cis al 50%. Ingeniería Industrial, S.A. de C.V.) por litro de agua, inmediatamente se dio un riego pesado y al siguiente día se removió el sustrato, se niveló y se acolchó con un plástico blanco lechoso calibre 150, posteriormente se hicieron los trazos de acuerdo a las densidades y arreglos de plantación establecida en la descripción de tratamientos y se procedió a perforar el plástico (5 cm de diámetro).

4.5. Trasplante

El trasplante se realizó el 21 de agosto de 1998 (29 dds), antes del trasplante se regó, se hicieron los hoyos con una barra metálica de un diámetro de 4 cm con punta, se extrajo la plántula de la charola con todo el cepellon y se introdujo al hoyo hasta el nivel de las hojas cotiledonares, se tapó y se

presionó con los dedos para poner en contacto el sistema radicular con el sustrato, al terminar de hacer el trasplante se regó con agua.

4.6. Descripción de tratamientos y Diseño experimental

Las plantas se trasplantaron a seis densidades (6, 12, 16, 20, 25 y 36 plantas por metro cuadrado), dos arreglos (una planta o dos por mata) con diferentes distribuciones (2, 3, 4, 5 ó 6 hileras) de plantas y diferentes niveles de despunte (para dejar uno, dos ó tres racimos por planta), de esta manera se generaron nueve tratamientos (Cuadro 2) que se analizaron en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones (Figura 1), donde cada tratamiento se ubico en forma aleatoria en una unidad experimental de 2 m² (1.54 metros de tina), dejando la parcela útil de un metro cuadrado.

Cuadro 2. Descripción de tratamientos que se evaluaron en el experimento (densidades, arreglos de plantación y niveles de despunte) en jitomate bajo invernadero.

TRATA	ARREGLO	DESCRIPCION
R1-36-CR	† †	Se trasplantaron 36 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 12.8 cm entre plantas y 21.6 cm entre hileras. Las plantas se despuntaron a un racimo y se cosecharon 36 racimos
R1-36-D	†† †† †† †† †† †† †† †† †† †† †† †† †† †† †† †† †† ††	Se trasplantaron 36 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 12.8 cm, colocando 2 plantas por mata y un Espaciamiento entre hileras de 43.3 cm. Las plantas se despuntaron a 1 racimo y se cosecharon 36 racimos.
R1-25-CR	† †	Se trasplantaron 25 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 15.4 cm entre plantas y de 26 cm entre hileras. Las plantas se despuntaron a 1 racimo y se cosecharon 25 racimos.
Pir-25-1,3,1	†† †† †† †† ¶ ¶ ¶ ¶ †† †† †† ††	Se trasplantaron 25 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 15.4 cm entre matas, colocando dos plantas por mata hileras 1 y 3, con una distancia entre hileras de 43.3 cm. La primera y tercera hilera de plantas se despuntó a un racimo y la segunda a tres racimos. Se cosecharon 35 racimos.
Pir-25-1,2,3,2,	† † † † † § § § § § ¶ ¶ ¶ ¶ ¶ § § § § § † † † † †	Se trasplantaron 25 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 15.4 cm entre plantas y de 26 cm entre hileras. La primera y quinta hilera de plantas se despuntó a un racimo, la segunda y cuarta a dos racimos y la tercera a tres racimos. se cosecharon 45 racimos.
Pir-20-1,3,1	†† †† †† †† ¶ ¶ ¶ ¶ †† †† †† ††	Se trasplantaron 20 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 19.2 cm entre matas colocando 2 plantas por mata y entre hileras de 43.3 cm. La primera y tercera hilera se despuntó a 1 racimo y la segunda a 3 racimos. Se cosecharon 28 racimos.
R2-16-CR	§ § § § § § § § § § § § § § § §	Se trasplantaron 16 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 19.2 cm entre plantas y 32.5 entre hileras. Todas las plantas se despuntaron a dos racimos. Se cosecharon 32 racimos.
R3-12-CR	¶ ¶ ¶ ¶ ¶ ¶ ¶ ¶ ¶ ¶ ¶ ¶	Se trasplantaron 12 plantas por metro cuadrado de superficie útil a una distancia de 19.2 cm entre plantas y 43.3 entre hileras. Las plantas se despuntaron a tres racimos. Se cosecharon 36 racimos.
Testigo	φ φ φ φ φ φ	Se trasplantaron 6 plantas por metro cuadrado de superficie útil, con una distancia entre plantas de 25.6 cm y entre hileras de 65 cm. Las plantas no se despuntaron. Se cosecharon 42 racimos.

† = planta despuntada a un racimo. § = a dos racimos. ¶ = a tres racimos. φ = sin despuntar

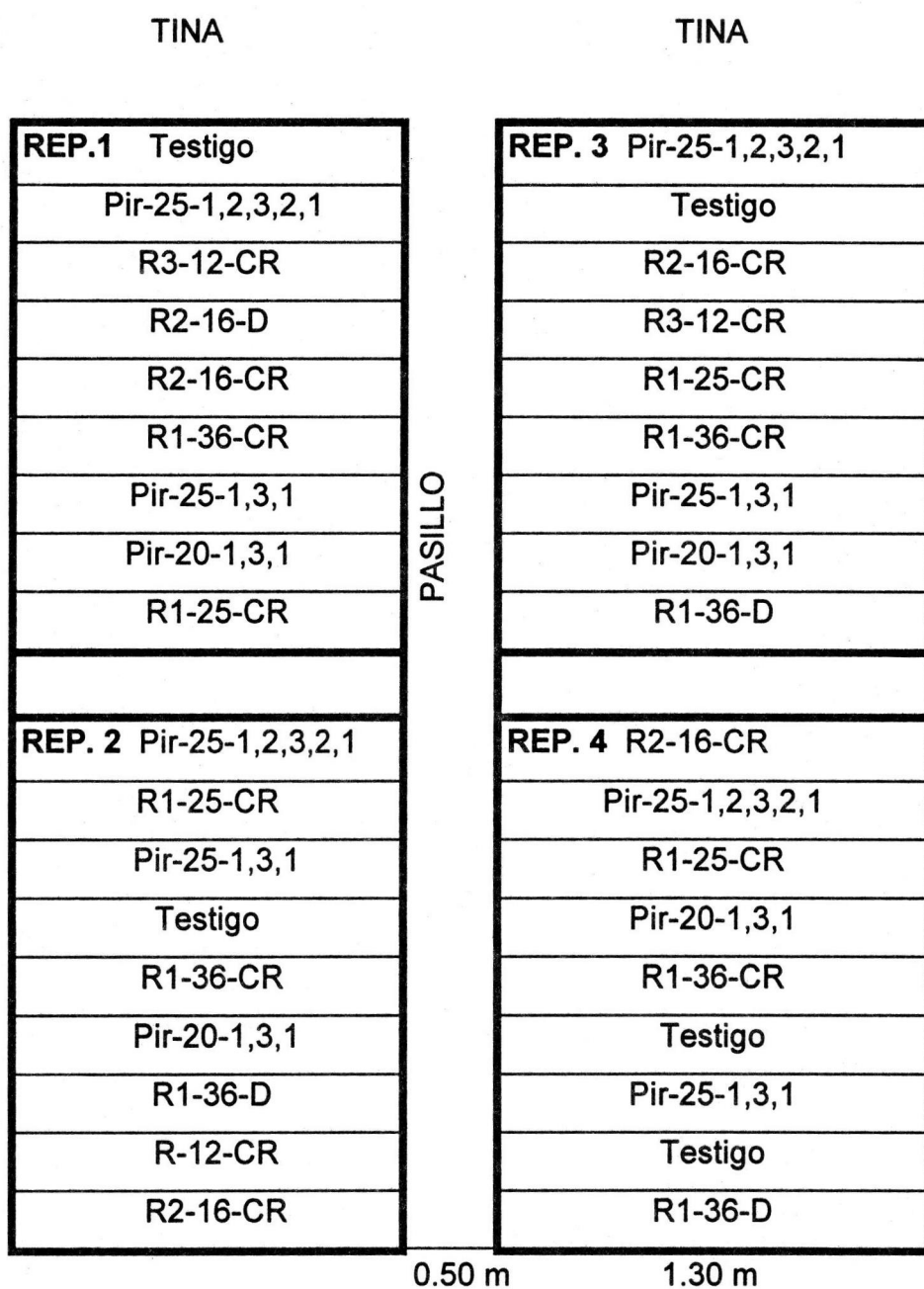


Figura 1. Distribución de tratamientos descritos en el Cuadro 2, en un diseño experimental de bloques al azar con 4 repeticiones, para su evaluación bajo invernadero.

4.7. Riego y solución nutritiva

A partir de la aparición de las primeras hojas verdaderas y hasta el final del experimento, todos los riegos se hicieron con una solución nutritiva ver Cuadro 3. A partir del trasplante los riegos se hicieron por vertido con una manguera, aplicando aproximadamente de 6 a 10 litros de agua por metro cuadrado (dependiendo de las condiciones climáticas y edad de las plantas) diariamente y un día a la semana se regó con agua sola, con la finalidad de evitar la acumulación de sales. Como fuentes para la preparación de la solución nutritiva, se usaron fertilizantes comerciales.

Cuadro 3. Cantidades de fertilizantes necesarios para preparar 1000 litros de solución nutritiva.

FERTILIZANTE	FORMULA QUIMICA	CANTIDAD REQUERIDA (g)	NUTRIENTES QUE APORTA
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1290	Nitrógeno y Calcio
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	240	Nitrógeno y Azufre
Sulfato de potasio	K_2SO_4	560	Potasio y Azufre
Acido fosfórico	H_3PO_4	220	Fósforo
Sulfato de magnesio	MgSO_4	600	Magnesio y Azufre
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15	Fierro
Sulfato de Manganeseo	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2	Manganeseo y Azufre
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	4	Boro
Sulfato cúprico	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	2	Cobre y Azufre

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH.

No se suministró a la solución nutritiva molibdeno ni cloro a pesar de que son elementos esenciales para la planta, debido a que se requieren en muy baja concentración y se encuentran en cantidades suficientes como impurezas en los fertilizantes usados, y eventualmente en el agua de riego (Sánchez y Escalante, 1988).

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

1. Se llenaba con agua la cisterna hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad.
2. Se pesaban las cantidades requeridas para cada fertilizante, por separado.
3. Cada fertilizante (macronutriente) se diluía por separado en un tambo de 200 litros, se dejaba reposar y posteriormente se agregaba a la cisterna, desechando los residuos sedimentados (impurezas insolubles). Para el caso del sulfato de potasio que es menos soluble, se diluyó en tres partes colocando una tercera parte por cada tambo de acuerdo con la cantidad utilizada; para el caso del nitrato de calcio al diluirlo se formaba una capa de grasa en la superficie, la cual se eliminaba antes de vaciar el tambo a la cisterna.
4. Se ajustaba el pH entre 6 y 6.5, agregando ácido sulfúrico.

5. Los micronutrientos se mezclaban en un solo tambo y se vertían a la cisterna.
6. Después de agregar cada nutrimento a la cisterna se agitaba la solución.
7. Finalmente se llenaba la cisterna a su capacidad.

4.8. Tutorio

Con la finalidad de dar un mejor manejo sanitario a las plantas, debido a las altas densidades, a las diferentes formas de plantación y a los diferentes niveles de despunte, se utilizaron dos tipos de tutores; para el caso de los tratamientos donde se plantaron dos plantas por mata y el despunte fue a un racimo, se utilizaron espalderas colocando a cada extremo de la hilera de plantas del tratamiento una estaca de un metro de longitud, en las cuales se sujetaron tres hilos para levantar las plantas; mientras que en los tratamientos donde se colocó una planta por mata y el despunte fue a 1, 2 y 3 racimos o no se despuntó (testigo), se utilizaron espalderas colgantes, formadas por un marco metálico anclados a cada seis metros a una altura de dos metros, sobre las cuales se colocaron seis hileras de alambre galvanizado calibre 12 paralelos a lo largo de la tina bien atados a cada marco; se utilizó raffia para atar los tallos de las plantas, esto se hizo por abajo de la segunda hoja con un amarre que no los ahorcara, la raffia se fue

enredando en forma de espiral sobre el tallo a medida que fue creciendo y el otro extremo se ató a las hileras de alambre galvanizado. Esta actividad se realizó a los 48 dds.

4.9. Podas y despuntes

Las plantas se condujeron a un tallo, para lo cual fue necesario eliminar los brotes laterales a medida que aparecieron durante el ciclo del cultivo, exceptuando al testigo donde la planta se condujo a crecimiento libre. Esta práctica se hizo en forma manual y se inició a los 44 dds. A los 56 dds se inició el despunte (eliminación de la yema terminal) de las plantas en los tratamientos conducidos a un racimo, dos hojas arriba de este, quedando un total de 8-10 hojas por planta; para el caso de las plantas que se podaron a dos racimos esta se realizó a los 65 dds y a las de tres racimos a los 79 dds (Figura 2).

4.10. Control de plagas y enfermedades

Como consecuencia de una alta humedad relativa en el invernadero, producto de las altas densidades usadas y varios días nublados y lluviosos, a los 72 dds se presentó un ataque fungoso de *Phytophthora* (*Phytophthora infestans*) y *Botrytis* (*Botrytis cinerea*); el cual fue controlado con dos aplicaciones de Mancú PH® (ingrediente activo mancozeb 80%. Cuproquin de México, S.A. de C.V.) a razón de 4 g·L⁻¹ de agua, espaciadas en cinco días y

dos aplicaciones de Ridomil bravo 76.5% PH ® (ingrediente activo Metalaxil 4.4 %, Clorotalonil 72%. Novartis Agro, S.A. de C.V.) a razón de 2.5 g·L⁻¹ de agua, espaciadas a cada 14 días, intercaladas con el producto anterior. Para el control de la mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) se hicieron dos aplicaciones de Thiodan 35 CE ® (ingrediente activo endosulfán 33%. Agrevo Mexicana, S.A. de C.V. Aivisión Agrícola) a razón de 2 ml·L⁻¹ de agua a los 68 y 90 dds.

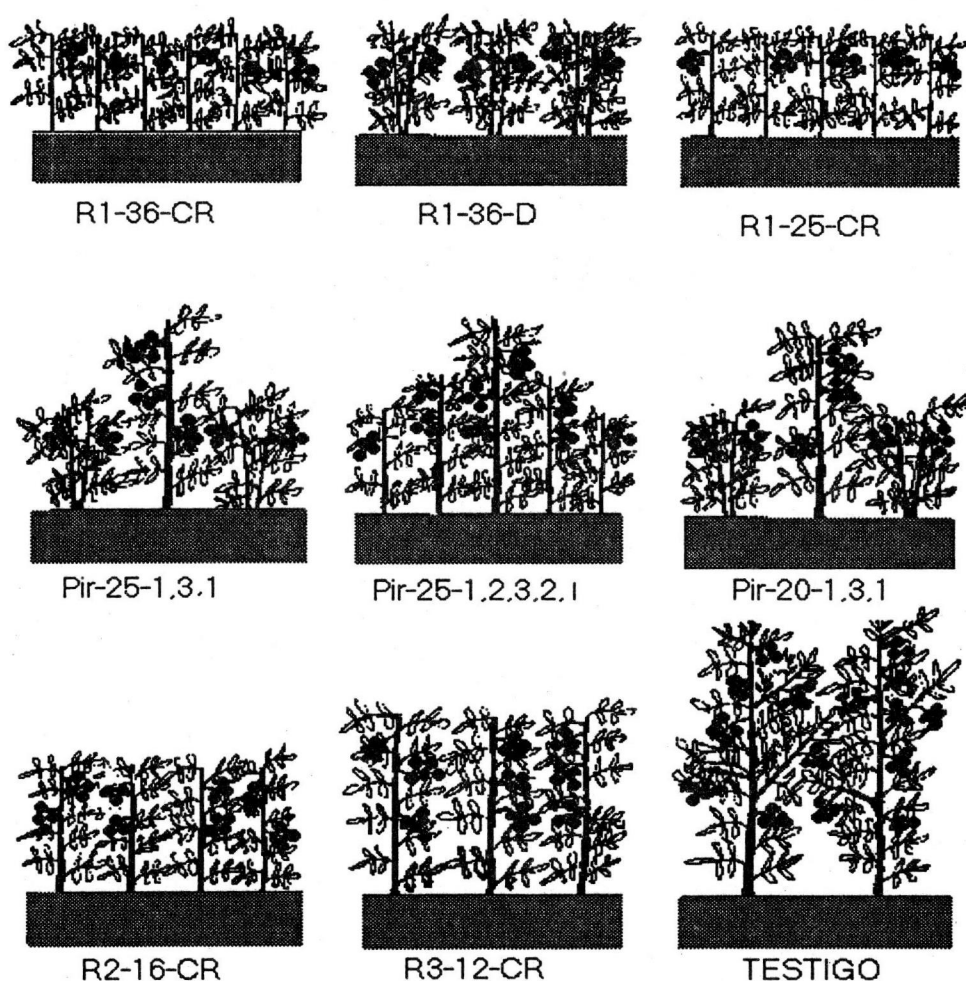


Figura 1. Esquema de los nueve tratamientos evaluados según su arreglo, distribución y nivel de despunte en plantas de jitomate.

4.11. Variables evaluadas

4.11.1. Variables morfológicas

A los 65 y 100 días, después de la siembra se midió el grosor del tallo en el entrenudo inferior de la primera inflorescencia, con un vernier y la altura de la planta (del cuello de la planta hasta el despunte), con una cinta métrica. A estas variables se les aplicó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey al 0.05 de probabilidad); comprendiendo los factores tratamientos y repeticiones; para la variable altura de planta, el análisis de varianza y comparación de medias se realizó entre tratamientos despuntados al mismo nivel.

4.11.2. Estructura del follaje y RFA

El área foliar e índice de área foliar se estimaron de manera no destructiva a los 52 dds y 100 dds. En cada etapa, dentro de cada densidad de población a una planta por hilera se le midió el largo y ancho de todas sus hojas, esto se hizo para las cuatro repeticiones.

Para estimar el área foliar se hizo un muestreo aleatorio de 35 hojas, en tres niveles de la planta, 10 de la parte baja, 10 en medio y 15 del nivel superior; a las cuales se les midió el largo y ancho y se dibujaron en papel periódico, con el fin de obtener el área foliar para cada hoja. Para esto se

pesaron seis cuadrados de 20x20 cm. (400 cm²) del mismo papel periódico, los cuales se pesaron y promediaron y por regla de 3 se estimó el área de las hojas.

Con estos datos se calcularon correlaciones por medio del procedimiento Corr de SAS, entre las variables: área de la hoja por el largo de la misma, el largo al cuadrado, el ancho al cuadrado, el largo por ancho y el largo por ancho al cuadrado; dando como resultado que la correlación más alta (0.923), se obtuvo entre área de la hoja y el producto de su largo por su ancho. Con este resultado se obtuvo un factor de corrección de 0.43 (valor que se obtuvo al promediar los resultados obtenidos al dividir el área estimada de cada hoja entre su producto largo por ancho) que al multiplicarlo por el largo y ancho de las hojas muestreadas, sirvió para estimar el área foliar por planta, así como el índice de área foliar para cada tratamiento en las dos etapas muestreadas.

A los 58 y 97 dds, utilizando un ceptómetro (Sunfleck Ceptometer; 1989, Decagon Divices, Inc. USA.) se hicieron mediciones de la RFA por encima del dosel, parte media y baja del mismo (altura del sustrato), en las cuatro repeticiones; con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de RFA interceptada por el dosel desde la parte superior a media altura del dosel (RFAm) y de la parte superior a la parte baja (RFAb), mediante las siguientes formulas:

$$RFA_m = 100 - \frac{I_m}{I_s} (100)$$

$$RFA_b = 100 - \frac{I_b}{I_m} (100)$$

Donde:

RFA_m = RFA interceptada desde la parte superior a media altura del dosel

I_m = RFA medida en la parte media del dosel

I_s = RFA medida por encima del dosel

RFA_b = RFA interceptada desde la parte superior a la parte baja del dosel

I_b = RFA medida en la parte baja del dosel (altura del sustrato)

A estas variables se les aplicó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey al 0.05 de probabilidad): comprendiendo los factores tratamientos y repeticiones, también se calcularon correlaciones entre la variables: diámetro de tallo, área foliar, IAF y RFA, la estimación se hizo por el procedimiento Corr de SAS.

4.11.3. Rendimiento y sus componentes

La cosecha se efectuó en 6 cortes, a los 121, 128, 135, 141, 148 y 154 dds, cortándose en cada uno, los frutos que alcanzaban una coloración rojiza; en los tratamientos despuntados a un racimo la cosecha fue más precoz y se realizó a los 148 dds. Para cada corte se tomaron los siguientes datos por unidad experimental: rendimiento de fruto en peso fresco, número total de frutos, peso medio por fruto y tamaño de frutos que se clasificaron en: extragrandes (mayores de 8 cm de diámetro ecuatorial), grandes (mayores de 6 y hasta 8 cm de diámetro ecuatorial), medianos (mayores de 4 y hasta 6 cm de diámetro ecuatorial) y chicos (menores de 4 cm de diámetro ecuatorial).

Para la clasificación del tamaño, se elaboró y uso una criba de madera de 40 x 20 cm (Fig. 3), a la cual se le hicieron 3 perforaciones circulares (4, 6 y 8 cm de diámetro).

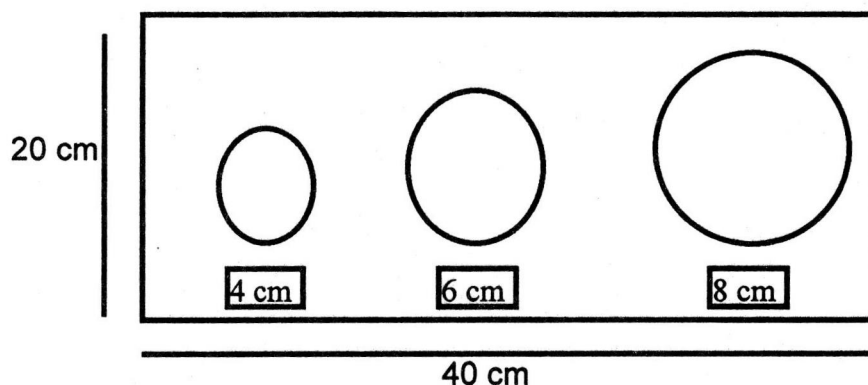


Figura 3. Criba de madera usada para la clasificación del tamaño de los frutos de jitomate.

Con estos datos se calcularon el rendimiento, número de frutos por unidad de superficie, peso promedio de racimos, número promedio de frutos por racimo; porcentaje de frutos chicos, medianos, grandes y extragrandes; peso promedio de frutos de la parcela útil. A este conjunto de variables se les aplicó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias por Tukey (con un $\alpha = 0.05$), comprendiendo los factores tratamiento y bloques. También se analizó el comportamiento de las formas de plantación y la combinación de los diferentes niveles de despunte, a la misma o diferente densidad de los tratamientos.

Se hicieron también análisis de varianza y pruebas de Tukey para el porcentaje de frutos extragrandes, grandes, medianos y pequeños, considerando en el modelo de los factores tratamientos y bloque.

El análisis y discusión de los resultados se abordó en tres apartados y en algunas variables se estudiaron algunos tratamientos por separado, con la finalidad de lograr una mayor claridad en la interpretación de los efectos, de cada uno de los factores en estudio, sobre el cultivo; basado en los objetivos del trabajo que pretenden aumentar la densidad de plantas por unidad de superficie e incrementar el rendimiento sin disminuir la calidad del fruto, mediante la combinación de arreglos de plantas y despuntes.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Variables morfológicas

5.1.1. Diámetro de tallo

En el Cuadro 4 se muestra el cuadrado medio obtenido en el análisis de varianza para la variable diámetro de tallo, que se realizó a los 65 y 100 dds, encontrando diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$) entre tratamientos en ambas fechas.

Cuadro 4. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para diámetro de tallo de plantas de jitomate en dos fechas.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	CUADRADOS MEDIOS	
		Diámetro de tallo (cm) a los	
		65 dds	100 dds
Bloque	3	0.08*	0.01NS
Tratamiento	8	0.09**	0.10**
CME	24	0.08	0.01
Media general		1.19	1.32
CV		12.14	10.54

* Significativo $\alpha = 0.05$. **Altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS= No significativo.

dds = días después de la siembra. CME= cuadrado medio del error. CV= Coeficiente de variación

En promedio el diámetro de tallo a los 65 dds fue significativamente mayor para el testigo (6 pl·m⁻²), que produjo un aumento de aproximadamente 33% en el diámetro promedio del tallo de 0.95 a 1.42 cm, con relación a los tratamientos despuntados a 1 racimo y 36 pl·m⁻² (R1-36-CR y R1-36-D), (Cuadro 5).

Se observa que en general los tratamientos manejados a mayor densidad son los que presentan el menor diámetro de tallo y que la misma tendencia se conserva hasta los 100 dds.

Cuadro 5. Comparación de medias de tratamientos para diámetro del tallo de plantas de jitomate en dos fechas.

TRATAMIENTOS	DIÁMETRO DE TALLO (cm) A LOS	
	65 dds	100 dds
Testigo	1.42 a	1.53 ab
R3-12-CR	1.36 ab	1.56 a
R2-16-CR	1.33 ab	1.46 abc
Pir-20-1,3,1	1.24 abc	1.31 abc
Pir-25-1,2,3,2,1	1.15 abc	1.32 abc
Pir-25-13,1	1.12 abc	1.19 c
R1-25-CR	1.08 abc	1.22 bc
R1-36-CR	1.06 bc	1.16 c
R136-D	0.95 c	1.14 c
Media general	1.19	1.32
DMS (Tukey 0.05)	0.34	0.33

DMS = diferencia mínima significativa dds = días después de la siembra

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

El diámetro del tallo fue mayor para los tratamientos que presentaron menor densidad de plantas por unidad de superficie. Esto debido probablemente a que a densidades bajas la competencia por RFA entre plantas fue menor permitiendo una mayor producción de asimilados por planta por día, lo que se refleja en un mayor diámetro del tallo. El efecto también pudo ser morfogénético, es decir las plantas sometidas a altas densidades debido a la competencia por luz (sombreamiento mutuo), produjeran auxinas que favorecieron la elongación celular, pero con paredes delgadas y en consecuencia un menor diámetro de tallo.

En la segunda fecha se pudo observar que el tratamiento R3-12-CR ($12 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$) presentó tallos ligeramente más gruesos que el testigo, a pesar de que el primero presentó una mayor densidad de plantas; lo cual pudo deberse a que al tratamiento testigo ($6 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$) no se le podaron los brotes y la planta desarrolló hasta tres ramas, dando como resultado que el tallo fuera ligeramente más delgado, por la distribución de asimilados en una mayor cantidad de tejido; pero a comparación de los demás tratamientos, la diferencia fue significativa. Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por Sánchez (1997), donde al comparar dos densidades, una de $12 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ y la otra de $25 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ encontró que la densidad alta produjo una disminución de aproximadamente 10% en el diámetro del tallo.

5.1.2. Altura de planta

La variable altura de planta, se analizó de acuerdo al nivel de despunte (uno, dos ó tres racimos por planta) sin considerar los arreglos de plantas en el tratamiento; de acuerdo a los resultados del análisis de varianza de los datos obtenidos (Cuadro 6), se observaron diferencias altamente significativas, considerando los tratamientos donde las plantas se podaron a un racimo tanto a los 65 como a los 100 dds, fechas en que se hizo la evaluación.

Cuadro 6. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para altura de plantas de jitomate despuntadas a un racimo.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	CUADRADOS MEDIOS	
		Altura de planta (cm) a los	
		65 dds	100 dds
Bloque	3	42.89NS	80.01**
Tratamiento	5	285.87**	193.52**
CME	15	23.44	13.36
Media general		70.82	77.16
CV		6.83	4.73

* significativo $\alpha = 0.05$. **altamente significativo $\alpha = 0.01$. dds = días después de la siembra
CME= cuadrado medio del error. CV= Coeficiente de variación

Los tratamientos que contenían plantas que se despuntaron a dos racimos, no presentaron diferencias significativas entre sí; en cambio entre los tratamientos con despunte a tres racimos, se encontraron diferencias altamente significativas en las dos fechas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para altura de plantas de jitomate despuntado a tres racimos.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	CUADRADOS MEDIOS	
		Altura de planta (cm) a los	
		65 dds	100 dds
Bloque	3	2.41NS	40.42NS
Tratamiento	3	498.33**	266.97**
CME	9	2.41	43.72
Media general		78.37	93.87
CV		1.98	6.75

* significativo $\alpha = 0.05$. **altamente significativo $\alpha = 0.01$. dds = días después de la siembra
NS = No significativo CME= cuadrado medio del error. CV= Coeficiente de variación

Con relación a la altura de plantas despuntadas a un racimo a los 65 dds, se pudo observar (Cuadro 8) que el tratamiento R1-36-D (36 pl-m² con un arreglo de 2 plantas por mata) presentó una mayor altura, estadísticamente diferente a la de los tratamientos R1-25-CR y Pir-25-1,2,3,2,1 (25 pl-m² pero con diferente arreglo y niveles de despunte); resultados similares se encontraron a los 100 dds, observándose únicamente un ligero incremento en la altura de las plantas en todos los tratamientos, a pesar de que las plantas habían sido despuntadas antes de los 65 dds.

Cuadro 8. Comparación de medias de tratamientos para altura de plantas de jitomate despuntadas a un racimo.

TRATAMIENTOS	ALTURA DE PLANTA (cm) A LOS	
	65 dds	100 dds
R1-36-CR	83.83 a	83.83 a
R1-36-D	74.70 ab	77.39 ab
Pir-25-1,3,1	74.37 ab	81.25 ab
Pir-20-1,3,1	71.25 ab	81.75 ab
R1-25-CR	64.75 bc	73.75 b
Pir-25-1,2,3,2,1	57.87 c	65.00 c
Media general	70.82	77.16
DMS (Tukey 0.05)	11.12	8.39

DMS= Diferencia mínima significativa

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Como se muestra en el Cuadro 9, las plantas despuntadas a tres racimos en la primera fecha todas las medias de tratamientos fueron estadísticamente diferentes, la mayor altura fue para las plantas a tres racimos colocadas dentro del arreglo piramidal a 25 pl·m⁻² (tratamiento Pir-25-1,2,3,2,1) con 90 cm y la menor correspondió al tratamiento con una densidad de 12 pl·m⁻² (tratamiento R3-12-CR) que presentó un 27% menos de altura. En la segunda fecha (100 dds) existió diferencia significativa únicamente entre las medias de los tratamientos antes mencionados (Pir-25-1,2,3,2,1 y R3-12-CL).

Cuadro 9. Comparación de medias de tratamientos para altura de plantas de jitomate despuntadas a tres racimos.

TRATAMIENTOS	ALTURA DE PLANTA (cm) A LOS	
	65 dds	100 dds
Pir-25-1,2,3,2,1	90.00 a	105.00 a
Pir-25-1,3,1	85.00 b	99.75 ab
Pir-20-1,3,1	73.00 c	100.50 ab
R3-12-CR	65.49 d	86.08 b
Media general	78.37	97.83
DMS (Tukey 0.05)	3.43	14.59

DMS= Diferencia mínima significativa. dds = días después de la siembra.
Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

La menor altura de las plantas despuntadas a un racimo fue de 65 cm y correspondió al tratamiento Pir-25-1,2,3,2,1 que se manejo a 25 pl·m⁻² mediante la combinación de despuntes para formar un dosel tipo piramidal. En este tratamiento las plantas podadas a un racimo ocuparon sólo las hileras exteriores de las tinas, por lo que no estuvieron sometidas a competencia completa por luz y se elongaron menos. El tratamiento Pir-25-1,3,1 también se manejo a 25 pl·m⁻², pero la distribución de plantas fue en tres hileras y no en cinco como el tratamiento anterior; en el tratamiento Pir-20-1,3,1 (20 pl·m⁻²) las plantas a un racimo también ocuparon las hileras exteriores de las tinas e incluso tuvieron menor competencia entre hileras, pero como se trasplantaron dos plantas por mata en vez de sólo una, la competencia entre plantas de la misma hilera se agudizó con la consecuencia de que su altura fue en promedio 15 cm mayor a las plantas del tratamiento Pir-25-1,2,3,2,1. En los tratamientos donde todas las plantas se podaron a un racimo, pero a 36 pl·m⁻², la altura fue

mayor, incluso en donde se colocaron dos plantas por mata con la finalidad de dejar más espacio entre hileras, esto fue producto de una mayor elongación de plantas causado probablemente por el efecto morfogenético, debido al sombreamiento mutuo de las plantas.

Los resultados obtenidos coinciden con las observaciones realizadas por Sánchez (1997) al establecer dos densidades 12 y 25 pl·m⁻², con despuntes de plantas a un racimo en diversos cultivares, encontró que la mayor altura correspondió a la alta densidad (25 pl·m⁻²) cuya altura en promedio fue de 51 cm; mientras que las plantas establecidas en una baja densidad, su altura promedio fue de 48.16 cm. Esto indica que a una mayor densidad de plantas por unidad de superficie, induce a una mayor altura de la planta, estos resultados son acordes a los reportados por (Rhee *et al.*, 1997)

5.2. Estructura del follaje y RFA

5.2.1. Área foliar (AF) e Índice de área foliar (IAF)

Para el estudio de la conformación del follaje, a los 51 y 100 dds, se hicieron muestreos estimándose el área foliar promedio por planta (AF) y el índice de área foliar (IAF). Los resultados obtenidos con el análisis de varianza (Cuadro 10) muestran diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.01$) para el AF a los 51 y 100 dds. En cambio para el índice de área foliar (IAF), únicamente

se encontraron diferencias altamente significativas a los 51 dds, pero no a los 100 dds.

Cuadro 10. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para componentes del dosel de plantas de jitomate.

FUETE		CUADRADOS MEDIOS			
DE	G.L.	Área foliar por planta		Índice de área foliar a los	
VARIACIÓN		51 dds	100 dds	51 dds	100 dds
Bloque	3	0.004**	0.01NS	2.18**	5.93NS
Tratamiento	8	0.003**	0.29**	5.47**	3.46NS
CME	24	0.0009	0.01	0.42	2.33
Media general		0.19	0.38	3.30	5.09
<u>CV</u>		15.28	29.32	19.59	30.00

* Significativo $\alpha = 0.05$. **Altamente significativo $\alpha = 0.01$. dds = Días después de la siembra
NS = No significativo. CME= cuadrado medio del error. CV= Coeficiente de variación.

Para el área foliar promedio por planta a los 51 dds no se encontraron diferencias estadísticas entre las medias según la prueba de Tukey, a pesar de que el análisis de varianza arrojó diferencias significativas. En cambio a los 100 dds el tratamiento testigo ($6 \text{ pl} \cdot \text{m}^{-2}$) presentó superioridad estadística en AF por planta, con un incremento de aproximadamente 27% con relación al resto de los tratamientos, debido tal vez a que las plantas no se podaron ni despuntaron; como era de esperar, a los 51 dds (antes que se despuntaran las plantas) el IAF fue mayor en los tratamientos con mayor densidad. Como se muestra en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Comparación de medias de tratamientos para componentes de la estructura del dosel de plantas de jitomate.

TRATAMIENTOS	Área foliar por planta (m ²)		Índice de área foliar a los	
	51 dds	100 dds	51 dds	100 dds
Testigo	0.23	1.08 a	1.07 d	5.02
R2-16-CR	0.23	0.30 b	2.85 bc	3.94
Pir-20-1,3,1	0.22	0.25 b	3.38 abc	4.12
R3-12-CR	0.21	0.43 b	1.96 cd	4.03
Pir-25-1,3,1	0.19	0.30 b	3.29 ab	6.04
R1-25-CR	0.19	0.22 b	3.81 ab	4.76
Pir-25-1,2,3,2,1	0.16	0.31 b	3.70 ab	5.72
R1-36-D	0.16	0.28 b	4.58 a	6.32
R1-36-CR	0.16	0.21 b	4.58 a	5.87
Media general	0.19	0.38	0.19	0.38
DMS (Tukey 0.05)	0.07	3.67	0.07	3.67

DMS= diferencia mínima significativa dds = días después de la siembra
Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

En general, para la primera fecha se observó que al aumentar la densidad de plantas por unidad de superficie el IAF se incrementó y el área foliar por planta tendió a ser menor; resultados similares encontró Ucan (1999) al usar 6, 8, 9 y 12 pl·m⁻² con podas a 3 racimos y Sánchez (1997) al estudiar 12 y 25 pl·m⁻² donde las plantas se despuntaron a un racimo. Con densidades bajas (6, 12 y 16 y 20 pl·m⁻²) hay un mayor desarrollo de área foliar por planta, debido a que existe mayor espacio y menor competencia entre plantas; en cambio a altas densidades (20, 25 y 36 pl·m⁻²) se presenta un efecto negativo al crecimiento del área foliar por planta, debido a que primero se promueve la elongación del tallo a costa del AF; en cambio al manejar más pl·m⁻² el índice

de área foliar aumenta y en consecuencia hay una mayor cantidad de luz interceptada por el dosel, debido a que el follaje se cierra más rápido.

Además como lo señalan Gardner *et al.* (1985), la fotosíntesis aumenta hasta que toda la radiación es interceptada por la superficie de las hojas y cualquier incremento en el área foliar sólo ocasionará el sombreamiento de las hojas inferiores, las cuales en estas condiciones serán incapaces de producir suficiente fotosíntesis para satisfacer sus propios requerimientos de respiración y pueden incluso usar fotosintatos producidos en otras hojas.

5.2.2. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA)

Se determinó la RFA incidente arriba del dosel, así como la interceptada desde arriba hasta la mitad de la altura (RFAm) y desde arriba hasta la parte baja del dosel (RFAb) a los 58 y 97 dds. De acuerdo con los resultados del análisis de varianza, se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos a los 58 dds, para porcentajes de luz interceptada desde arriba hasta la parte media del dosel y para el porcentaje de RFA interceptada por todo el dosel. Para la segunda fecha se encontró diferencia significativa únicamente para el porcentaje de intercepción de todo el dosel (Cuadro 12).

Cuadro 12. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para porcentaje de intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA) en plantas de jitomate.

FUENTE		CUADRADOS MEDIOS			
DE	G.L	% RFA interceptada a los 58 dds		% RFA interceptada a los 97 dds	
VARIACIÓN		A medio dosel	Todo el dosel	A medio dosel	Todo el dosel
Bloque	3	25.68NS	0.87NS	12.69NS	0.27NS
Tratamiento	8	223.79**	44.06**	12.26NS	1.24*
CME	24	16.16	2.43	8.57	0.53
Media general		90.96%	97.26%	96.29%	99.22%
CV		4.41	1.60	3.04	0.73

* Significativo $\alpha = 0.05$. **Altamente significativo $\alpha = 0.01$. dds = Días después de la siembra. NS = No significativo. CME= cuadrado medio del error.

En el Cuadro 13 se aprecia que a los 58 dds, los tratamientos de alta densidad ($36 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$) y el tratamiento a $25 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ con dosel piramidal (tratamiento Pir-25-1,2,3,2,1), en los cuales se interceptó un mayor porcentaje de RFA en la mitad superior del dosel, con valores (más del 90% de la RFA incidente) significativamente mayores al tratamiento testigo sin despunte (72.6%) y $12 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ a 3 racimos (86.77%). En cambio, considerando todo el dosel, el porcentaje de intercepción más alto correspondió a los tratamientos R1-36-D y Pir-25-1,3,1 (36 y $25 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ con arreglo de 2 plantas por mata) con 99.60% y 99.35%, fueron estadísticamente superiores a los tratamientos R3-12-CR y tratamiento testigo ($12 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ a 3 racimos y testigo sin podar ni despuntar y $6 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$) con una intercepción de 95.52 y 89.27% respectivamente.

Cuadro 13. Comparación de medias de tratamientos para porcentaje de interceptación de radiación fotosintéticamente activa en plantas de jitomate.

TRATAMIENTOS	% RFA a los 58 dds		% RFA a los 97 dds	
	A medio dosel	Todo el dosel	A medio dosel	Todo el dosel
R1-36-CR	97.50 a	99.27 ab	98.62	99.90
R1-36-D	95.17 a	99.60 a	97.85	99.90
Pir-25-1,2,3,2,1	94.72 a	98.17 ab	95.05	99.37
Pir-20-1,3,1	93.80 ab	99.12 ab	97.87	99.10
R1-25-CR	93.42 ab	98.75 ab	99.22	99.37
Pir-25-1,3,1	92.75 ab	99.35 a	98.62	98.62
R2-16-CR	91.92 ab	96.30 ab	98.22	98.22
R3-12-CR	86.77 b	95.52 b	95.85	99.62
Testigo	72.60 c	89.27 c	94.42	99.07
Media general	90.96	97.26	96.29	99.22
DMS (Tukey 0.05)	9.66	3.75	7.03	1.75

DMS= Diferencia mínima significativa RFA= Radiación fotosintéticamente activa
Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa

Con relación a la segunda fecha, la prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), no marco diferencias estadísticas para el porcentaje de la RFA interceptada en la mitad superior del dosel ó en todo el dosel, a pesar de que en este último, el análisis de varianza mostró un efecto significativo entre tratamientos. Esto se explica en virtud de que los tratamientos manejados en alta densidad se despuntan a uno o dos racimos, limitando así la expansión del IAF, mientras que los tratamientos de menor densidad se manejaron a tres o más racimos permitiendo una mayor AF por planta, dando por resultado que a los 97 dds los IAF entre tratamientos fueran similares en todos los tratamientos

(Cuadro 11) y por lo tanto, los porcentajes de intercepción de RFA también fueron altos y similares entre tratamientos.

El mayor porcentaje de RFA interceptada tanto en la mitad superior del dosel, como en su totalidad a los 58 dds, como se puede observar en la Figura 4; se debió principalmente a que en las altas densidades de plantación por unidad de superficie, el dosel de las plantas se cierra más rápidamente, en cambio en los tratamientos con baja densidad de plantas el aprovechamiento total de la RFA se retrasa debido a que tarda más en cerrarse el dosel.

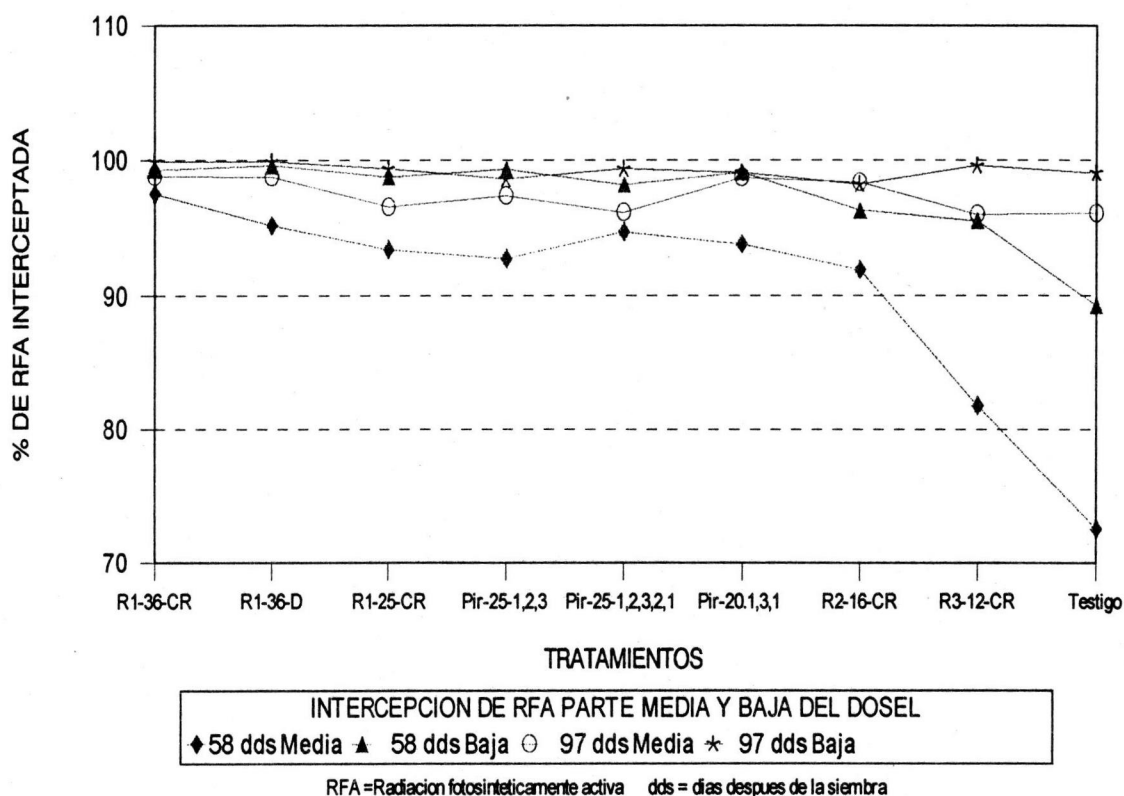


Figura 4. Comparacion de medias de tratamientos para RFA interceptada por el dosel de las plantas de jitomate en dos fechas.

Resultados similares reportó Sánchez (1997) al estudiar el comportamiento de las plantas de jitomate despuntadas a un racimo en dos densidades 12 y 25 pl·m⁻², encontró que la mayor interceptación de RFA fue para la densidad más alta; aunque esto puede ser contraproducente cuando hay un exceso de follaje, debido a que muchas hojas se sombrean y dejan de ser fuentes o incluso se pueden convertir en demanda, situación que en cierto momento pudiera afectar el rendimiento (menor frutos o menor peso medio de frutos).

5.2.3. Correlaciones entre variables morfológicas

El diámetro de tallo tanto a los 65 como a los 100 dds, estuvo correlacionado positivamente y significativamente con el área foliar a los 51 y 100 dds, indicando una posible asociación entre las dos variables. También se encontró correlación significativa pero negativa entre el diámetro de tallo con el porcentaje de RFA interceptado por el dosel a los 58 dds. Es decir, la tendencia es que a mayor grosor del tallo mayor área foliar por planta y a mayor área foliar por planta menor porcentaje de interceptación de RFA por el dosel, lo que se afirmó con la condición significativa y negativa entre AF por planta y porcentaje de RFA interceptada (Cuadro 14).

Cuadro 14. Coeficientes de correlación (Pearson) entre indicadores de la estructura del dosel para los 9 tratamientos (densidades, arreglos y despuntes de plantas de jitomate).

	AF (m ²)		IAF		%Intercepción de RFA	
	51 dds	100 dds	51 dds	100 dds	58 dds	97 dds
Diámetro de tallo						
65 dds	0.452**	0.327*	-0.192	-0.265	-0.416*	-0.230
100 dds	0.569**	0.484**	-0.531**	-0.182	-0.595**	-0.065
AF (m²)						
51 dds			-0.005	-0.732**	-0.317*	-0.270
100 dds			-0.469*	0.163	-0.838**	-0.020
IAF						
51 dds					0.715**	0.179
100 dds					0.163	0.330*

* Significativo $\alpha = 0.05$. **Altamente significativo $\alpha = 0.01$. dds = Días después de la siembra
IAF = Índice de área foliar RFA = Radiación fotosintéticamente activa. AF = Área foliar promedio por planta

Se encontró también una condición significativa y negativa entre diámetro de tallo a los 100 dds con el IAF a los 51 días, pero no entre diámetro de tallo a los 65 dds con el IAF a los 51 dds. De manera similar hay correlación significativa y negativa entre área foliar a los 51 dds con IAF a los 100 dds y entre el AF a los 100 dds y el IAF a los 51 dds pero no hay considerando las dos variables en la misma fecha.

Aunque la diversidad de tratamientos puede dificultar la interpretación, estas correlaciones se pueden explicar así: a mayor IAF a los 51 dds se va a formar menos área foliar por planta y menor diámetro de tallo a los 100 dds,

esto como consecuencia de un mayor grado de sombreamiento mutuo entre plantas, que se agudizó conforme el IAF siguió aumentando.

La falta de correlación entre diámetro del tallo a los 65 dds e IAF a los 51 dds y entre AF e IAF a los 51 dds, se explica por que a esa edad el IAF todavía no es tan grande como para causar un efecto significativo de sombreamiento entre plantas en ninguno de los tratamientos; mientras que la falta de correlación entre las variables a los 100 dds se puede deber a que el IAF es alto y similar para todos los tratamientos por lo que no se pudo manifestar una tendencia.

5.3. Rendimiento y sus componentes

5.3.1. Rendimiento por unidad de superficie

En el Cuadro 15 se puede observar que el rendimiento y número de frutos por unidad de superficie, así como el número de frutos por racimo presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos. Para la variable peso medio de frutos no se encontró diferencia significativa.

Cuadro 15. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para rendimiento y sus componentes en jitomate.

FUENTE		CUADRADOS MEDIOS			
DE VARIACIÓN	G.L.	Rendimiento (kg·m ⁻²)	Número de frutos por m ²	Peso medio de frutos (g)	Número de frutos por racimo
Bloque	3	18.58**	603.88NS	146.59NS	0.49NS
Tratamiento	8	21.26**	1487.06**	103.75NS	1.35**
CME	24	3.94	366.36	108.88	0.25
Media general		20.34	181.16	112.72	4.99
CV		9.76	10.56	9.25	0.02

* significativo $\alpha = 0.05$. **altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS = No significativo
CME= cuadrado medio del error. CV= Coeficiente de variación

Según los resultados de las pruebas de comparación de medias (Cuadro 16), el rendimiento por unidad de superficie fue mayor estadísticamente para el tratamiento Pir-25-1,2,3,2,1 (25 pl·m⁻² con un arreglo del dosel en forma piramidal), con un rendimiento de 25.54 kg·m⁻²

El mayor número de frutos por unidad de superficie correspondió al mismo tratamiento Pir-25-1,2,3,2,1 donde se cosecharon 219.5 frutos, siendo estadísticamente mayor a los tratamientos R1-36-CR, R1-25-CR y Pir-20-1,3,1; con el resto de los tratamientos no existieron diferencias estadísticas. Para la variable peso medio de frutos no se encontraron diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos, siendo esto un indicativo de que se puede incrementar la densidad de plantas por unidad de superficie sin afectar considerablemente el tamaño.

Cuadro 16. Comparación de medias de tratamientos para rendimiento por unidad de superficie y sus componentes en jitomate.

RATAMIENTOS	Rendimiento (kg·m ⁻²)	Número de frutos por m ²	Peso medio de frutos (g)	Número de frutos por racimo
Pir-25-1,2,3,2,1	25.54 a	219.50 a	116.05	4.87 bc
R2-16-CR	21.66 ab	186.25 a	116.77	5.82 ab
R3-12-CR	21.15 ab	183.25 ab	115.45	5.07 abc
R1-36-CR	19.97 b	171.25 b	116.77	4.77 bc
Testigo	19.84 b	189.75 ab	105.22	3.95 c
R1-36-D	19.58 b	191.00 ab	104.37	5.30 ab
Pir-25-1,3,1	19.32 b	175.50 ab	110.30	5.00 abc
R1-25-CR	18.25 b	155.25 b	117.60	6.20 bc
Pir-20-1,3,1	17.75 b	158.75 b	111.95	5.67 ab
Media general	20.34	181.16	112.72	5.17
DMS (Tukey 0.05)	4.77	46.00	25.08	1.21

DMS= Diferencia mínima significativa

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Estos resultados dan sustento a las hipótesis postuladas con relación a que hay un mayor rendimiento por unidad de superficie al cosechar 45 racimos en vez de 25, sin afectar el peso medio de frutos y a la hipótesis que plantea que hay un mejor aprovechamiento de la RFA en un dosel piramidal que en un dosel uniforme. Los resultados obtenidos indicaron que manejando una densidad alta (25 pl·m⁻²), con la distribución de plantas en cinco hileras y la combinación de niveles de despunte (a 1, 2 ó 3 racimos por planta) se formó un dosel piramidal que incrementó el número de racimos de 25 que se cosecharon en un dosel uniforme a 45 por m², sin afectar el tamaño y peso medio de los frutos, debido a que se optimizó la RFA incidente en el dosel, logrando una

mayor fotosíntesis y acumulación de materia seca por unidad de superficie. Estos resultados son congruentes con lo reportado por Papadopoulos y Parashingham (1997), quienes encontraron que a altas densidades de plantas se genera una mayor biomasa, que esta asociada a un mayor IAF el cual intercepta una mayor cantidad de RFA y en consecuencia hay un mayor rendimiento de frutos. Gardner *et al.* (1985) indican que la duración del área foliar esta estrechamente relacionado con el rendimiento debido a que la intercepción de RFA por períodos largos, dan una mayor producción de materia seca, esto se favorece con la manipulación de la densidad de plantas, su distribución y la combinación de técnicas de despuntes, podas, tutorio y las imbricaciones.

En la variable número de frutos por racimo el tratamiento R1-25-CR (25 pl·m⁻²) presentó el mayor número de frutos por racimo, siendo esta diferencia estadísticamente significativa con respecto a los tratamientos testigo, R1-36-CR y Pir-25-1,2,3,2,1. El tratamiento testigo (6 pl·m⁻²) fue el que presentó el menor número de frutos por racimo, debido posiblemente a que la planta no se condujo a un tallo si no que se dejo crecer libremente, emitiendo varias ramas y racimos, lo que ocasionó una mayor competencia por los asimilados, provocando con esto un menor cuajado de frutos por racimo. Como lo indica Atherton y Harris (1986) el no podar los brotes laterales ni despuntar las plantas los asimilados son traslocados a estos puntos de crecimiento y como resultado hay menor número de flores por racimo.

Al comparar el rendimiento y sus componentes, sólo para los tratamientos donde las plantas se podaron a un racimo, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos R1-36-CR, R1-36-D y R1-25-CR (es decir los tratamientos a un racimo y 36 pl·m⁻² pero con arreglos diferentes de plantas y el tratamiento a un racimo 25 pl·m⁻²) para las variables rendimiento, número de frutos por m² y peso medio de frutos. Pero si existió diferencia significativa para número de frutos y correspondió el valor mas alto para el tratamiento R1-25-CR (6.18 frutos por racimo) y el valor más bajo fue para el tratamiento R1-36-CR, (Cuadro 17). Esto posiblemente se debió a que en este tratamiento hubo menos espació entre plantas, lo que ocasionó un mayor sombreamiento entre hojas disminuyendo la fotosíntesis y los fotoasimilados no fueron suficientes para el amarre de más frutos por racimo.

Cuadro 17. Comparación de medias, para rendimiento y sus componentes, considerando los tratamientos donde las plantas se podaron a un racimo.

TRATAMIENTOS	Rendimiento (kg·m ⁻²)	Número de frutos por m ²	Peso medio de frutos (g)	Número de frutos por racimo
R1-36-CR	19.97	171.25	116.78	4.77 b
R1-36-D	19.58	191.00	104.38	5.30 ab
R1-25-CR	18.24	155.25	117.60	6.20 a
Media general	19.26	172.50	112.91	5.41
DMS (Tukey 0.05)	5.62	46.69	32.80	1.39

DMS= Diferencia mínima significativa

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

La comparación entre los dos tratamientos manejados a la misma densidad ($36 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$), pero con diferente distribución (tratamientos R1-36-CR y R1-36-D), muestra que agrupando las plantas por mata a esa densidad, no mejora la distribución de la RFA en el dosel, pues el rendimiento por unidad de superficie y sus componentes fueron estadísticamente iguales para ambos tratamientos. En este caso no se puede sustentar la hipótesis de que en los tratamientos manejados al mismo nivel de despunte, se obtiene un rendimiento por unidad de superficie diferente, en función de la distribución de las plantas

Estos resultados no son acordes a los reportados por Ponce (1995), Sánchez (1997) y Ucan (1999), quienes reportaron que al incrementar la densidad de plantas por unidad de superficie se incrementó significativamente el rendimiento. Esto probablemente se debió a que se trabajó a densidades mayores a las que ellos manejaron, lo que ocasionó una competencia más alta entre plantas por la radiación fotosintéticamente activa, disminuyendo la producción de fotoasimilados por planta, pero no por unidad de superficie.

5.3.2. Distribución proporcional de frutos por su tamaño

En cuanto a la variación en el tamaño de frutos, el análisis de varianza (Cuadro 18) mostró diferencias altamente significativas para frutos extragrandes, en cambio para frutos grandes, medianos y chicos no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Cuadro 18. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia en la clasificación de frutos de jitomate por su tamaño.

FACTOR		CUADRADOS MEDIOS			
DE	G.L	% de frutos	% de frutos	% de frutos	% de frutos
VARIACIÓN	.	extragrandes	grandes	medianos	chicos
Bloque	3	33.24*	15.75NS	39.99NS	6.57NS
Tratamiento	8	31.79**	21.10NS	15.35NS	3.78NS
CME	24	9.91	22.02	19.76	10.64
Media general		13.96	51.00	26.21	8.82
CV		22.53	9.20	16.95	36.96

* Significativo $\alpha = 0.05$. **Altamente significativo $\alpha = 0.01$ NS = No significativo

En el Cuadro 19 se puede observar que la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) no detectó diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos de las variables analizadas, aunque para la variable porcentaje de frutos extragrandes (diámetro del fruto >8 cm), el análisis de varianza arrojó diferencias altamente significativas. En todo caso vale señalar una marcada tendencia a disminuir el porcentaje de este tamaño de frutos en los tratamientos con mayor densidad de plantas por unidad de superficie y para el tratamiento testigo ($6 \text{ pl} \cdot \text{m}^{-2}$) donde se cosecharon 7 racimos por planta, el cual presentó únicamente un 10.32 % de frutos extragrandes y fue el tratamiento R1-25-CR ($25 \text{ pl} \cdot \text{m}^{-2}$) el que presentó más alto porcentaje (17.50%).

Cuadro 19. Comparación de medias de tratamientos para tamaño de frutos por unidad de superficie en jitomate.

TRATAMIENTOS	% de frutos extragrandes	% de frutos grandes	% de frutos medianos	% de frutos chicos
R1-25-CR	17.50	49.17	23.90	9.15
R3-12-CR	16.50	50.02	25.22	8.30
R2-16-CR	16.37	47.90	26.25	9.50
Pir-25-1,2,3,2,1	15.95	50.45	24.40	9.22
Pir-20-1,3,1	14.12	51.02	28.17	6.72
R1-36-CR	12.87	51.85	27.00	8.27
R1-36-D	10.92	55.65	24.25	9.22
Pir-25-1,3,1	10.90	53.10	27.10	8.90
Testigo	10.32	49.87	29.67	10.12
Media general	13.96	51.00	26.21	8.82
DMS (Tukey 0.05)	7.56	11.27	10.68	7.84

DMS= Diferencia mínima significativa

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa

Se puede observar que con excepción de los frutos extragrandes, el tamaño y porcentaje de frutos de cada calibre no fueron afectados por el manejo de diferentes densidades, distribuciones de planta o niveles de despunte, por lo que las diferencias en rendimiento por unidad de superficie entre tratamientos se debió principalmente a las diferencias en el número de frutos por unidad de superficie entre tratamientos.

Para el caso de los frutos grandes (8 cm de diámetro del fruto) aunque no existieron diferencias estadísticas, el mayor porcentaje correspondió al tratamiento R1-36-D (36 pl-m⁻² distribuidas en tres hileras y dos plantas por

mata despuntadas a un racimo) con 55.65% y el más bajo fue para los tratamientos R1-25-CR (25 pl·m⁻² despuntadas un racimo) y tratamiento testigo con 49.17% y 49.87%; en cambio para los frutos medianos (6 cm de diámetro) y chicos (4 cm de diámetro) el mayor porcentaje fue para el tratamiento testigo con 29.67% y 10.12% respectivamente; este comportamiento se puede observar en la Figura 5. Esto posiblemente se debió a que en este tratamiento las plantas se dejaron crecer en forma libre y se despuntaron hasta los siete racimos, ocasionando con esto una fuerte competencia de fotoasimilados entre los racimos y la formación de tejido vegetativo.

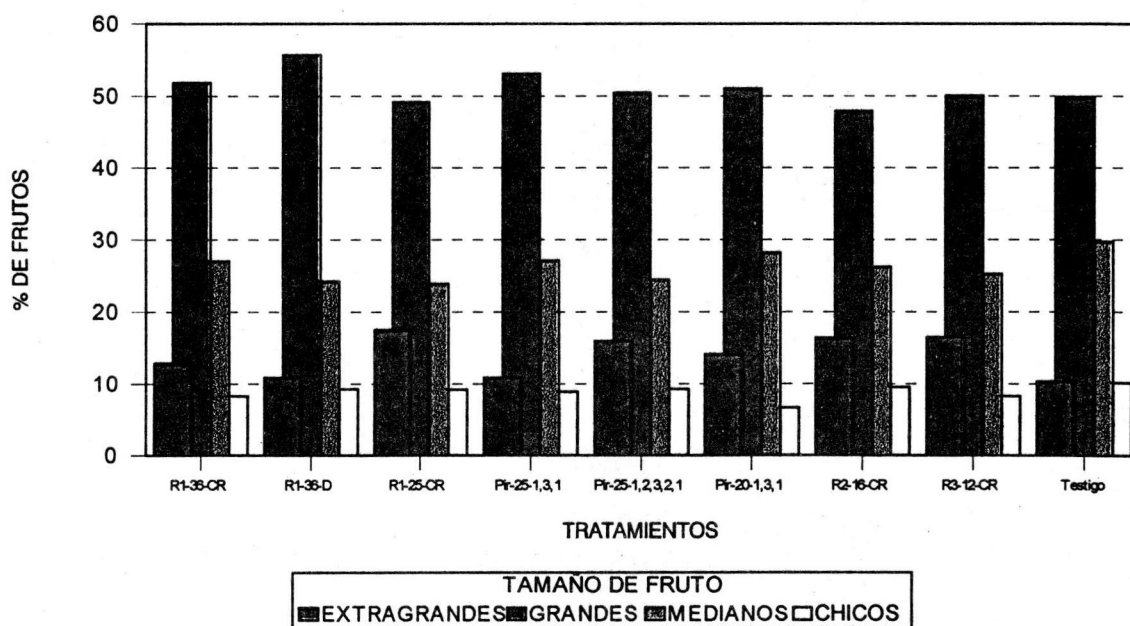


Figura 5. Comportamiento porcentual del tamaño de frutos de jitomate por unidad de superficie útil

Con relación a la precocidad de la cosecha se encontró que el 96% de la producción se cosechó en el quinto corte (148 dds) en los tratamientos

manejados a alta densidad (36 y 25 pl·m⁻²) y despuntados a un racimo, en cambio para los tratamientos donde se dejaron dos ó tres racimos por planta el porcentaje fue de alrededor del 92% y en el testigo donde se cosecharon 7 racimos por planta fue del 62%; el comportamiento de los cortes por tratamiento se puede observar en la Figura 6. Cabe aclarar que el experimento se realizó como parte de una producción comercial, donde los frutos fueron cosechados en rojo y vendidos al siguiente día, esto ocasionó que las fechas de cosecha se retrasaran unos 10 días, debido a que los cortes normales se realizan cuando el fruto está “pintando”; el ultimo corte en el tratamiento testigo se hizo cuando los frutos presentaron esta característica (frutos “pintando”).

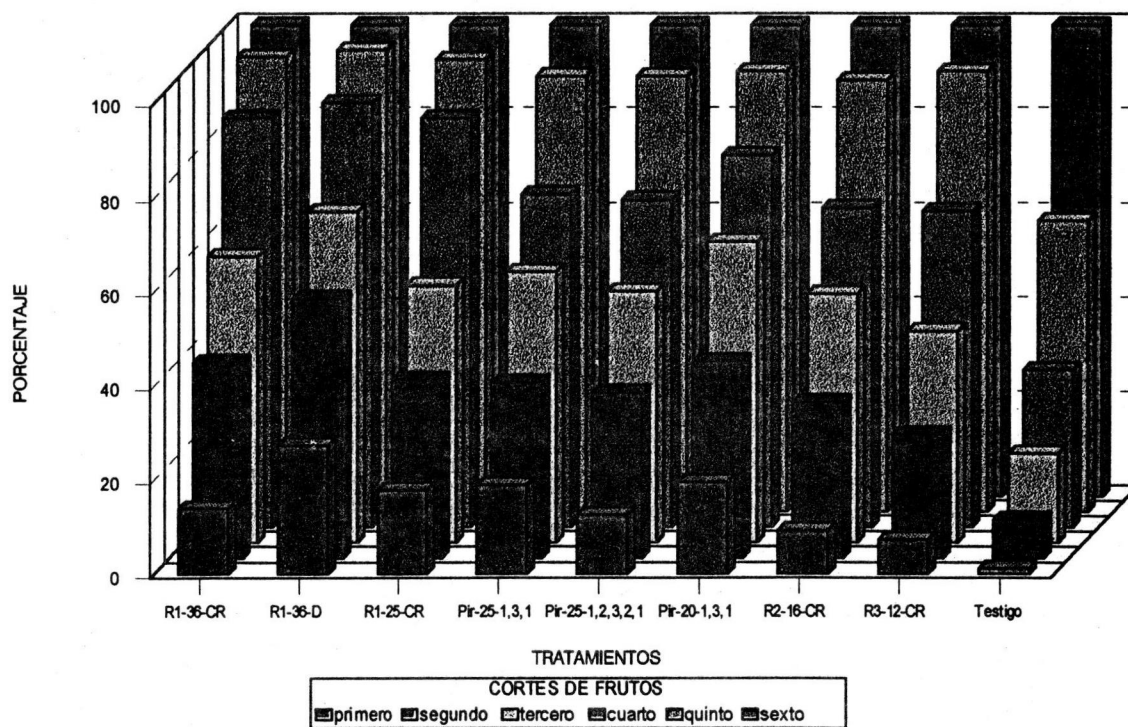


Figura 6. Rendimiento porcentual acumulado por corte en el cultivo de jitomate

En base a los resultados obtenidos se observó claramente que al despuntar las plantas a un racimo, hay mayor precocidad (ciclo de producción más corto). Resultados similares reportan Sánchez y Corona (1994) al estudiar el comportamiento de 6, 9, 16, 20 y 24 pl·m⁻² con despuntes a 1 ó 2 inflorescencias y sin despunte (testigo) y Ponce (1995) al evaluar 12, 16 y 24 pl·m⁻² con despuntes a tres, dos y un racimo por planta respectivamente y el testigo sin despuntar (6 pl·m⁻²).

Esto da sustento a la hipótesis que postula que con altas densidades de plantas podadas a 1, 2 ó 3 racimos se incrementa la productividad, debido a que se obtienen rendimientos similares en menor tiempo que al usar bajas densidades; aunque en este caso se obtuvo un rendimiento superior estadísticamente en el tratamiento Pir-25-1,2,3.2,1 (25 pl·m⁻² con dosel piramidal) con respecto al testigo (6 pl·m⁻²).

VI. CONCLUSIONES

De las hipótesis planteadas y de los resultados obtenidos en el presente estudio en plantas de jitomate conducidas a diferentes densidades, arreglos, distribuciones y niveles de despunte se formularon las siguientes conclusiones:

1. La mejor combinación entre densidad, arreglo, distribución y nivel de despunte de las plantas de jitomate fue para el tratamiento Pir-25-1,2,3,2,1, donde la densidad fue de $25 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ y se formó un dosel piramidal que presentó el mayor rendimiento por unidad de superficie.
2. El dosel tipo piramidal aprovechó mejor la radiación fotosintéticamente activa incidente, que un dosel uniforme, lo que le permitió producir un mayor rendimiento por unidad de superficie, debido a que se cosecharon más frutos por m^2 , sin disminuir significativamente el tamaño y peso medio de los frutos.
3. El arreglo y distribución de plantas en densidades de 25 ó 36 plantas por metro cuadrado despuntadas a un racimo, no afectó al rendimiento y a sus componentes (peso medio de frutos, número de frutos por racimo).

4. El arreglo y distribución de plantas despuntadas a un racimo a la densidad de 36 plantas por metro cuadrado, no afectó el rendimiento por unidad de superficie.
5. Los tratamientos manejados a alta densidad (36 y 25 pl·m⁻²) con plantas despuntadas a un racimo, presentaron menos días del trasplante al termino de la cosecha.
6. Las densidades, arreglos, distribuciones de plantas y niveles de despunte no afectaron los porcentajes de frutos (extragrandes, grandes, medianos y chicos) cosechados.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Atherton, J. G. and G. Jarris P. 1986. Flowering. In: the tomato crop. Atherton, J. G. and J. R. Rudich (ed). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra. 167-200 p.
- Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. Primera edición en Español. Segunda reimpresión. A. G. T. Editor, S. A. 784 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. 17-21 pp.
- Calvert, A. 1964. The effect of air temperature on growth of young tomato plants in natural light conditions. Journal of Horticultural Science. 39:194-211.
- Cancino B., J., F. Sánchez del C. Y P. Espinosa R. 1991. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Revista Chapingo 73-74:26-30. Departamento de fitotecnia, UACH: Chapingo, México.

- Castro B., R. 1992. Respuesta a la aplicación de B-9, tipo de poda en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en altas densidades de población bajo invernadero en un sistema hidropónico. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 117 p.
- Casseres E., 1984. Producción de Hortalizas. I.I.C.A. Segunda reimpresión. San José, Costa Rica. 287 p.
- Contreras M., E. 1996. Efecto del metanol y auxinas sobre los procesos fisiológicos y componentes del rendimiento en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, México. 129 p.
- De Santiago J., 1997. Hortalizas en invernadero: Canadá, Estados Unidos y México. Productores de Hortalizas No. 3: 8-9. Marzo de 1997.
- Donald, C. M. 1968. The Breeding of crop ideotypes. Euphytica 17:385-403.
- Espinosa R., P. 1996. Uso de luz fluorescente suplementaria y retardadores de crecimiento (Cycocel y B-9) en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.
- FAO. 1996a. Production Yearbook. Vol.50. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 235 p.
- FAO. 1996b. Trade Yearbook. Vol.50. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 400 p.

- Folquer, F. 1979. El tomate. Estudio de la Planta y su producción. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 105 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México. México, D.F. 217 p.
- Gardner, F. P.; Pearce, R. B. and Mitchel, R. L. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Iowa, EUA. 327 p.
- Garza L., M. 1985. Las hortalizas cultivadas en México, Características Botánicas. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 4-6
- González I., A. 1991. El jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), aspectos relevantes para su cultivo en México. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 666 p.
- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana Cuba. 350 p.
- Hall, D. O. and RaoK. 1977. Photosynthesis. Second Edition Studies in Biology No. 37. Edward Arnold Publishers. LTD. 71 p.
- Hernández G., A. 1993. Evaluación de tres densidades y dos tipos de poda en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.

- Hernández G., V. M. 1989. Respuesta a la distancia de plantación y tipo de poda en el cultivo hidropónico de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero rústico. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 54 p.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. The Institute of Biology Studies in biology No. 96. First published by Edward Arnold. 69 p.
- Hurd, R.G. and A. J.Cooper. 1970. The effect of early low temperature treatment on yield of single inflorescence tomatoes. Journal Hort. Sci. 45:19-27.
- Kinet, J. M. 1977. Efecct of defoliation and growt substances on the develoment of the inflorescence in tomato. Scientia Horticulturae 6:27-35.
- Koning, A. N. M. 1996. Model predictions of optimum shoot density an truss size in glasshouse tomato. International Workdshop on Grennhouse Crop Models. Acta horticulturae 417:99-116.
- Larcher, W. 1980. Physiological Plant Ecology. 2ª Edición. Springer-Verlag. Berlín. 303 p.
- Loomis, R. S. and W. A. Williams. 1969. Productivity and morphology of crop stands patterns with leaves. In: Physiological aspects of cop yield. Dinauer, C. R. (editor). American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. Madisson, Wisconsin, EUA. 27-51 pp.
- Marrero L., P. 1986. Influencia de Algunos Factores Ecológicos Sobre el Crecimiento del Tomate. Instituto Superior de Ciencias de la Habana. La Habana, Cuba. 42 p.

- Maroto J., B. 1992. Horticultura Herbacea Especial. Tercera edición. Editorial Muni-Prensa. Madrid, España. 533 p.
- McAvoy, R. J. and H. Hanes W. 1989. Tomato plant photosynthetic activity as related to canopy age and tomato development. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114(3):478-462 p.
- Mitchell, R. L. 1970. Crop Growth and Culture. The Iowa State University Press. 349 p.
- Mock, J. J. and R. B. Pearce. 1975. An ideotype of maize. Euphytica 24:613-623.
- Monteith, J. L. 1981. Does light limit crop production. In: Physiological processes limiting plant productivity. Johnson C. B. (editor). The Camelot Press. Londres, Inglaterra. 23-38 pp.
- 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. CIESTAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 120 p.
- Murillo B., J. 1989. El cultivo de jitomate en México. Apuntes de horticultura. División en Ciencias Agropecuarias. UNAM, México. 80 p.
- Nuez, F. 1995. El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Papadakis, J. 1980. Ecología de cultivos, pasturas y suelos. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina. 283 p.

- Papadopoulos, A. P. and Ormrod D. P. 1990. Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. Canadian Journal of Plant Science. 70:2, 565-573 pp.
- Papadopoulos, A. P. and S. Pararajasinghan. 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Scientia Horticulturae. 69:1-29.
- Pérez G., M., F. Márquez S. y A. Peña L. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 380 p.
- Ponce O., J. 1995. Evaluación de diferentes densidades de plantación y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 96 p.
- Ponce O., J. 1998. Efecto de modificaciones al ambiente y a las relaciones fuente-demanda sobre la floración de jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 70 p.
- Ramos, E. y L. Rallo. 1992. Nueva Horticultura. Tecnología y Economía de los Sistemas Hortícolas Intensivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 57-135 p.

Randolph, A. 1999. Tips de Producción Intensiva: Análisis de los Diferentes Sistemas de Producción. Productores de Hortalizas No. 4: 16-18. Abril de 1999.

Resh H., M. 1992. Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. 369 p.

Rhee, H. C.; Choi Y. H.; Kweon G. B. and Kang K. Y. 1997. Studies on the establishment of tomato nutrient culture for low truss fruit setting. Journal of Horticultural Science 39:2, 27-32.

Rodríguez R., R., J. M. Tabares R. y J. A. Medina S. J. 1989. Cultivo Moderno del Tomate. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.

Rodríguez A., E. 1995. Efecto de la poda y densidades de población en el rendimiento y calidad del fruto de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 74 p.

SAGAR. 1997. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo 1. 721 p.

Salisbury F., B. y W. Ross. 1992. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericano. México D.F. 759 p.

Sánchez Del C., F. 1978. Hidroponia estudio de un sistema de producción agrícola. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 232 p.

- Sánchez Del C., F. 1994. Relaciones entre fuente y demanda en jitomate manejado con despuntes y altas densidades de población. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 110 p.
- Sánchez Del C., F. 1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos México. 189 p.
- Sánchez Del C. F., P. Espinosa R. 1986. Producción superintensiva de jitomate en hidroponia bajo condiciones de invernadero rústico (línea de investigación). Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Sánchez Del C., F. Y E Escalante R. 1988. Hidroponia. Un sistema de Producción de Plantas. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. 194 p.
- Sánchez Del C., F., P. Espinosa R. y E. Escalante R. 1991. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponia bajo invernadero. Avances de investigación. Revista Chapingo. 78:62-68.
- Sánchez Del C., F. 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
- Serrano C., Z. 1978. Cultivo de Hortalizas en Invernaderos. Editorial AEDOS. Barcelona, España. 431 p.
- Serrano C., Z. 1987. Tomates, Pimiento y Berenjena en Invernadero. Ministerio de Agricultura. Madrid, España. 107-145 pp.

- Serrano C., Z. 1994. Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 444 p.
- Serrano C., Z. 1996. Veinte Cultivos de Hortalizas en Invernadero. Editorial RALI S.A. 638 p.
- Sobrinho I., A. 1989. Tratado de Horticultura Herbácea. Hortalizas de Flor y de Fruto. Editorial AEDOS. Barcelona, España. 352 p.
- Srinivasa, N. K. And R. M. Bhatt. 1989. Sink-source relationships in five cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) differing in total solid content of fruit. Indian Journal of agricultural Sciences 59(6): 368-373.
- Tamaro, D. 1988. Manual de Horticultura. Tercera Edición. Editorial Gustavo Mili S.A. Barcelona España. 593 p.
- Taylor, Y. B. 1986. Biosystematics of the tomato. In: The tomato crop. Atherton, J. G. and J. Rudich (ed.). Chapman and Hall. Londres Inglaterra. pp. 34
- Ucán Ch., I. 1999. Efecto del manejo de relaciones fuente-demanda sobre el tamaño del fruto de jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Valadez L., A. 1990. Producción de Hortalizas. Editorial LIMUSA. México D. F. 298 p.
- Villarreal, R. 1982. Tomates. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica 184 p.