

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

DENSIDADES DE POBLACIÓN Y ALTURA ENTRE TINAS

EN DOSEL ESCALERIFORME DE JITOMATE

EN HIDROPONÍA

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

EUCARIO LUCIO CRUZ ARELLANES

Chapingo, México. Diciembre de 2003.



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



Instituto de Horticultura

DENSIDADES DE POBLACIÓN Y ALTURA ENTRE TINAS EN DOSEL

ESCALERIFORME DE JITOMATE EN HIDROPONIA

Tesis realizada por Eucario Lucio Cruz Arellanes, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

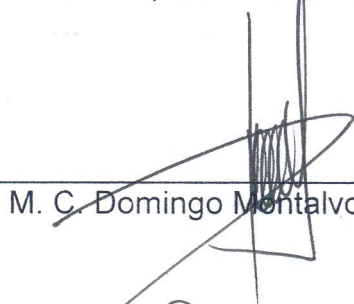
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



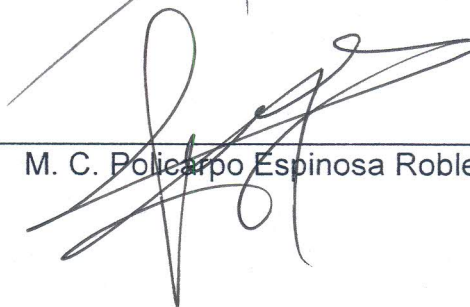
Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR:



M. C. Domingo Montalvo Hernández

ASESOR:



M. C. Policarpo Espinosa Robles

Chapingo, Estado de México. Diciembre de 2003.

DATOS BIOGRÁFICOS

El Autor de la presente tesis, E. Lucio Cruz Arellanes, Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia es originario del Municipio de Santa Catarina Cuixtla, Distrito de Miahuatlán, Oaxaca, lugar donde nació el 8 de diciembre de 1977. La educación media superior los llevó acabo en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, donde posteriormente estudió la licenciatura, titulándose con la tesis “ Caracterización de brotes vegetativos y reproductivos de 48 genotipos de tejocote (*crataegus* sp) del Banco Nacional de Germoplasma. Durante su estancia profesional en el año 2000 participó en las actividades realizadas en la producción de uva de mesa y pasa en la “Sociedad de Producción Rural el Olivar en Caborca, Sonora” . Una vez egresado, en el año 2001, laboró en la empresa “AgrosNavidad” como encargado general de vivero para la producción de árboles de navidad en el Rancho tres encinos, Valle de Bravo , Estado de México.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico, por el cual no hubiera sido posible llegar a feliz termino en mis estudios de Maestría.

Al Dr. Felipe Sánchez Del Castillo por su paciencia, confianza brindada, sus acertadas observaciones para la revisión del presente trabajo de investigación.

Al M. C. Domingo Montalvo Hernández, por su valiosa orientación y apoyo en la realización del experimento y revisión de la presenta investigación.

Al M. C. Policarpo Espinosa Robles, por la asesoría brindada en el experimento y para la revisión de este documento.

Al Dr. Mario Pérez Grajales por las observaciones al presente trabajo.

Al Dr. Raúl Nieto Ángel, por su apoyo incondicional en todos los aspectos, confianza y amistad.

Al Sr. Gabriel y Eusebio por su amistad y su valioso apoyo para la realización del presente experimento.

A mis amigos y compañeros, por su amistad.

DEDICATORIA

A Jehová Dios, por darme la vida y la fortaleza espiritual para cumplir con cada una de las metas que me he propuesto en la vida.

Con mucho cariño y respeto a mis padres, Juan y Emma, por su comprensión, cariño, apoyo y gran ejemplo de espíritu de lucha.

A mis hermanos Blandino, Antonio, Adelina y Francisco, por su cariño, apoyo incondicional en todo momento, y a quienes quiero mucho.

A mis sobrinos Sergio, Yesenia, Vanesa, Misael y Daniel, por alegrarme la vida cada vez que estoy con ellos y por el gran cariño que les tengo.

A mis tíos y primos, por su apoyo y por la gran unión que siempre ha existido en nuestras familias.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo	9
1.2. Hipótesis	9
II. REVISION DE LITERATURA	10
2.1. Importancia del jitomate	10
2.2. Invernaderos	11
2.3. Hidroponia	14
2.4. La radiación solar	16
2.4.1. Conceptos y términos básicos	16
2.4.1.1. Energía radiante o radiación	16
2.4.1.2. Irradiancia	17
2.4.1.3. Radiación fotosintéticamente activa (RFA)	17
2.4.1.4. Unidades de medida	17
2.4.2. Aspectos generales	18
2.4.3. Valor Energético de la radiación solar	19
2.4.4. Transmisión de radiación solar en invernaderos	21
2.4.5. Distribución y uso de la energía solar aprovechada por la planta	23
2.5. Efecto de la radiación solar en las plantas	26
2.5.1. La irradiancia y su duración	26
2.5.2. La fotomorfogénesis	29
2.6. Dosel de vegetación natural	32
2.6.1. Coeficiente de absorción de radiación	34

2.6.2. Importancia y cambios en la densidad del flujo fotónico en el dosel	36
2.7. Requerimientos de radiación solar en el cultivo de jitomate	37
2.7.1. Características de las hojas con relación a la radiación	39
2.7.2. Efecto de la radiación solar en el suministro de fotoasimilados a los frutos	41
2.8. Densidades de población en jitomate	46
2.9. Doseles escaleriformes	52
III. MATERIALES Y MÉTODOS	55
3.1. Ubicación del experimento	55
3.2. Invernadero, contenedor y sustrato	55
3.3. Material vegetal	57
3.4. Semillero	57
3.5. Descripción de los tratamientos y diseño experimental	58
3.6. Conducción del cultivo	60
3.7. Variables evaluadas	62
3.7.1. Muestreo destructivo	63
3.8. Análisis de la información	65
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.1. Análisis global de tratamientos	66
4.1.1. Rendimiento y sus componentes	66
4.1.2. Variables morfológicas	68
4.2. Análisis por hileras	71
4.2.1. Rendimiento y sus componentes	72
4.2.2. Variables morfológicas	81
V. CONCLUSIÓN	90
VI. RECOMENDACIONES	90
VII. LITERATURA CITADA	91

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Tratamientos evaluados considerando dos alturas de tina y tres densidades de plantación en un sistema de dosel en doble escalera	58
Cuadro 2. Nutrimentos, concentraciones y fertilizantes con los que se preparó la solución nutritiva	61
Cuadro 3. Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes, para diferencia en altura entre tina y densidades de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	66
Cuadro 4. Comparación de medias para rendimiento y sus componentes, para la diferencia de altura entre tina y densidades de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	67
Cuadro 5. Cuadrados medios para caracteres morfológicos para la diferencia de altura entre tina y densidades de población en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	69
Cuadro 6. Comparación de medias para caracteres morfológicos, para diferencia en altura entre tina y densidades de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	70
Cuadro 7. Cuadrados medios para las variables de rendimiento y sus componentes, para los factores diferencia de altura, ubicación de hilera y densidades de población y sus interacciones, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	72

Cuadro 8. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes, para los factores diferencia de altura, ubicación de hilera y densidades de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	74
Cuadro 9. Cuadrados medios para caracteres morfológicos para los factores diferencia de altura entre tinas, ubicación de hilera y densidades de población y sus interacciones, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	81
Cuadro 10. Comparación de medias para caracteres morfológicos, para los factores diferencia de altura entre tinas, ubicación de hilera y densidades de población y sus interacciones, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Contenedores de lamina galvanizada.	56
Figura 2. Ubicación de hileras.	56
Figura 3. Tratamientos para el nivel de altura a 50 cm.	56
Figura 4. Diferencia en altura entre tina.	56
Figura 5. Croquis del Diseño Experimental (Completamente al azar en arreglo en parcelas divididas).	59
Figura 6. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable rendimiento por planta de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.	76
Figura 7. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable rendimiento por m ² útil de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.	77
Figura 8. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable frutos por planta de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.	78
Figura 9. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable frutos por m ² útil de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.	79
Figura 10. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y densidades de población, para la variable altura de planta de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.	85

RESUMEN

Densidades de población y altura entre tinas en dosel escaleriforme de jitomate en hidroponía.

Con el objetivo de incrementar el rendimiento por unidad de superficie de jitomate (cv Girona), conducida a un tallo y despuntado a tres racimos, en hidroponía bajo invernadero, en un sistema de dosel en doble escalera. Se compararon tres densidades de población (25, 30 y 35 plantas/m²) y dos diferencias en altura entre tinas de hileras de plantas contiguas (40 y 50 cm). El dosel de doble escalera consistió de 5 tinas orientadas norte-sur cada una de 20 cm de altura y anchura, por 2.44 m de largo. En cada tina se colocaron las tres densidades de población, que correspondió a la parcela chica, mientras que las diferencias de altura entre tinas contiguas constituyó la parcela grande. El diseño utilizado fue completamente al azar con cinco repeticiones. Las variables evaluadas fueron: rendimiento por planta y por m² útil, peso promedio y número de frutos por planta y por m² útil, altura final de planta, diámetro de tallo y área foliar estimada. Sólo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) para la variable altura final de planta y el número de frutos por m² útil. La mayor altura de planta (135 cm) se registró a una diferencia de altura entre tinas de 40 cm. En tanto que el mayor número de frutos (342) se obtuvo a una densidad de población de 35 plantas/m² y la menor (274) en 25 plantas/m².

Palabras Clave: Podas, rendimiento, hidroponía, doseles.

ABSTRACT

Population densities and height between containers in stair-like canopy of tomatoes in hydroponics.

In order to increase the yield per surface of *cv Gironde* tomatoes, trained on one stem and pruned at the third inflorescence, in hydroponics under greenhouse conditions, an arrangement of plants forming a stair-like canopy was evaluated. Three population densities (25, 30 and 35 plants/m²) and two differences in height (40 and 50 cm) between adjacent rows of plants were compared. The plants were placed in sets of five rows in north-south direction and each one was 20 cm high and wide by 2.44 m long. Three population densities were placed in each container, forming the subplot, while the differences in height between adjacent containers made up the large plot. The design used was completely random with five repetitions. The variables that were evaluated were: weight of all the fruit per plant, weight of all the fruit per plant per surface, weight of each individual fruit, number of fruit per plant, number of fruit per m², final plant height, stem diameter and estimated leaf area. The only significant statistical differences ($\alpha = 0.05$) were in the variables for final plant height and number of fruit per m² of effective surface. The greatest plant height (135 cm) was found at a difference of height between 40 cm containers. With respect to the largest number of fruit per surface, the largest (342) was obtained in a population density of 35 plants/m² and the smallest (274) was obtained in a population density of 25 plants/m².

Key words: pruning, yield, hidroponics, canopy.

I. INTRODUCCION

El incremento de la población mundial, ha hecho necesario en el sector agropecuario la generación de nuevas tecnologías (plasticultura, riego por goteo, hidroponia, sistemas computarizados aplicados a la agricultura, etc.) con la finalidad de aumentar el rendimiento por unidad de superficie y la calidad de los productos alimenticios para el mercado demandante. Los principales obstáculos que se han tenido en el proceso de producción agrícola son los efectos negativos del clima (frío, sequías, lluvias excesivas, plagas, enfermedades, etc.), así como, la superficie cada día más reducida destinada a la agricultura, debido a la creciente utilización de éstas en la construcción de viviendas. El relieve tan accidentado en gran parte de la República Mexicana, ha sido otro factor muy importante, al impedir el uso de tierras para la agricultura.

Uno de los cultivos en que se ha realizado mayor investigación es el jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), esto debido a que es una especie básica en la dieta alimenticia dado su alto valor nutritivo. La cantidad de mano de obra que genera en su proceso de producción, las divisas generadas en la exportación, la gran plasticidad que presenta para su manejo a diferentes racimos, poda de hojas, siembra directa o trasplante, habito de crecimiento determinado e indeterminado, lo hacen también muy importante.

La producción de jitomate en campo abierto, es cada vez más difícil de realizar debido a las condiciones ambientales adversas, como las antes

mencionadas. Sin embargo, el mercado de este producto exige cada vez mayor calidad, lo cual hace más complejo el sistema de producción. En México existen grandes regiones de producción de jitomate en campo abierto, como la del Noroeste (Sinaloa, Sonora y Baja California), la costa del Pacífico (Nayarit, Jalisco, Michoacán), la zona Centro Norte (San Luis Potosí), las cuales permiten el abasto del mercado interno durante casi todo el año. Esta es la principal razón por la que la producción de jitomate en invernaderos en México no se ha desarrollado como en los países Europeos. No obstante, existe la posibilidad de hacer uso de ellos para la producción intensiva en las épocas donde las condiciones ambientales en casi todo el país son adversas (bajas temperaturas ó precipitación), periodos en los cuales el precio del jitomate comúnmente se eleva y que coincide en los meses de julio y finales de noviembre. En el sistema de producción de jitomate en invernadero se pretende alcanzar altos rendimientos por unidad de superficie y muy buena calidad a través del control de la nutrición, temperatura, luz y crecimiento de la planta, principalmente (Pérez, 2000).

El sistema de producción de jitomate en invernadero que normalmente se practica en Europa y en Estados Unidos, consiste en el uso de variedades de hábito indeterminado, con frutos de tipo esférico (bola). Las plantas son sembradas en suelo mejorado o en sustratos hidropónicos a densidades que van de 2 a 3 plantas por m² y se dejan crecer hasta 2, 3 o más metros de altura, para cosechar de 10 a 20 racimos por planta en un solo ciclo de cultivo por año. El rendimiento promedio bajo este sistema fluctúa de 200 a

400 t ha⁻¹ año⁻¹ (Picken, 1984; Van de Vooren *et al.*, 1986; FAO, 1990; Resh, 1992).

En este sistema de cultivo, el índice de área foliar (IAF) aumenta continuamente y por lo tanto, la densidad de población se calcula considerando que las plantas van a crecer a más de 3 m de altura. El índice de cosecha y la biomasa por unidad de superficie son generalmente altos, pero por lo prolongado del ciclo la producción de biomasa por año es relativamente baja; la razón principal es que el IAF óptimo para una máxima interceptación de radiación fotosintéticamente activa (RFA) por el dosel tarda mucho tiempo en establecerse, y con frecuencia este IAF óptimo se sobrepasa al continuar el crecimiento de las plantas, ocasionando que la competencia por la RFA llegue a afectar a las plantas en forma negativa. Otras limitantes de este sistema debido al ciclo tan largo es que se tiene una mayor propensión a enfermedades, un uso ineficiente del invernadero, invernaderos altos lo cual los hace más propensos a la acción del viento teniendo que reforzar las estructuras lo que encarece aun más el costo del invernadero, dificultad del manejo del cultivo y poco control en el precio de venta (Sánchez *et al.*, 1999).

De acuerdo con Charles-Edwards *et al.* (1986) y Gardner *et al.* (1990), entre más pronto se logre y se mantenga el IAF óptimo para una máxima interceptación de RFA, mayor rendimiento por unidad de superficie podrá lograrse.

El rendimiento por unidad de superficie por año está limitado por el número de frutos que se pueden cosechar por unidad de superficie y por el peso medio de los frutos. El número de frutos que se pueden obtener por metro cuadrado por año depende del número de racimos cosechados por metro cuadrado por año y del número de frutos por racimo y el número de racimos cosechados por metro cuadrado por año, esta en función del número de plantas cultivadas por metro cuadrado multiplicadas por el número de ciclos por año y por el número de racimos cosechados por planta. En un sistema de producción convencional se manejan en promedio 2.5 plantas m^{-2} dejando 20 racimos por planta en un ciclo que dura prácticamente todo el año, con lo que se cosechan los frutos de 50 racimos. Si cada racimo pesa entre 600 y 800 g el rendimiento anual oscila entre 300 y 400 ton/ha/año (que es el promedio de lo que se obtiene con los sistemas hidropónicos bajo invernadero en países como Holanda y Canadá).

En la Universidad Autónoma Chapingo, en los últimos 15 años se ha trabajado en una línea de investigación en donde se ha definido una nueva tecnología de producción de jitomate en hidroponia bajo invernadero en al que se pretende, que sin perder la eficiencia técnica, que sea más barata y sencilla en su manejo, a fin de que mas productores puedan tener acceso a ella. Uno de los paquetes tecnológicos generados consisten en el sistema de trasplantes tardíos, despuntes tempranos (tres racimos por planta) y altas densidades de población (8 plantas/ m^2) en donde se logran obtener 24 racimos/ m^2 en un ciclo de 3 meses del trasplante a cosecha (Ponce, 1988; Sánchez *et al.*, 1999), lo que permite hasta cuatro ciclos de cultivo al año

cosechando 96 racimos/m²/año. Si se logra mantener el promedio de 600 y 800 gramos por racimo, el rendimiento anual podría sobrepasar las 700 toneladas/hectárea/año.

Ensayos comerciales y experimentales (Ucan, 1999; Jorge, 1999; Vázquez, 2002; Méndez, 2002; Balderas, 2003), muestran que rendimientos de 200 toneladas/hectárea/ciclo son comunes bajo este sistema y por lo tanto son potencialmente factibles 800 toneladas/hectárea/año. La otra gran ventaja del sistema de despunte temprano y altas densidades de población (que no tienen los sistemas convencionales) es que existe la posibilidad y facilidad de concentrar toda la cosecha de un ciclo en un intervalo de tiempo corto, que se puede hacer coincidir con las ventanas de mercado cuando el precio del jitomate es más alto.

En este sistema de producción las plantas se manejan en tinas que comúnmente son de 1.2 m de ancho, dejando de pasillos 50 cm entre tina y tina. Se ha estudiado que la densidad óptima a colocar en cada tina es de cuatro hileras de plantas con una separación de 30 cm entre hilera así como entre plantas.

Se ha observado, sin embargo que las dos hileras de plantas que colindan con los pasillos interceptan más Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) que las dos hileras de plantas que se encuentran en el centro de las tinas. En un experimento (Ucan, 1999) mostró que debido a una menor interceptación de RFA las hileras de plantas del centro de las tinas rindieron

un 25 % menos que las hileras de las orillas. Por otro lado Jarvis (1998), señala que para plantas manejadas en tinas con varias hileras, las plantas en las hileras exteriores comúnmente reciben más RFA que la que necesitan para máxima producción y que es posible incrementar el rendimiento por unidad de superficie disminuyendo la distancia entre plantas en esas hileras (más plantas por metro lineal).

Considerando que las plantas de jitomate despuntadas a tres racimos son pequeñas (menores a 1 metro de altura) en relación a los sistemas de producción convencionales (más de 2 metros de altura), es posible dentro del invernadero lograr arreglos de plantas a distintas alturas, de tal manera que se mejore la eficiencia de la intercepción de la RFA por las distintas hojas que conforman el dosel para aumentar la Tasa de Asimilación Neta (TAN) para un mismo Índice de Área Foliar (IAF) ó bien aumentar más el IAF sin disminución de la TAN, situaciones que podrán conducir a un mayor rendimiento por unidad de superficie (Gardner *et al.*, 1990). A este sistema de la conformación de hileras de plantas a diferentes niveles se le ha llamado sistema de dosel escaleriforme, el cual presenta dos variantes en escalera en donde la orientación de las hileras es de E-O y escalera doble de figura triangular donde la orientación es N-S, para los dos casos la forma de escalera se lleva acabo mediante la elevación de tinas a diferente altura. Para los tres casos mencionados anteriormente el manejo puede ser en escalera o doble escalera formando una especie de triangulo. En la Universidad Autónoma Chapingo se han realizado varios trabajos de

investigación que lo validan (Jorge, 1999; Vázquez, 2000; Méndez, 2002; Balderas, 2003)

En ambientes controlados, como los propiciados por la hidroponia y los invernaderos, el principal factor limitante del rendimiento por unidad de superficie y tiempo lo constituye la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el dosel y su distribución en cada una de las hojas que lo constituyen. Si ya no hay más limitantes de agua, nutrientes, etc. Se podría pensar en incrementar la producción aumentando la densidad de población (o mejor dicho el índice de área foliar); sin embargo, el sombreamiento mutuo o la heterogeneidad con que la luz es interceptada por las diferentes hojas es el principal factor que lo impide (Sánchez *et al.*, 1999).

Gardner *et al.* (1990) mencionan que si se mejora la distribución de la radiación solar en todo el dosel (distribución equitativa entre las hojas que lo conforman) se podría lograr una mayor producción de materia seca por día y por lo tanto, un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo. De acuerdo con este autor, para una misma irradiancia diaria se produce más biomasa en aquellos doseles en que la radiación incidente se distribuye más uniformemente entre todas las hojas. Es decir, es mejor tener la mayoría de las hojas medianamente iluminadas que la mitad de las hojas muy iluminadas y la otra mitad muy sombreadas.

Con base en lo anterior en la presente investigación se evaluó el rendimiento por unidad de superficie con un arreglo de plantas en doseles en forma de doble escalera con figura triangular a base de hileras de plantas orientadas norte-sur colocadas a diferente altura, en donde para darle la elevación a las tinas y formar el dosel se utilizaron tabicones de arena–cemento.

Actualmente la demanda del consumo de jitomate producida en invernaderos presenta una preferencia por la fruta proveniente de cultivares de habito indeterminado como Gironda, que es el cultivar que se utilizó en el presente experimento. Este cultivar es de crecimiento muy vigoroso, presenta mucho follaje y aún despuntado a tres racimos alcanza una altura considerable. Es por eso que, con el objetivo de optimizar el sistema de producción de doble escalera para el cultivar Gironda en el presente experimento se estudiaron tres densidades de población (25, 30 y 35 plantas/m²) y dos diferencias de altura de tinas entre hileras de plantas (40 y 50 cm).

1.1. Objetivo

- Definir la diferencia de altura de tina y densidad de población más adecuadas, para maximizar el rendimiento por unidad de superficie del cultivar Girona despuntado a tres racimos y conducido bajo un sistema de dosel en doble escalera.

1.2. Hipótesis

- El arreglo de hileras de plantas despuntadas a tres racimos con dirección norte-sur a una diferencia de altura entre tinajas de 50 cm permite obtener los rendimientos más altos por m^2 útil de invernadero, en relación con la de 40 cm.
- La densidad de población alta (35 plantas/ m^2 útil) genera mayor rendimiento de fruto, en relación a la de baja densidad (25 plantas/ m^2 útil).
- El mayor rendimiento por m^2 útil de invernadero se obtiene a partir de la combinación en diferencia de altura entre tinajas de 50 cm y densidad de población de 35 plantas/ m^2 .

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Importancia del jitomate

El jitomate es la aportación vegetal de México más extendida mundialmente. La aceptación que tiene en las diversas culturas del mundo se evidencia por ser el segundo producto hortícola después de la papa en el consumo mundial, según los reportes de la FAO (2002), la producción mundial de jitomate fue de 108, 499, 056 toneladas. Los principales países productores son: China, Estado Unidos, Turquía, India y Egipto, estos cinco países aportan el 56 % de la producción mundial, siendo México quien ocupa el décimo lugar a nivel mundial. Con respecto a la superficie cosechada se tienen 3, 988, 589 ha⁻¹, siendo China, India Turquía, Egipto y Estados Unidos los países en donde se concentra el 52 % de la superficie cosechada.

En México para el año 2002 la producción total fue de 2, 083, 558 toneladas con una superficie cosechada de 69 533 hectáreas (FAO, 2002). La producción total de jitomate durante los últimos diez años (1991-2000) fue de 19 millones de toneladas, concentrándose el 70 % de la producción en los estados de Sinaloa (39.9%), Baja California (14.7 %), San Luis Potosí (7.9 %) y Michoacán (6.7 %) (SIEA, 2003).

Sinaloa es el mayor exportador estacional de jitomate, debido a que los productores otorgan prioridad a la exportación programando sus lotes y cortes, de tal modo que mantienen el mayor tiempo posible de la temporada,

sus expectativas en la colocación de cantidades elevadas del producto cuando se incrementa el precio por breves periodos, aumentando sus exportaciones cuando los precios en la frontera son altos, disminuyendo el suministro al mercado nacional, táctica posible gracias al tipo de semillas de origen israelí, con las que actualmente el jitomate se produce y del riego por goteo, así como el uso de la plasticultura, pasando en algunos casos a la producción en invernaderos y de la producción mediante hidroponía exclusivamente para nichos de mercado muy especializados (SIEA, 2003).

2.2. Invernaderos

Sánchez y Escalante (1989) define al invernadero como una construcción agrícola traslúcida que tiene por objeto reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y distribución de plantas en su interior, con cierta independencia del medio exterior.

De acuerdo con los siguientes autores Bernat *et al.* (1987); Sánchez y Escalante (1989); Serrano (1994): los objetivos principales del uso de los invernaderos son los siguientes;

Conseguir producciones en zonas cuyo clima no lo permite al aire libre.

Producir en zonas en que se produce normalmente al aire libre pero en época distinta de la habitual, con el fin de obtener las ventajas de mercado por presentar productos fuera de temporada.

Forzar la producción por diversos conceptos; Aumentar la producción por unidad de superficie, acortar los ciclos de las plantas permitiendo un mayor número de ciclos por año, obtener producciones en condiciones de clima adverso.

Existen otras ventajas muy importantes como son; obtención de productos de mejor calidad, mejor control de plagas y enfermedades, ahorro de agua de riego, etc.

Se estima que a nivel mundial existen alrededor de 280 mil hectáreas de frutas y hortalizas producidas bajo invernadero y en México se calcula que hay cerca de mil 800 hectáreas bajo este esquema, en los cuales se producen principalmente especies como, jitomate pimiento, pepinos y flores (González, 2003).

Sánchez y Escalante (1989) y Serrano (1994), expresan que en climas relativamente benignos, (como los existentes en buena parte del país), con invernaderos sencillos y relativamente baratos se puede lograr un control adecuado de los factores como;

Heladas y bajas temperaturas. Durante el día la radiación solar capturada por el invernadero permite su calentamiento, de tal manera que manejando la ventilación natural (apertura o cierre de ventanas) es posible lograr temperaturas de 5 a 15 ° C mayores a la exterior; sin embargo, durante la noche, la cubierta del invernadero con las ventanas cerradas sólo permite

temperatura de 1 a 3 ° C superior al exterior. Debido a esto, en climas donde se presentan heladas o temperaturas por debajo de un mínimo crítico, es necesario aportar calor artificial recurriendo a calefactores de gas propano o butano.

Vientos intensos. Aparte del efecto erosivo, los vientos intensos pueden afectar significativamente el rendimiento de los cultivos al ocasionar acames, desecación de las plantas o daños mecánicos que propician el desarrollo de enfermedades. El invernadero se puede diseñar como una herramienta para controlar la velocidad del viento en el interior; las mallas anti-afidos que se colocan en las ventanas laterales actúan como rompe vientos disminuyendo en gran medida la velocidad con que el aire penetra y también ayudan a disminuir la presión que el viento ejerce sobre la estructura del invernadero al dejarlo entrar y salir.

Control de la radiación. Mediante la cubierta del invernadero y con la ayuda de mallas es posible lograr una mejor distribución de la luz (luz difusa) en las diferentes hojas de las plantas que conforman el dosel y a intensidades menos fuertes, conduciendo así a una optimización de la fotosíntesis y de producción de materia seca por unidad de área y por unidad de tiempo.

Control de plagas y enfermedades. La cubierta del invernadero, incluyendo malla anti-afidos actúa como una barrera física contra un gran número de especies de insectos que, a cielo abierto, constituyen plagas de importancia económica ya que merman considerablemente el rendimiento potencial de

los cultivos, este control permite una notable disminución en el número de aplicaciones de plaguicidas necesarios para la obtención de la cosecha. La cubierta del invernadero también evita daños a los cultivos ocasionados por fenómenos como el granizo, la precipitación excesiva. El control de insectos vectores ó plagas, la disminución de daños mecánicos ocasionados por la lluvia o los vientos fuertes y el mantenimiento del follaje limpio y seco, favorecen el control de muchas enfermedades, por lo que también se reduce notablemente el número de aplicaciones de productos químicos,

2.3. Hidroponía

La hidroponía es un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en el agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material generalmente inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva, con el objeto de proporcionar las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo vegetal. La hidroponía es un sistema de cultivo que tiene por objeto optimizar las funciones que el suelo desempeña, es decir, proporcionarle al cultivo un sustrato con las condiciones más idóneas desde el punto de vista físico, químico y fitosanitario, eliminando a su vez la acción de todos aquellos factores que en el suelo, por su naturaleza, lo llevan inevitablemente a modificaciones que se traducen en limitantes para el desarrollo de los cultivos (por ejemplo: salinización, pérdida de textura, etc.) (Sánchez y Escalante, 1989).

Algunas de las principales ventajas que presenta el uso de la hidroponía son las siguientes; producir donde el suelo es limitante para la agricultura convencional, ahorro de agua y fertilizantes de manera significativa, así como el uso de aguas de mala calidad (pH y C.E. extremos, salinidad, exceso de algunos elementos minerales); productos de mayor calidad y sanidad (Sánchez y Escalante, 1989; Urrestarazu, 2000; Resh, 2001).

De acuerdo con Sánchez y Escalante (1989), se han desarrollado actualmente diferentes modalidades de cultivos hidropónicos, que se pueden agrupar en tres categorías: cultivo en solución, cultivo en grava y cultivo en agregado. Otros autores mencionan que también pueden clasificarse en: cultivo en agua (incluyendo la aeroponía y Nutrient Film Technique, NFT), cultivo en grava, cultivo en arena, cultivo en aserrín, cultivo en lana de roca y otros cultivos sin suelo (Resh, 2001). Recientemente Urrestarazu (2000), menciona una nueva técnica llamada NGS (New Growing System), este sistema de acuerdo con el autor tiene un gran potencial, sobre todo en áreas del mundo particularmente en las zonas con mucha competencia por el agua. Es una herramienta para el control óptimo de la nutrición de la planta ya que no contiene sustrato, lo que conlleva a conseguir un aumento de calidad y productividad.

En ambientes controlados, como los propiciados por la hidroponía y los invernaderos, el principal factor limitante del rendimiento por unidad de superficie y tiempo lo constituye la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el dosel y su distribución en cada una de las hojas

que lo constituyen. Si ya no hay más limitantes de agua, nutrientes, etc. Se podría pensar en incrementar la producción aumentando la densidad de población (o mejor dicho el índice de área foliar); sin embargo, el sombreamiento mutuo o la heterogeneidad con que la luz es interceptada por las diferentes hojas es el principal factor que lo impide (Sánchez *et al.*, 1999).

2.4. La radiación solar

2.4.1. Conceptos y términos básicos

Para tener un mejor entendimiento de la importancia de la radiación solar en las plantas es necesario hacer una pequeña revisión de los principales conceptos involucrados en éste, basados en lo que mencionan Salisbury y Ross (1994), Azcon-Bieto y Talón (2000) y Sánchez (2001).

2.4.1.1. Energía radiante o radiación: es la forma de energía que se emite o difunde en el espacio o por algún material. Se dice que es electromagnética y se propaga en forma de pulsaciones. Ciertos conceptos y ecuaciones describen de manera adecuada la naturaleza ondular de la energía radiante, pero esta energía también se comporta como un flujo de partículas. Estos corpúsculos, que carecen de masa, también pueden describirse mediante ciertas ecuaciones, así como referencia a ciertas manifestaciones. Las ecuaciones relacionan además la idea de onda al concepto de partícula, pero aún no se entiende por completo la energía

radiante. La energía radiante que podemos ver es la luz. La luz visible se considera como aquella porción del espectro electromagnético entre los 400 y 700 nm; sin embargo, las plantas responden a un espectro de luz un poco más amplio(entre 300 y 800 nm)(Salisbury y Ross, 1994).

2.4.1.2. Irradiancia. Es la cantidad de energía de radiación que incide sobre una unidad de superficie plana en un cierto intervalo de tiempo. Un termino usado como sinónimo, aunque no tan preciso es el de *intensidad luminosa*.

2.4.1.3. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA). Se llama también irradiancia fotosintética o flujo fotónico. Se refiere a la irradiancia cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y 700 nm(milimicras) es decir, el espectro de luz visible que tiene influencia sobre el aspecto fotosintético. Cuando se habla en términos de fotones se habla de flujo de fotones fotosintéticos; algunos autores hablan de densidad de flujo fotones fotosintéticos, pero el término de densidad es redundante con el flujo. Casi todas las mediciones de la irradiancia se reportan en términos de radiación fotosintéticamente activa (RFA), sin embargo hay que considerar que se puede estar hablando de irradiancia total o radiación solar incidente total (RST), que es aproximadamente el doble de la primera (sobre todo cuando se habla de $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ o $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)(Salisbury y Ross, 1994; Sánchez,2001).

2.4.1.4. Unidades de medida

De acuerdo son Sánchez, 2001, la irradiancia se mide en unidades radiométricas (basadas en la energía producida por unidad de espacio y

tiempo), cuánticas (basadas en el número de fotones incidentes en una superficie por unidad de tiempo o fotométricas (basadas en el brillo producido por la intensidad de radiación) ejemplos de unidades son:

a) Radiométricas

- $\text{Js}^{-1} \text{m}^{-2}$, o sea W m^{-2} (Watt por metro cuadrado).
- $\text{Ergs s}^{-1} \text{m}^{-2}$
- $\text{Cal cm}^{-2} \text{min}^{-1}$ (llamada también Langley min^{-1})
- $\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}$ (mega-joules por metro cuadrado por día)

b) Cuánticas

- $\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (micromoles de fotones por metro cuadrado por segundo).

c) Fotométricas

- Lux (se define como el brillo producido en una pantalla blanca, por una vela o candela a 1 m de distancia).
- Pie-bujía pie-candela (se define como el brillo producido, en una pantalla blanca, por una vela o candela a 1 pie de distancia).

2.4.2. Aspectos generales

La radiación emitida por el sol está formada por una serie de vibraciones de naturaleza electromagnética que tienen en común la velocidad de propagación ($300\,000 \text{ km seg}^{-1}$) y se diferencian en su longitud de onda. La radiación y el calor son manifestaciones de la energía transmitida por ondas (Urbano, 2001).

Para llegar a la superficie terrestre, estas radiaciones han de atravesar la atmósfera, con las siguientes consecuencias: Las radiaciones de longitud de onda más corta son absorbidas, casi enteramente, por el ozono presente en las capas altas. Puede afirmarse que, prácticamente, no llegan a la superficie terrestre radiaciones de longitud de onda inferior a $0.29\ \mu\text{m}$. De esta forma son eliminados los rayos gamma, rayos X y los ultravioletas más cortos, de gran poder de penetración y potencialmente dañinos. Las radiaciones luminosas de longitud de onda más larga (mayor ó igual a $0.535\ \mu\text{m}$) atraviesan la atmósfera con facilidad, en tanto que lo hacen con mayor dificultad las de longitud de onda más corta. Las radiaciones térmicas son absorbidas en forma variable en función del vapor de agua y del CO_2 existentes en la atmósfera. A mayor contenido de CO_2 y estado higrométrico más alto, más debilitadas llegan las radiaciones infrarrojas (Urbano, 2001).

2.4.3. Valor Energético de la radiación solar

Como se mencionó anteriormente Sánchez, (2001), menciona que el valor energético de la radiación suele expresarse en Watt por metro cuadrado (W m^{-2}) que es lo mismo que Joules por metro cuadrado por segundo (Js m^{-2}), cuando lo que se mide no es la energía la radiación si no las partículas materiales (fotones) emitidos por esta, se expresa en micromoles de fotones por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

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 la luz visible con longitudes de

onda entre 400 y 700 nanómetros (nm), un porcentaje similar es radiación infrarroja con longitudes de onda por arriba de los 700 nm y entre un 5 a 9 % es considerada radiación de onda corta (principalmente ultravioleta) con longitudes de onda menores de 300 nm. Se le llama constante solar o flujo solar a la cantidad de energía recibida sobre una superficie plana perpendicular a los rayos del sol ubicada inmediatamente fuera de la atmósfera de la tierra y equivale a 1395 W m^{-2} . La radiación solar recibida en la superficie de la tierra perfectamente perpendicular a los rayos del sol en un día sin nubosidad se reduce de 1395 a entre 976 y 1185 W m^{-2} (Gardner *et al.*, 1990)

La energía recibida al nivel de la superficie depende de los siguientes factores:

- a) La inclinación con que los rayos solares inciden sobre la superficie que recibe la radiación.
- b) Composición y transparencia en la atmósfera.
- c) El vapor de agua y el CO_2 atmosféricos debilitan las radiaciones térmicas, y las nubes, el polvo y el humo interceptan la radiación luminosa. Estos factores motivan que el valor instantáneo de la radiación solar sea variable y, lógicamente, bastante inferior al de la constante solar. En consecuencia, la energía total realmente recibida en la superficie terrestre, procedente de la radiación solar, es bastante menor de la que potencialmente pudiera esperarse (Urbano, 2001).

2.4.4. Transmisión de radiación solar en invernaderos

En México, la disponibilidad de energía solar es alta en comparación con muchos otros países, en virtud de que se encuentra dentro del cinturón de insolación anual máxima, formado por los paralelos 35 Norte y 15 Sur. México recibe el 44 % de la energía solar incidente en los Estados Unidos, no obstante que ocupa el 20 % de su extensión territorial. El promedio anual de energía total recibida diariamente equivale aproximadamente 5.5 K wh m^{-1} . La zona de mayor insolación se encuentra en el noroeste del país: alcanza 8 K wh m^{-1} en verano y su componente directo es muy alto. La menor incidencia se registra en los estados de la vertiente de Golfo de México: unos 3.5 K wh m^{-1} en los meses de invierno, con una mayor proporción de radiación difusa (Castellanos y Escobedo, 1980). La cantidad de radiación solar es un factor limitante para el desarrollo de cultivos en invernaderos durante los meses de invierno. El aumento de la radiación interior, es uno de los factores más importantes en el diseño de invernaderos (Vázquez, 1989). De la cantidad de radiación solar incidente sobre la cubierta del invernadero (techo o paredes), una parte es reflejada, otra es absorbida y otra transmitida. La radiación global transmitida al invernadero es una función compleja de la disposición relativa del sol en el ciclo con respecto a la geometría del invernadero, las características ópticas del material de cubierta, la disposición de la estructura, tamaño y la proporción de radiación directa y total fuera del invernadero (Vázquez, 1989)

Para aumentar la luminosidad en los invernaderos de plástico se puede recurrir a recubrimientos que tengan forma parabólica o semicilíndrica, de este modo, el flujo luminoso que tendrá el invernadero es casi el 90 % de la radiación total y, por lo tanto, una fracción de radiación de más del 75 % podrá pasar a través del recubrimiento. El material de recubrimiento debe favorecer la entrada de la radiación solar incidente y al mismo tiempo limitar, especialmente en las horas nocturnas, la dispersión de la energía térmica acumulada (Tognoni y Alpi, 1991)

Sánchez (2002) menciona que a una intensidad media de flujo de fotones fotosintéticos (FFF) apropiada para una buena fotosíntesis y desarrollo de las plantas bajo invernadero oscila entre 800 y 1200 μmol de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$; una mayor intensidad, aparte de posibles daños fisiológicos a largo plazo, implica un aumento importante de la temperatura, siendo a veces insuficiente la ventilación natural. Por ello, en el diseño de los invernaderos se contempla el uso de polietileno parcialmente pigmentado como cubierta. Si se quiere mayor control de la luminosidad o de las altas temperaturas eventualmente habrá que contemplar el uso de mallas o películas plásticas que disminuyan la radiación solar, pero cuidando de no provocar intensidades menores a los 00.37 W m^{-2} , ya que una sombra excesiva provoca etiolación y debilitamiento de la planta. Es por eso que dichas cubiertas deberán ser móviles para poderse remover cuando se tengan días nublados o intensidades por debajo de la mencionada. Otra consideración importante es que dichas películas deberán provocar la máxima intensidad posible de radiación difusa (que es la que favorece la mayor fotosíntesis del

dcasel completo); esto se logra mejor con plásticos o mallas de alta dispersión. En el invierno estas películas se pueden colocar en las noches como una doble capa que ayuda a proteger de las bajas temperaturas y que reduce los requerimientos de calefacción. También es recomendable aplicar lechadas de cal a los pasillos y a los bordes de las tinas a fin de promover mayor intensidad de radiación difusa por el aumento de la reflexión provocada por esta sustancia.

2.4.5. Distribución y uso de la energía solar aprovechada por la planta

Las plantas obtienen la energía necesaria para su vida directamente de la radiación solar. La radiación es la fuente de energía que permite a la planta descomponer el CO_2 atmosférico para asimilar el carbono y realizar la síntesis de los glucósidos. Solo una débil fracción de la cantidad total de radiación recibida es aprovechada para esta síntesis. Solamente del 3 al 6 % es aprovechable, el resto se pierde por radiación, transpiración y evaporación. La radiación es esencial para el crecimiento normal de la planta, porque esta provee energía para la fotosíntesis y muchas de las señales ambientales que regulan el desarrollo de las plantas (Thompson y White, 1991).

De acuerdo con Demolón (1966) si se iguala a 100 la energía total incidente sobre la planta, su distribución en distintas funciones vegetales puede ser de la siguiente orden:

Energía consumida por la fotosíntesis	0.66 %
---------------------------------------	--------

Energía consumida por la transpiración	48.39 %
Energía transmitida por las hojas	31.40 %
Energía perdida por radiación	19.55 %

Si se compara estas cifras con las obtenidas al calcular el calor de combustión de los cultivos, se tiene que solamente del 6 al 8 % de la energía aportada a la superficie de la tierra es por la radiación solar. A pesar del bajo rendimiento energético que presentan las plantas, es únicamente de su capacidad para convertir la energía radiante en bioenergía, de la que deriva la posibilidad de obtener alimentos para los organismos heterótrofos y de la que se obtienen todas las reservas energéticas de la tierra.

Lira (2000) señala que si se estimara la cantidad de fotosíntesis que actualmente se realiza en nuestro planeta resultaría una cifra muy grande. Casi 70 billones de toneladas de carbón se producen anualmente. Dos terceras partes de esa productividad, aproximadamente, se obtienen de la superficie terrestre y solamente una tercera parte de los océanos.

Las plantas como seres vivos reaccionan de manera distinta a las diferentes radiaciones que reciben. De acuerdo con Salisbury y Ross (1994); Lira (2000) basándose en esta influencia de la radiación sobre las plantas, se pueden distinguir los siguientes tipos de radiación;

Radiación ultravioleta (entre 190 y 380 nanómetros). Este tipo de radiación no visible es sin duda la que mayores danos causa. Dentro de esta se pueden distinguir dos tipos:

Radiación ultravioleta de tipo A (entre 190 y 290 nanómetros aproximadamente); es la responsable de la degradación de los plásticos, al ser la más energética.

Radiación ultravioleta de tipo B (entre 290 y 380 nanómetros); su absorción selectiva ayuda al control de enfermedades y de algunos tipos de plagas que sufren las plantas dentro del invernadero, en algunos casos es por que hay muchos insectos que ven en esta frecuencias (*Frankinella occidentalis*, *Bemisia tabaci*, minadores, ...) y en otros porque la ausencia de esta radiación inhibe la esporulación de patógenos (*Fusarium* y *Botrytis cinerea*).

Espectro visible (entre 380 nanómetros y 780 nanómetros), dentro de este rango se encuentra la radiación fotosintéticamente activa. Es aquella que comprende entre 400 y los 700 nanómetros. Es la parte de la radiación que es absorbible por la planta.

Radiación infrarroja. Es la que se encuentra por encima de los 790 nanómetros. Proporciona calor durante el día (infrarrojo corto). La radiación larga (entre 2,500 y 14, 000 nanómetros) no proviene del sol, sino de los objetos (fundamentalmente el suelo) que han absorbido radiación solar durante el día, es lo que se denomina radiación del cuerpo negro.

Dentro de estos niveles de radiación se encuentra la radiación fotosintéticamente activa que es de particular interés debido a que es el rango de radiación en el que se lleva cabo la fotosíntesis en las plantas, es

conocida también como irradiancia fotosintética o flujo fotónico fotosintético. Se refiere a la irradiancia cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y 700 nm es decir, el espectro de radiación visible que tiene influencia sobre el proceso fotosintético. Cuando se habla en términos de fotones se habla de flujo de fotones fotosintéticos; algunos autores hablan de densidad de flujo de fotones fotosintéticos, pero el término de densidad es redundante con el flujo. Casi todas las mediciones de la irradiancia se reportan en términos de radiación fotosintéticamente activa (RFA), sin embargo hay que considerar que se puede estar hablando de irradiancia total o radiación solar incidente total (RST), que es aproximadamente el doble de la primera (Sánchez, 2001).

2.5. Efecto de la radiación solar en las plantas

2.5.1. La irradiancia y su duración

La intensidad de la radiación se puede definir como la brillantez en forma de energía radiante; se mide en watts, calorías, luxes o bujías-pie La intensidad de la radiación afecta el crecimiento de las plantas, pues altera la tasa de actividad fotosintética.

En ausencia de nubes y de polución, la irradiancia es sensiblemente proporcional a la intensidad de la radiación solar. En ensayos realizados manteniendo constantes la temperatura y el contenido carbónico de la atmósfera, se observó que si la planta está sometida a baja irradiancia,

cualquier incremento de la irradiancia origina, en principio, un aumento de la actividad fotosintética y, en consecuencia, de la formación de más sustancias orgánicas por la planta por unidad de tiempo (Urbano, 2001).

Salisbury y Ross (1994) señalan que de acuerdo a los estudios bioquímicos realizados y a la segunda ley de la termodinámica la fotosíntesis nunca puede alcanzar una eficiencia de 100 %. Las consideraciones bioquímicas sugieren una eficiencia teórica máxima de alrededor del 30 %. Hay otras limitaciones más, parte de la energía que se fija será necesaria para el crecimiento de la planta y para mantener a las células vivas que ya existen, además, no toda la energía luminosa que incide en el cultivo será absorbida y utilizada en la fotosíntesis.

La fotosíntesis de la hoja es más eficiente (CO_2 fijado por unidad de radiación) a bajos niveles de radiación. Por lo general las hojas expuestas a la radiación solar directa se encuentran arriba de su punto de saturación por luz y su eficiencia es menor (Gardner *et al.*, 1990).

En la mayoría de las plantas cultivadas la cantidad de fotosíntesis, a bajas intensidades luminosas, tiende a ser directamente proporcional a la irradiancia, hasta, posiblemente, del 10 al 20 % de la radiación solar plena (Wilsie, 1966).

Conforme se aumenta gradualmente el nivel de radiación solar la fotosíntesis se va incrementando hasta alcanzar el punto de compensación por

radiación. Si la irradiancia sigue aumentando hay un incremento de la tasa de fotosíntesis neta, pero, después de cierto punto, hay cada vez menos incremento por unidad que aumenta la irradiancia fotosintética, hasta que se alcanza el punto de saturación por radiación. Cualquier incremento de irradiancia después del punto de saturación ya no incrementa significativamente la tasa de fotosíntesis neta (Gardner *et al.*, 1990).

Una alta irradiancia provoca en la planta un aumento de la transpiración y una disminución del porcentaje de agua respecto a su peso seco. Entre otros efectos, ocasionados por la radiación solar plena, figuran un mayor contenido salino y de azúcar y, a causa de ello, también mayor valor osmótico, así como un descenso del pH del jugo celular y una alta relación carbohidratos: nitrógeno. La floración y fructificación son comúnmente mejoradas por una mayor irradiancia. La radiación alta tiende también a desarrollar una mayor resistencia a los daños ocasionados por la temperatura, a la sequía y a los patógenos (Wilsie, 1966).

Hurd (1973) trabajando con el cultivar Minibelle, manejó dos tratamientos de duración del día (16 y 8 horas) alterando la irradiancia, de tal manera que la irradiancia media diaria fue la misma. Encontró que en las plantas jóvenes, con días largos y menor irradiancia por hora, se incremento la fotosíntesis aparente, en consecuencia la tasa de asimilación neta (TAN) aumentó un 10 %, después de 6 semanas el área foliar por planta se incremento en un 50 % y el peso seco total en 75 % con respecto a las plantas que estaban creciendo con la misma irradiancia diaria, pero en días cortos (mayor

irradiancia por hora). Esto posiblemente se debió principalmente a que las plantas en un fotoperiodo largo de menor irradiancia pueden ser más eficientes, en su fotosíntesis aparente, que uno corto de alta irradiancia, y a que las pérdidas por respiración pueden ser menores en noches cortas; además, el contenido de clorofila por unidad de área es fue más alto en días largos.

Grimstad (1987) en dos cultivares indeterminados de jitomate (Abunda y Virosa), sembrados a una densidad de $2.5 \text{ plantas m}^{-2}$, probó tratamientos de radiación suplementaria con radiación fluorescente ($25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) por 18 horas diarias durante todo el ciclo del cultivo, tanto por fuera como por dentro del dosel. La radiación natural recibida durante el periodo del cultivo fue de 8.21 MJ m^{-2} . El tratamiento con radiación suplementaria rindió un 24 % más que el testigo sin radiación suplementaria. Calvert (1973) menciona que hay bastantes evidencias en el sentido de que las altas irradiancias (que promueven una mayor reserva de asimilados disponibles). Conjuntamente con temperaturas relativamente bajas durante la etapa de la iniciación floral, aumenta el número de flores iniciadas en la primera inflorescencia como consecuencia de un aumento del número de inflorescencias ramificadas.

2.5.2. La fotomorfogénesis

La radiación solar puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas como fuente de energía mediante la fotosíntesis, como fuente de calor y como fuente de información. La cantidad de fotones que incide sobre las

plantas por unidad de tiempo y de superficie (irradiancia), su composición espectral, la dirección con que incide y su duración diaria (fotoperiodo) son aspectos del ambiente luminoso que cambian en condiciones tales como épocas del año, presencia de plantas vecinas (Azcon-Bieto y Talon, 2000).

La fotomorfogénesis (crecimiento y desarrollo vegetal dependiente de la radiación) abarca el conjunto de procesos mediante los cuales las plantas adquieren información de la calidad, cantidad, dirección y fotoperiodicidad de la radiación ambiental que controla su crecimiento y diferenciación (Azcon-Bieto, 1993). Fotomorfogénesis significa el desarrollo normal, la aparición del color verde característico por la presencia de la clorofila y pigmentos accesorios en cloroplastos, a la aparición de hojas, tallos, raíz y, en cierto período las estructuras reproductivas (Benavides *et al.*, 1993). La fotomorfogénesis es el control de la morfogénesis por medio de la radiación y ocurre a través de los siguientes fotoreceptores: fitocromo, el que absorbe la radiación del rojo y rojo lejano (600-800 nm); criptocromo, pigmentos que absorben longitudes de onda del azul y ultravioleta de onda larga (UV-A, 320 a 480 nm); fotoreceptor UV-B, absorben radiación ultravioleta con longitudes de onda entre 280 y 320 nm; y la fotoclorofilina alfa, pigmento que absorbe la radiación roja y azul y que una vez reducido da clorofila alfa (Salisbury y Ross, 1994; Smith, 1995).

Los fitocromos son una familia de proteínas fotoreceptoras que controlan una serie de respuestas fisiológicas y de desarrollo de las plantas a los cambios de ambientes lumínicos (Halliday *et al.*, 1994). Estos responden a la

irradiancia, calidad espectral y estado de polarización. Colectivamente pueden absorber fotones sobre un amplio rango de longitudes de onda, desde el rojo lejano al ultravioleta, pero la mayor absorción por el fitocromo está en el rojo y el rojo lejano del espectro electromagnético (Thompson y White, 1991).

Las radiaciones visibles y las del infrarrojo corto son las responsables del crecimiento de la planta y del calentamiento que ocurre a su alrededor, así como en el suelo. De aquí que sea importante conocer que parte y que intensidad de la radiación solar es la de mayor importancia para el desarrollo de cada especie de cultivo, ya que las plantas realizan sus procesos metabólicos mediante la captación de energía solar, la cual transforman en energía química, la que influye en el desarrollo de la plántulas, planta adulta, cantidad de hojas, floración, fructificación y la senescencia. Al cambiar la composición espectral luminosa se puede modificar el desarrollo de la planta, en algunos casos para incrementar el rendimiento y la calidad de la producción agrícola, y en otros ocurre lo contrario (Salisbury y Ross, 1994; Azcon-Bieto y Talon, 2000).

El aprovechamiento de la radiación solar por la planta no solo depende de su intensidad y duración, por lo que se hace necesario una revisión con respecto a como influye las características del dosel para un eficiente aprovechamiento de la radiación solar.

2.6. Dosel de vegetación natural

Tanto para un dosel heterogéneo de vegetación natural (bosque, matorral, etc) como para un dosel relativamente homogéneo de zonas de cultivo o plantaciones forestales, la redistribución vertical y la calidad espectral de la radiación en el interior del dosel y bajo el mismo nivel del suelo, es resultante de las propiedades espectrales de los tejidos vegetales y del arreglo espacial o arquitectura de las plantas (Welles y Norman, 1991).

Un dosel vegetal es una eficiente trampa de radiación, ya que captura o absorbe el mayor espectro de radiación incidente; sin embargo puede verse disminuido por las estructuras epidérmicas (pubescencia, tricomas, cutícula, etc.), las cuales modifican la reflectancia foliar, igualmente la orientación de las láminas foliares y la tonalidad clara u oscura de las hojas permite tener mayor o menor absorbancia de radiación (Gates, 1980).

De acuerdo con Donald y Hamblin (1983) para un índice de área foliar (IAF) donde se intercepte más de un 90 % de la radiación incidente, y una misma altura de planta, la mejor distribución de hojas en el dosel será aquella cuyo coeficiente de extinción de luz (K) sea el menor posible, pues así las hojas inferiores aumentan su tasa de fotosíntesis al recibir mayor irradiancia, mientras que las hojas superiores no disminuyen su fotosíntesis al interceptar menor irradiancia. La mayor tasa de fotosíntesis del dosel ocurre cuando la mayoría de las hojas están iluminadas a una irradiancia media que cuando sólo pequeños porcentajes de éstas reciben una intensidad de

radiación alta y una mayor porción reciben una irradiancia baja (Sánchez, 1997).

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

Una característica distintiva del sombreado por vegetación es la fuerte modificación en el valor del cociente rojo: rojo lejano ($R:RL$), el cual modifica el fotoequilibrio del fitocromo y funciona como un detector molecular de la presencia de sombreado por otras plantas, modificando los diferentes procesos de desarrollo de las mismas (Ballaré *et al.*, 1990). Una función importante del fitocromo en plantas cultivadas bajo radiación es actuar como un mecanismo propio para evitar la sombra. Al parecer la radiación del rojo lejano elimina el tipo de fitocromo (Pfr) de las plantas que la absorben y les permite modificar su patrón de crecimiento para anticipar la posibilidad de quedar bajo la sombra (Salisbury y Ross, 1994).

En general, el cociente $R:RL$ tiende a ser más bajo para los doseles herbáceos densos que para los de un bosque ya que en este último caso se tiene mayor contribución de la radiación de penumbra. Además, en el dosel natural la modificación en la calidad y cantidad de la radiación bajo el dosel

depende del índice de área foliar (relación entre la cantidad de hojas m^{-2} y la superficie del suelo en m^2), de la cantidad de estructuras que funcionen como objetos opacos (troncos y ramas gruesas) y de las características morfológicas y anatómicas de las hojas (Holmes y Smith, 1997).

Debido a que la asimilación de CO_2 resulta de la absorción de energía solar (irradiancia) y debido a que la radiación solar se distribuye uniformemente sobre una determinada superficie de terreno, los principales factores que afectan la producción o rendimiento de materia seca total por unidad de superficie son la radiación solar absorbida y la eficiencia de utilización de esa energía para la fijación de CO_2 (Charles-Edwards *et al.* 1986; Gardner *et al.* 1990).

Tanto la cantidad como la calidad de la radiación cambian con la profundidad en el dosel debido a que la radiación transmitida y reflejada por las hojas es predominantemente infraroja (Gardner *et al.* ., 1990).

2.6.1. Coeficiente de absorción de radiación

Nobel y Long (1988), definen el coeficiente de extinción (K) como la fracción de la energía de la radiación fotosintéticamente activa incidente absorbida por unidad de área foliar de un dosel vegetal. En la mayoría de los doseles, el coeficiente de extinción varía de 0.3 a 1.3. En doseles en los cuales las hojas son casi verticales, como en muchas gramíneas, la radiación penetra con facilidad hasta los estratos inferiores, por ello el valor de la K con

frecuencia es bajo, típicamente de 0.4. para un dosel de este tipo, podemos determinar el índice de área foliar acumulativo necesario para absorber, 95 % del flujo fotónico incidente en la parte superior del dosel. Cuando el índice de área foliar alcanza el valor tan elevado de 7.5 como en las gramíneas, sólo el 5 % de la radiación solar incidente llegará a la superficie del suelo.

Un coeficiente de extinción elevado corresponde a hojas horizontales con alto contenido de clorofila ($0.5 \text{ g de clorofila m}^{-2}$) que puede encontrarse en cultivos como la papa, la soya, el girasol y el trébol blanco. A los doseles con la mayoría de las hojas en un plano horizontal se les llama planófilas, mientras que aquellas en las cuales las hojas se acercan a la vertical son llamadas erectófilas. Cuando el sol está en el cenit, las hojas verticales absorben menos cantidad de energía irradiada (Q) por área foliar unitaria que las hojas horizontales, esto explica los bajos valores de k en gramíneas debido a que sus hojas, por lo general, son erectas. Las hojas tienden a ser verticales cerca de la cima de ciertas plantas, como la remolacha azucarera, los agaves la piña, y tienden a ser más horizontales a medida que se insertan más cerca del suelo. Esta arquitectura reduce el coeficiente de absorción foliar de las hojas superiores y, por lo tanto, las hojas inferiores disponen de una cantidad mayor de la irradiancia incidente. De hecho, la utilización óptima de la irradiancia en la fotosíntesis, por lo general ocurre cuando la irradiancia incidente está distribuida tan uniformemente como se posible sobre las hojas, debido a que entonces se reduce al mínimo la fracción de las hojas expuestas a niveles de irradiancia superiores a la

fotosaturación o inferiores al punto de compensación de radiación (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Beadle, 1988; Salisbury y Ross, 1994).

Las hojas que están abajo del punto de compensación de radiación durante la mayor parte del día, no contribuyen a la fotosíntesis neta, debido a que penetra hasta ellas una irradiancia insuficiente. En esas hojas por lo general ocurre la senescencia, perdiendo del 30 al 50 % de su peso seco antes de su muerte y abscisión.

2.6.2. Importancia y cambios en la densidad del flujo fotónico en el dosel

La fotosíntesis de un cultivo no solo depende de la distribución de la irradiancia entre los estratos, sino también de la cantidad total de irradiancia absorbida por el dosel. La absorción depende del ángulo de la hoja, la elevación del sol con respecto al horizonte, la anchura finita del disco solar, los cambios en la distribución espectral de la irradiancia a través del dosel, de las múltiples reflexiones de esta dentro del dosel y de la disposición o arreglo de las hojas en el dosel (esto es, si están agrupadas o distribuidas uniformemente). Aún para el dosel más simple, un análisis que cubra todos estos factores es por lo general demasiado complejo para que sea de utilidad práctica (Beadle, 1988).

Warren Wilson *et al.*, (1992) al medir la intercepción del Flujo Fotónico Fotosintético (FFF) en un cultivo de jitomate en invernadero, observaron que

la intercepción del FFF incidente en la parte superior del dosel acumuló 76 % mientras casi el 20 % se perdió por los espacios entre hileras. Por lo que, estos autores sugieren que la pérdida considerable del FFF por los pasillos puede reducirse cerrando los pasillos, aunque esto implicaría que algunas actividades en el cultivo sean más difíciles (podas, cosecha, aplicaciones, desbrotes, etc.). De la misma manera Harper *et al.* (1979), indica que un incremento en la densidad de jitomates en invernadero en un tercio duplica la intercepción de la radiación. Específicamente, en un cultivo de otoño sembrado a una densidad normal ($2.5 \text{ plantas m}^{-2}$), del 15 al 25 % de la radiación solar disponible dentro del dosel se transmitió a la superficie de la cama. Aproximadamente del 60-70 % de la radiación solar disponible total se transmitió al piso del invernadero a través de la combinación del dosel y los pasillos. Por lo que, sólo el 30-40 % de la radiación solar disponible fue interceptada por las plantas. No obstante, cuando la densidad de siembra en dos cultivos subsecuentes (primavera) se incrementó a $3.3 \text{ plantas m}^{-2}$, el 60-70 % de la radiación solar disponible fue interceptada por las plantas.

2.7. Requerimientos de radiación solar en el cultivo de jitomate

La calidad de radiación y el fotoperiodismo no son tan importantes para el crecimiento del jitomate como lo es la irradiancia diaria. Es una práctica comercial común, en las regiones nórdicas, incrementar la tasa de crecimiento del cultivo con radiación artificial suplementaria en el invierno, sobre todo antes del trasplante, donde resulta económico y tiene un fuerte influencia sobre los rendimientos tempranos (Picken *et al.*, 1986).

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 etiola 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).

El jitomate se considera un cultivo insensible al fotoperiodo, entre 8 y 16 horas, aunque requiere de buena irradiancia (Calvert, 1973). Valores de radiación total diaria en torno a 9.84 W m^{-2} son los umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado, siendo preferible mayor irradiancia en menor período de tiempo que iluminaciones más débiles durante más tiempo (Kinet, 1977). Para lograr la formación de buenos frutos de maduración precoz, se requiere como mínimo de $200.7468 \text{ W m}^{-2}$ (Marrero, 1986). De manera similar Sánchez (1999) menciona que, la intensidad media de radiación apropiada para una buena fotosíntesis de las plantas oscila entre 160.60 y 281.05 W m^{-2} ; una mayor intensidad, aparte de posibles daños fisiológicos a largo plazo, implica un aumento importante de la temperatura, siendo a veces insuficiente la ventilación natural por lo que se deberá de recurrir al uso de sombras.

Los niveles óptimos de radiación encontrados para el cultivo de jitomate bajo invernadero en Chapingo, Estado de México son los siguientes: durante la etapa de plántula, desde que emerge hasta que tiene cuatro hojas verdaderas, requiere una intensidad máxima de 108 W m^{-2} ; del trasplante a la aparición del primer racimo floral, las necesidades de radiación aumentan

a 172.80 W m^{-2} : durante el periodo de crecimiento de los frutos, desde la floración hasta la maduración, el requerimiento es de 216 W m^{-2} (Pérez y Castro, 1999).

Papadopoulos y Ormrod (1988), al evaluar el efecto de la densidad de planta en la calidad del espectro de radiación bajo el dosel de jitomate en invernadero, encontraron que, la calidad de la radiación transmitida por el dosel fue afectada por la densidad de plantas y las relaciones de Azul: Rojo Lejano, Rojo: Rojo lejano y Azul: Rojo disminuyeron a medida que se incrementó la densidad de plantas de 2.5 a $11.3 \text{ plantas m}^{-2}$.

2.7.1. Características de las hojas con relación a la radiación

Las plantas desarrollan repuestas 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, lo que da como resultado que con una alta irradiancia produzcan mayor cantidad de materia seca, con un alto contenido energético; en cambio las plantas adaptadas a sombra en las mínimas condiciones de alta irradiancia presentan reducida producción de materia seca y especialmente deficiente síntesis de proteína (Larcher, 1980).

La superficie de la hoja, así como su morfología, están muy influidas durante el desarrollo por los niveles de irradiancia. En comparación con las hojas de

sombra, las hojas de sol tienen menos área por hoja, son más gruesas (con frecuencia tienen más capas de mesófilo en empalizada que consta de células más largas), pesan más por unidad de área de hoja, están distribuidas con mayor densidad en el tallo y sus pecíolos son más cortos y tienen más clorofila por unidad de peso seco. La epidermis, el mesófilo esponjoso y los sistemas vasculares también están más desarrollados en las hojas de sol (Salisbury y Ross, 1994).

También existen diferencias en el aparato fotosintético: las hojas de sombra poseen más grana por cloroplasto y un mayor número de tilacoides apilados por grana que las de sol. Asimismo, las plantas de sombra poseen mayor número de pigmentos en las antenas de los fotosistemas (especialmente, clorofila b) con el fin de aprovechar mejor la escasa irradiación incidente. Por otra parte, las plantas de sol poseen, una composición química distinta de las de sombra, con mayor proporción de lípidos, almidón, carbohidratos solubles y cutinas (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

La actividad fotosintética depende de la edad y de la posición de la hoja y desciende de forma muy importante al iniciarse la senescencia (Peat, 1970). La eficiencia fotosintética de las hojas está también medida por efectos de adaptación de las hojas a las condiciones de irradiancia y existen evidencias de que las hojas pueden ajustar sus mecanismos fotosintéticos para captar la energía necesaria en función de las condiciones de irradiancia (Ludvig, 1974).

2.7.2. Efecto de la radiación solar en el suministro de fotoasimilados a los frutos

La producción y distribución de los fotosimilados es un factor esencial en el desarrollo de la planta. El factor que más afecta el desarrollo vegetativo es la irradiancia diaria total, mientras que la calidad de la radiación y el fotoperiodo desempeñan un papel secundario (Nuez, 1995).

El suministro y la demanda de asimilados están determinados por los procesos fisiológicos, tanto en las fuentes como en los sumideros. En consecuencia, los cambios en estos procesos debidos a factores ambientales afectarán al reparto de asimilados en la planta (Salisbury y Ross, 1994).

La irradiancia tiene dos efectos principales sobre el crecimiento del fruto, ambos indirectos. En primer lugar, la irradiancia determina en gran medida la tasa de fotosíntesis foliar que gobierna el aporte de carbono al fruto en desarrollo. En segundo lugar, la irradiancia también determina la transpiración de la planta mediante sus efectos directos sobre la apertura estómatica y el microclima de la planta, lo que puede tener profundas consecuencias sobre la expansión del fruto debido a su íntima unión con el estado hídrico (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

Nuez (1995), menciona que la actividad fotosintética depende, fundamentalmente, de la irradiancia y la concentración de CO_2 y la velocidad

de exportación de asimilados de la hoja durante el periodo de radiación es proporcional a la actividad fotosintética.

En las plantas anuales, como es el caso del jitomate, el crecimiento y la producción de frutos puede estar condicionada por la fijación de carbono (Ho y Hewitt, 1986). Mientras que en las plantas perennes, el crecimiento de la mayoría de sus frutos depende también de los compuestos de reserva almacenados en la planta, Por lo tanto, la relación entre la irradiancia y la producción se aprecia mejor en los estudios a largo plazo.

La competencia por asimilados entre los órganos vegetativos y reproductivos cambia con el desarrollo de la inflorescencia. El ápice parece ser un sumidero mas fuerte que la inflorescencia en iniciación y cuando el sumidero de asimilados es inadecuado, por ejemplo por baja irradiancia, la inflorescencia sólo obtiene asimilados después de que las necesidades del ápice han sido satisfechas (Kinet, 1977).

Cuando la producción de asimilados es escasa, las inflorescencias pueden abortar mientras continua el crecimiento de las hojas jóvenes, tratamientos como el enriquecimiento de CO₂, el espaciado de las plantas, la restricción de las raíces y las temperaturas bajas durante el desarrollo de la inflorescencia reducirían el aborto de las flores (Rusell y Morris, 1983).

El efecto desfavorable de la baja irradiancia en los racimos tempranos, puede compensarse con el enriquecimiento de CO₂. Cuando se suministra

CO₂, este tratamiento aumenta tanto la velocidad fotosintética neta como la velocidad de exportación de los asimilados (Hand, 1984).

Picken *et al.*, (1986) menciona que el empleo de irradiancia artificial en países Nórdicos únicamente suele ser rentable en la fase de propagación, en la que el número de plántulas por unidad de superficie es elevado. Además, concluye que es posible mejorar las condiciones de irradiancia con prácticas tales como, la optimización de la orientación del invernadero y la limpieza de cubierta. En los invernaderos, cuando la irradiación es elevada, la concentración de CO₂ puede disminuir rápidamente hasta concentraciones que limiten la fotosíntesis y el crecimiento de modo que para mantener la fotosíntesis sea necesario restaurar la concentración de CO₂ mediante enriquecimiento artificial o ventilación.

Las hojas jóvenes, los primordios foliares y los meristemos apicales compiten por los fotosimilados disponibles. El aumento de fotoasimilados producido por una mayor irradiancia promueve tanto la producción de primordios apicales como foliares, pero las temperaturas más elevadas favorecen preferentemente éstos últimos (Hussey, 1963). También existe competencia entre racimos, cuando el suministro de asimilados es limitante por falta de radiación, el crecimiento de un racimo en fructificación puede suprimir la floración de los racimos siguientes. Estos autores indican que, los racimos sucesivos florecen a intervalos de 6 a 7 días, pero hay retrasos de hasta un mes en el desarrollo subsiguiente de algunos racimos posteriores. Tales retrasos no se observan cuando se eliminan de todos los racimos dos

tercios de las flores (Hurd y Thornley, 1974). Los jitomates verdes contienen clorofila y son capaces de fijar CO_2 , pero la actividad fotosintética neta es muy reducida. La cantidad de fotoasimilados fijada por el fruto es sólo el 10-15 % de la necesaria para su crecimiento.

El espesor de la hoja es mayor cuando crece con una elevada irradiancia diaria durante la fase de iniciación y al principio de su expansión. Cuando los frutos empiezan a competir con las hojas jóvenes por los fotosimilados, la velocidad de crecimiento de la hoja disminuye. De acuerdo con Gates (1980) con irradiancias bajas las células esponjosas del mesófilo están dispuestas de una forma más relajada o irregular y se reduce el tamaño, número y densidad de las células en empalizada así como la densidad de los estomas.

El único estudio existente que relaciona la velocidad de crecimiento del fruto con la irradiancia en ambientes controlados muestra que la velocidad de expansión del fruto de jitomate aumenta con la irradiancia diaria. Sin embargo, el incremento sólo continúa hasta que se alcanza un determinado nivel de irradiancia debido, posiblemente, a la mayor tasa de transpiración y al incremento en el estrés hídrico que producen niveles de irradiancia mayores. (Azcon-Bieto y Talón, 2000).

La capacidad de las plantas para movilizar las reservas necesarias para mantener la expansión del fruto es un punto importante que debe ser considerado a la hora de interpretar los efectos de la irradiancia sobre el crecimiento. Es poco probable que la expansión del fruto responda

directamente a cambios en la fotosíntesis de la hoja causados por cambios de irradiancia, a menos que estos cambios se prolonguen más de 1 ó 2 días. En la mayoría de los cultivos, una menor irradiancia se asocia generalmente con reducciones en la velocidad de crecimiento, principalmente en la velocidad de crecimiento durante el día (Azcon-Bieto y Talon, 2000).

Cockshull *et al.* (1992), evaluaron plantas de jitomate bajo condiciones sin sombra, sombra ligera (reducción del 6.4 % en la radiación solar incidente en las plantas) y sombra fuerte (23.4 % de reducción), reportaron que los dos tratamientos con sombra redujeron la producción de peso fresco total de los frutos en 7.5 % y 19.9 % y la biomasa total estimada sobre el terreno en 6.2 % y 16.5 %, respectivamente. La producción se acumuló en las primeras 14 semanas de cosecha, en proporción directa con la cantidad de radiación solar recibida y a pesar del tratamiento, se cosecharon 2.01 kg de peso fresco de frutos por cada 100 MJ de radiación solar incidente en los cultivos desde el inicio de la cosecha. Además encontraron que, el número de frutos estuvo correlacionado con la radiación solar recibida, esto fue más evidente cuando se recibieran menos de $1.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en el momento de la primera antesis del racimo.

A continuación se presentan consideraciones respecto al manejo de densidades de población que es uno de los factores más importantes para el buen desarrollo de un cultivo de tal manera que se tenga un eficiente aprovechamiento de la radiación solar, y por lo tanto, máximos rendimientos.

2.8. Densidades de población en jitomate

La densidad de población dependerá del desarrollo vegetativo, el cual estará influido principalmente por el cultivar elegido, sus características de crecimiento (determinado o indeterminado), poda y tutorado empleados, nutrición, disposición y tipo de riego, así como las condiciones climáticas.

La densidad de población será junto con otras técnicas de cultivo como las mencionadas en el párrafo anterior, determinante de la intercepción solar por el cultivo, a fin de convertir la energía solar en biomasa. Optimizar, mediante una intercepción de radiación adecuada, la producción de biomasa es clave para maximizar la producción cosechable (Nuez, 1995).

Según Garder *et al.* (1990), manipulando la densidad de plantas y su distribución, se favorece 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. Además, menciona que el ambiente influye también sobre la densidad óptima para rendimientos máximos. Los principales factores involucrados que señala son: irradiancia, humedad y fertilidad del suelo. Entre más escasos son estos menor será la densidad a manejar y en consecuencia el rendimiento será menor. Nuez (1995) señala que los efectos más destacables de una alta densidad son el aumento de la producción precoz y el acortamiento del ciclo, esto puede dar lugar a que se tenga una menor calidad de fruto con menor tamaño, además de un alto

riesgo de aumento de enfermedades criptogámicas. Por otra parte, el resultado de una menor incidencia de radiación (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 de menor tejido vascular, conduciendo a menores tasas de traslocación, menor número de estructuras reproductivas y de menor peso, dando como resultado un menor rendimiento.(Papadakis, 1980).

La densidad de población, el sistema de poda y el entutorado deben optimizar la interceptación de radiación por el cultivo, especialmente en la época invernal cuando la radiación es más limitante. El uso del mejoramiento genético nos permite disponer de cultivares mejor adaptados para la floración y cuajado de fruto en condiciones de baja irradiancia (Van de Vcoren *et al.*, 1986).

Las plantas más exitosas dentro de un cultivo genéticamente uniforme en un ambiente uniforme serán aquellas que sufran la menor competencia de sus vecinas, por lo que, un cultivo debería componerse totalmente de plantas de baja habilidad competitiva, interfiriendo mínimamente unas con otras pero explotando al máximo el ambiente que les rodea (Donald, 1968). Similarmente, Según Gardner *et al.*, (1990) 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 sean estos factores menor será la densidad (IAF) a manejar y en consecuencia menor rendimiento.

Donald (1968) menciona que en un cultivo en alta densidad las plantas sufren una competencia tan fuerte de sus vecinas que su rendimiento individual puede llegar a ser de sólo el 10 a 20 % de lo que rendiría sin competencia alguna: Por lo tanto una planta individual dentro de la comunidad, expresará su potencial de crecimiento más plenamente si sufre menor interferencia de sus vecinas.

La densidad de población del jitomate cultivado en invernadero más utilizadas están comprendidas entre 18 mil y 40 mil plantas por hectárea, no se ha podido determinar cuál es la densidad óptima, al cual varía dependiendo de la zona de cultivo y vigor de la planta (Rodríguez, 1984).

En Canarias las densidades más usuales en la producción de jitomate en invernadero, oscilan entre 2.2 y 2.5 plantas m^{-2} . En el sureste peninsular (España) las densidades oscilan entre 1.3 y 2.5 plantas m^{-2} , siendo las densidades bajas empleadas para ciclos muy largos, y las densidades más altas se emplean en ciclos más cortos (Nuez, 1995). En invernaderos climatizados de Europa Occidental, las densidades más frecuentes son de 2.5 plantas m^{-2} en ciclo largo de ciclo precoz y de 3-3.25 plantas m^{-2} en ciclo corto, aunque también se emplean densidades inferiores (2 plantas m^{-2}), que luego se incrementa con trasplantes complementarios a mitad de ciclo (Van de Vooren *et al.*, 1986).

Papadopoulos y Ormrod, (1990), al evaluar dos cultivares de jitomate (Jumbo y Ohio CR-6) en un sistema de cuatro hileras con espaciamento de plantas

de 23, 30, 38, 45, 53 y 60 centímetros en dos estaciones (primavera y otoño) diferentes del año; demostraron que a medida que se aumenta la densidad de población, el rendimiento también se incrementa debido a un mayor número de frutos, aunque más pequeños.

Cancino *et al.*, (1990), al trabajar con dos densidades de plantas (9 y 16 plantas m^{-2}) despuntadas a uno, dos y tres racimos, en dos variedades de jitomate (Trópico y Ace 55 vf); observó que el rendimiento por racimo y por planta se ve disminuido en densidades 16 plantas m^{-2} , pero aumentó 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 menciona que la causa de la disminución del rendimiento por planta en densidades de 16 plantas m^{-2} , fue el amplio dosel vegetal por unidad de superficie, que originó una mayor competencia entre plantas por la radiación incidente y por lo tanto, provocó menor producción de asimilados por planta por día.

Rodríguez (1995) al estudiar el efecto del tipo de poda (a uno y dos tallos), a cuatro densidades de población (10, 20, 30, 40 mil plantas por hectárea) encontró que el mejor peso del fruto comercializable por planta se obtiene con densidades de 10 y 20 mil plantas por hectárea con poda a dos tallos. Por otra parte las densidades de 30 y 40 mil plantas por hectárea bajo los dos sistemas de conducción evaluados promueven los mayores rendimientos por unidad de superficie. Finalmente, concluye que, con los

parámetros de densidad de población evaluados, conforme se va incrementando la densidad también se incrementa los rendimientos.

Pérez y Castro (1999) recomiendan las siguientes densidades en el cultivo de jitomate en invernadero; establecer de 12 plantas m^{-2} si se van a cultivar a uno o dos racimos, y de 8 a 10 plantas m^{-2} si van a cultivar a tres o cuatro racimos, sin embargo, si se dejan crecer hasta con 10 racimos, la altura a la que podrían alcanzar es de 2.5 m por lo que no deben colocarse más de 5 plantas m^{-2} .

Rodríguez y Lambeth (1976), indican que el espaciamiento de plantas de jitomate en invernadero en un cultivo de primavera fue el principal determinante de las tasas fotosintéticas por planta, siendo la mayor para las plantas espaciadas a 51 X 41 cm y la mas baja en plantas espaciadas a 25 X 41 cm. Mencionan que el efecto de espaciamiento podría ser visto en términos de exposición de radiación en el sentido de que con un espaciamiento ancho hay menos traslape y sombra de hojas, mejor penetración del FFF a las hojas basales y menos competencia por la radiación. También observaron que aumentos significativos en la tasa aparente de fotosíntesis con la adición de 184 y 368 W m^{-2} de radiación suplementaria.

Papadopoulos y Ormrod (1988) al estudiar los efectos del espaciamiento en plantas de jitomate en bloques de cuatro hileras de planta, encontraron que el peso foliar específico disminuyó a medida que el espaciamiento entre

plantas iba compactándose (59 vs 29 g m⁻² a 45 vs 23 cm. de espacio entre plantas, de las hileras internas), particularmente para las plantas de adentro del dosel. A 30 cm de esparcimiento el peso foliar específico de las plantas externas fue de 40 g m⁻² mientras las plantas interiores tuvieron 32 g m⁻².

Ferry y Janick (1970), encontraron al trabajar con jitomate, que el número de nudos, número de racimos y número de flores por planta, así como el porcentaje de amarre de frutos, disminuyeron bruscamente al aumentar la población de plantas.

Pendleton *et al.*, (1968) sugiere que, cuando lo que se busca es rendimiento de fruto, hay una densidad óptima (IAF óptimo) más allá de la cual el IAF puede ser excesivo, ocasionando que muchos fotosintatos sean desviados hacia el crecimiento vegetativo o para respiración de mantenimiento y queden menos disponibles para el crecimiento de los frutos. Sin embargo cuando lo que se pretende es obtener un rendimiento vegetativo la respuesta al incremento de la densidad es asintótico, similar al del IAF crítico. En este caso, debe procurarse formar un dosel denso tan pronto como sea posible. No existe una pérdida de rendimiento por estar sobre el IAF crítico, pero, tampoco hay ganancia porque no se puede interceptar más del 100 % de la radiación solar incidente.

Desde hace unos años en el departamento de Fitotecnia se ha trabajado y se continua aún, con una serie de estudios enfocados hacia la obtención de máximos rendimientos en el cultivo de jitomate en invernadero bajo un

sistema hidropónico. Para lo cual se trabajó con densidades altas, trasplantes tardíos, poda de racimos y sistema de dosel escaleriforme. Este último se refiere a la disposición de plantas a diferentes niveles con la finalidad de hacer un uso más eficiente de la radiación solar (Sánchez *et al.*, 1999).

2.9. Doseles escaleriformes

Méndez (2002), comparó diferentes disposiciones de plantas conformando doseles en forma de escalera (escaleriforme) y doseles uniformes, contra un testigo de dosel uniforme ya validado comercialmente. Encontró que, el rendimiento y el Índice de área foliar, resultaron significativamente mayores utilizando doseles escaleriformes formados con hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos. Concluye mencionando que, las plantas manejadas con disposición escaleriforme, rindieron más por unidad de superficie que el testigo basado en un dosel uniforme y que el mayor rendimiento por unidad de superficie que se logró en los doseles escaleriformes se debió a la cosecha de mayor número de racimos por unidad de superficie, con poca disminución en el peso de los frutos.

Jorge (1999) al trabajar en un sistema de dosel en forma de doble escalera formado con hileras de plantas despuntadas a diferentes número de racimos, señala que mediante este sistema se aprovechó mejor la radiación fotosintéticamente activa incidente, que un dosel uniforme, lo que permitió producir un mayor rendimiento por unidad de superficie, debido que se

cosecharon más racimos por metro cuadrado, sin disminuir significativamente el tamaño y peso promedio de los frutos.

En otro trabajo, Vázquez (2002), se probó el formar, en cada tina de cultivo (de 1.2 m de ancho y con orientación este-oeste), doseles escaleriformes mediante el manejo de hileras de plantas de distintas alturas y con orientación este-oeste, que es el sentido longitudinal de las tinas. La forma de escalera se logró podando cada hilera de plantas a diferentes altura y dejándoles un diferente número de racimos por planta. Así la hilera ubicada en el lado sur de cada tina se manejó con despuntes para dejar un racimo por planta (dando plantas de aproximadamente 50 cm de altura) y 10 plantas por metro lineal; la hilera central se despuntó para dejar tres racimos por planta (dando plantas de alrededor de 1 m de altura) y 6.5 plantas por metro lineal; la hilera ubicada en el norte de cada tina se dejó a 6 racimos por planta (dando plantas de aproximadamente 1.8 m de altura) y 4 plantas por metro lineal. Con esta disposición se lograron acomodar 44 racimos por m² de superficie útil, contra sólo 30 en el tratamiento testigo con dosel uniforme y 4 hileras de plantas manejadas a tres racimos y 10 plantas/m² de superficie útil.

En un experimento realizado con pepino americano bajo el sistema de dosel en forma de escalera, se manejaron cuatro hileras de plantas colocadas en tinas a diferente altura, en dirección este-oeste. La densidad que se utilizó fue de cinco plantas por metro lineal de superficie útil, las cuales fueron despuntadas a un metro de altura. El testigo que se manejó fue en un dosel

uniforme con cuatro hileras, despuntas a un metro de altura, con orientación este-oeste y a una densidad de 20 plantas por metro cuadrado. El rendimiento en el sistema de dosel en forma de escalera fue de 26 kg m^{-2} y el testigo 24 kg m^{-2} (Torres, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó del 17 de julio de 2002 al 10 de enero de 2003, en un invernadero en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, a los 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a una altitud media de 2 251 msnm.

3.2. Invernadero, contenedor y sustrato

El experimento se condujo mediante un sistema hidropónico en un invernadero de estructura metálica y cubierta de polietileno. Con la finalidad de tener una mejor difusión de la luz se cubrió el piso del invernadero con una tela blanca de polipropileno (conocida como ground cover). Como contenedores se utilizaron tinas de lamina galvanizada calibre 22 de 2.44 m de largo y 0.20 m de ancho y 0.20 m de altura, en la base de la tina se hicieron agujeros para el drenaje de la solución nutritiva (Figura 1). El interior de cada tina se cubrió con pintura vinílica para evitar reacciones con la solución nutritiva. Las tinas se colocaron en juegos de cinco hileras en forma escalonada (doble escalera) con dirección Norte-Sur, en cada tina se cultivo una hilera de plantas (Figura 2). La diferencia de altura entre tinas fue de 40 y 50 cm según el tratamiento; para lograr esta diferencia de altura las tinas se calzaron con tabicones de arena-cemento. La distancia horizontal entre centro y centro de tinas contiguas fue de 20 cm. Las tinas se llenaron dejando 2 cm antes del borde superior de cada tina, utilizando como sustrato

arena de tezontle rojo con partículas comprendidas entre 0.5 y 3 mm de diámetro.



Figura 1. Contenedores de lamina galvanizada.



Figura 2. Ubicación de hileras (1 = Inferior este, 2 = Media este, 3 = superior, 4 = Media oeste, 5 = Inferior oeste



Figura 3. Tratamientos para el nivel de altura a 50 cm.



Figura 4. Diferencia de altura entre tina.

La forma de dosel en doble escalera se logró de la siguiente manera:

Las tinas fueron colocadas en conjunto de cinco en dirección Norte-Sur. Para interpretar los resultados encontrados en las hileras en la parte de resultados y discusión, las hileras se nombraron de la siguiente manera; inferior este, media este, superior, media oeste, inferior oeste (Figura 2). En cada tina se colocó una hilera de plantas, la distancia entre plantas fue de 20 cm¹ para la densidad a 30 plantas m⁻², 16.67 y 14.28 cm para las densidades de 30 y 35 plantas m⁻², respectivamente. La distancia entre hileras contiguas fue de 20 cm teniendo cinco hileras de plantas. La diferencia de alturas entre tinas contiguas fue de 40 ó 50 cm, de acuerdo a lo requerido al tratamiento evaluado. Entre cada conjunto de tinas se dejó un pasillo de 80 cm. Por lo que la unidad real fue de 25/1.8, 30/1.8 y 35/1.8 plantas/m² de invernadero, para los tres tratamientos de densidad (figura 2).

3.3. Material vegetal

Se utilizó el híbrido de jitomate “Gironda” (Henza Zaden), que se caracteriza por ser de crecimiento indeterminado, planta vigorosa, la forma de fruto es de tipo bola, peso de fruto 150-200 g.

3.4. Semillero

La siembra se realizó el 17 de julio de 2002, utilizando charolas de poliestireno de 200 cavidades, se humedeció previamente el sustrato que fue Peat moss (Sunshine-mix número 6), se depositó una semilla por

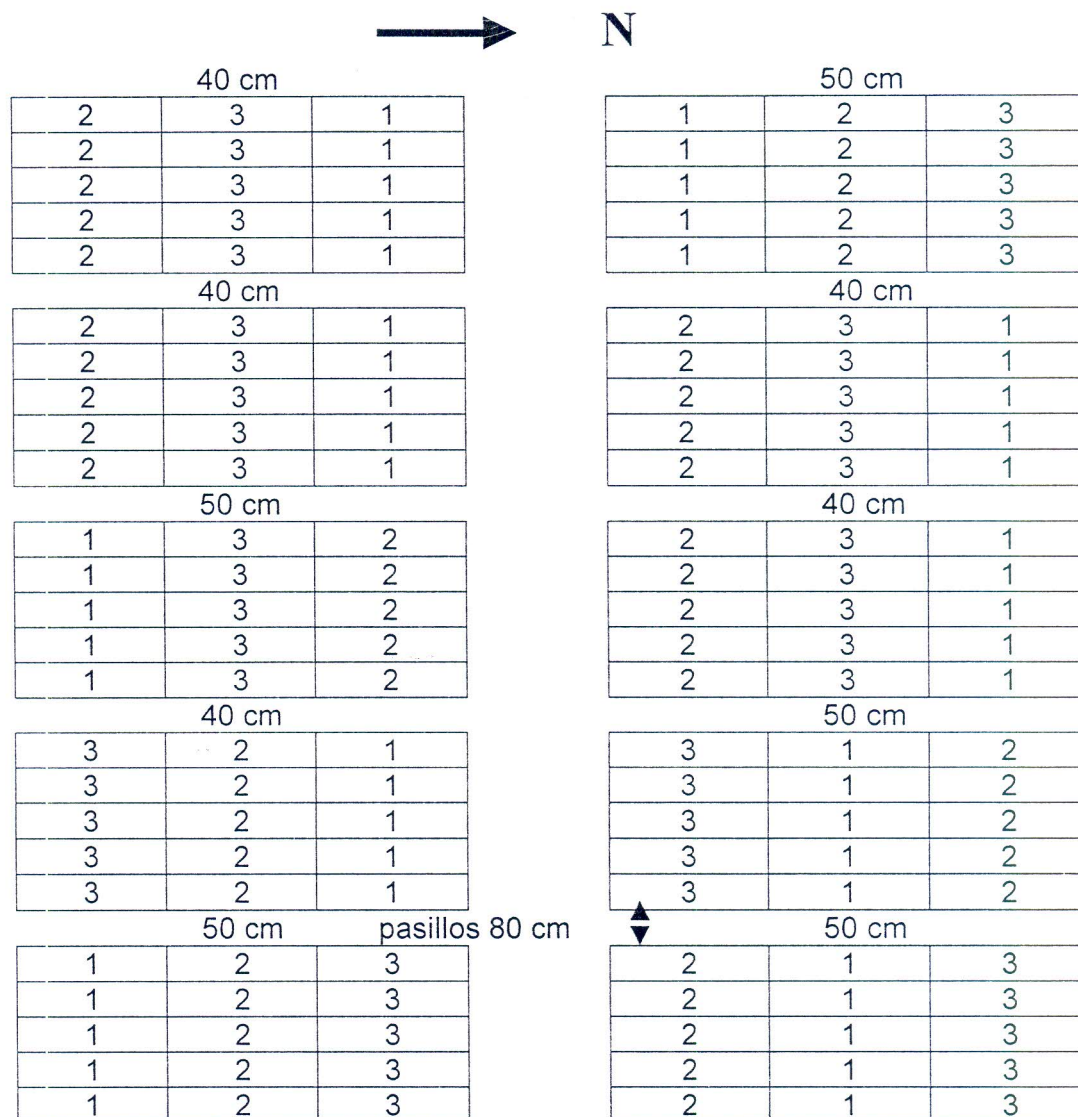
cavidad y se cubrió con el mismo sustrato humedecido. Posteriormente se estibarón las charolas y se cubrieron con un plástico para favorecer la germinación, se destaparon al tercer día y se colocaron las charolas sobre unos bloques de cemento. A los primeros días de la germinación el riego se realizó sólo con agua, una vez que en las plantulas apareció la segunda hoja verdadera se regó con solución nutritiva a la mitad de su concentración normal.

3.5. Descripción de los tratamientos y del diseño experimental

Los tratamientos evaluados fueron dos diferencias de altura de tina (40 y 50 cm) y tres densidades de población (25, 30 y 35 plantas/m², que corresponde a 20.0, 16.6 y 14.3 cm entre planta y planta, respectivamente (Figura 3 y 4). El arreglo de estos tratamientos se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados considerando dos alturas de tina y tres densidades de plantación en un sistema de dosel en doble escalera.

Tratamiento	Diferencia de altura de	Densidad de población
	tina (cm)	(plantas m ² útil)
1	40	25
2	40	30
3	40	35
4	50	25
5	50	30
6	50	35



Densidad de población:

1= 25 plantas m^{-2}

2= 30 plantas m^{-2}

3= 35 Plantas m^{-2}

Diferencia en altura entre tinas 40 y 50 cm

Figura 5. Croquis del diseño experimental (completamente al azar en arreglo en parcelas divididas).

El diseño experimental fue un arreglo en parcelas divididas completamente al azar con 5 repeticiones, la unidad experimental estuvo conformada por 20 plantas (Figura 5). Como parcela grande se consideró la altura de tina y para las parcelas chicas las densidades de población. Para la distribución de los tratamientos con base al diseño experimental se sorteo al azar primero la parcela grande y después dentro de cada parcela grande se sorteo la parcela chica.

3.6. Conducción del cultivo

A los 40 días después de la siembra se efectuó el trasplante. Al momento del trasplante la raíces de las plantas se sumergieron en una solución de Confidor® (Imidacloprid) (0.5 g L^{-1}) con la finalidad de mantener las plantas protegidas a posibles daños ocasionados por mosquita blanca.

El abastecimiento de la solución nutritiva sin recirculación, se llevó a cabo a través de un sistema de riego por cinta de goteo de polietileno flexible. Se aplicaron diariamente riegos de 2 a 4 veces por día de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes especialmente temperatura y nubosidad, tratando de mantener el sustrato a su capacidad de retención ($4 \text{ a } 3 \text{ L m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). La concentración y fuentes de fertilizantes se presentan en el Cuadro 2.

Las plantas se tutoraron individualmente con rafia, podando los brotes laterales para conducirlos a un tallo, eliminando la yema terminal dos hojas

después del tercer racimo. Se podaron las hojas inferiores conforme los racimos maduraban. Para favorecer la polinización, se movían diariamente las plantas manualmente.

Cuadro 2. Nutrimentos, concentraciones y fertilizantes con los que se preparó la solución nutritiva.

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

* Los fertilizantes usados para proporcionar micronutrientes también contienen azufre pero su concentración fue mínima.

Durante el desarrollo del cultivo se presentaron algunos problemas fitosanitarios para lo cual, a continuación se muestran los productos utilizados para su control, cabe mencionar que en ningún caso el daño ocasionado en las plantas fue severo, ya que afortunadamente se lograron

detectar cuando se iniciaba, por lo que no hubo efecto en cuanto a la reducción en el rendimiento por esta causa.

a) Enfermedades:

- Tizón temprano (*Alternaria solani*) -----2 aplicaciones de Mancozeb® 1.5 g L⁻¹ (i.a. mancozeb)
- Cenicilla (*Leveillula taurica*)-----2 aplicaciones de Cupravit Mix® 1 g L⁻¹ (i.a.; oxiclورو de cobre + mancozeb)

b) Plagas

- Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)-----1 aplicación Thiodan® 1 g L⁻¹ (i.a. endosulfan).
- Minador de la hoja (*Liryomiza* sp)-----1 aplicación Agrimec® 1 g L⁻¹ (i.a. abamectina)

3.7. Variables evaluadas

- 1) Altura de planta se evaluó a los 120 días después de la siembra (dds) medida con un flexómetro, considerando desde la base del tallo hasta la altura donde se despuntó la planta (dos hojas arriba del tercer racimo).
- 2) Diámetro de tallo a los 120 dds, medida con un vernier en el tercer entrenudo contando de abajo hacia arriba.
- 3) Área foliar por planta a los 120 dds, estimada de acuerdo al procedimiento en el apartado 3.7.1.

- 4) Peso de frutos en cada corte y total, medido cuando alcanzaban madurez comercial. Se llevó también registro del peso de los frutos obtenidos de cada hilera de plantas. En total se realizaron cinco cortes.
- 5) Número de frutos cosechados por planta en cada corte y total. Se llevó también un registro del número de frutos por planta para cada hilera.
- 6) Rendimiento promedio total por planta, calculado a partir del peso de fruto en cada corte.
- 7) Rendimiento por unidad de superficie, calculado a partir del peso y número de frutos cosechados en cada corte. Esto se reporta en kg/m^2 .
- 8) Número de frutos por unidad de superficie, calculado a partir del número de frutos calculados por planta en cada corte,

3.7.1. Muestreo destructivo

Con la finalidad de encontrar una variable que ayudara a estimar el área foliar en campo se realizó tres muestreos destructivos (octubre 8, 23 y noviembre 7, 2002), con un intervalo de 15 días entre cada muestreo. Se realizaron mediciones en raíz, tallo, hojas, frutos, flores de peso fresco y posteriormente peso seco, para lo cual se colocaron las muestras en estufa a 60°C por 4 días (hasta peso constante). Se tomaron 5 plantas por tratamiento en cada uno de los muestreos realizados.

El área foliar se midió con un integrador de área foliar LI-3000. Se midieron y consideraron también el ancho y largo de hoja.

Con los datos obtenidos de los tres muestreos destructivos se realizó una correlación entre el área foliar de la hoja y la dimensión a lo largo, lo ancho, el largo por el ancho, así como volumen del tallo, diámetro de tallo, en cada uno de los muestreos y de manera conjunta. Los resultados mostraron que existe una alta correlación entre el producto largo por ancho de la hoja y su área foliar, posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal simple con la finalidad de obtener una fórmula que nos ayudara a estimar el área foliar en las plantas que no se sometieron al muestreo destructivo, obteniéndose lo siguiente:

Coefficiente de correlación de área foliar y producto largo por ancho
= 95.91 %.

Fórmula de regresión lineal simple para la estimación del área foliar;

$$\text{Área foliar} = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1$$

$$\beta_0 = -47.117498$$

$$\beta_1 = 0.337808$$

X_1 = variable largo por ancho

Esta fórmula se aplicó para estimar el área foliar de las plantas conducidas en el invernadero.

3.8. Análisis de la información

Los análisis de los resultados de todas las variables de rendimiento así como el área foliar estimada a través de la formula de análisis de regresión fueron analizados en el programa SAS (Statistical Analysis System) en donde se realizó el análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$). El análisis se llevo acabo considerando una comparación global de los tratamientos (seis tratamientos) y un análisis comparativo entre hileras; éste último con la finalidad de estudiar los efectos de la ubicación de las plantas en cada hilera. Dado que las tinas están ubicada norte-sur, la numeración de las tinas fue de este-oeste. En la figura 2 se muestra el arreglo para la ubicación de hilera.

Para el análisis por hilera se consideraron tres factores: diferencia de altura entre tinas (40-50 cm), ubicación de hilera (inferior este, media este, superior, media oeste, inferior oeste) y densidad de población (25, 30 y 35 plantas/m²). El análisis de estos factores y sus respectivas interacciones se realizó a través de un diseño factorial.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis global de tratamientos

4.1.1. Rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza (Cuadro 3) no muestra diferencias significativas para las variables de rendimiento por planta ni por m² útil para las diferencias de alturas entre tinas y para las densidades estudiadas. De la misma manera para las variables peso de fruto y número frutos por plantas, no se presentaron diferencias significativas. Para la variable número de frutos por unidad de superficie si se presentaron diferencias significativas para el factor densidades de población.

Cuadro 3. Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes, para diferencia de altura entre tina y densidades de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

F. V.	G. L.	Cuadrados Medios				
		Rendimiento por planta	Rendimiento por m ² útil	Peso de fruto	Frutos por planta	Frutos por m ² útil
Diferencia de altura	1	27270 NS	24.58 NS	43.60 NS	0.07 NS	47.93 NS
Error a	6	39636 NS	32.86 NS	88.68 NS	3.33 NS	2886.7 NS
Densidad	2	57434 NS	51.34 NS	77.64 NS	2.99 NS	9136.99 *
Diferencia de altura X Densidad	2	21255 NS	19.98 NS	41.82 NS	0.76 NS	632.08 NS
Error b		18749.92	14.88	46.70	1.32	1040.31
C. V. (%)		13.83	13.11	7.21	11.13	10.50
Media		989 g	29 kg m ⁻²	95 g	10	307

*significativo $\alpha=0.05$. NS = No significativo. C. V.= Coeficiente de Variación. F. V. = Fuente de variación. G. L. = Grados de Libertad.

La comparación de medias para la diferencia de altura entre tina (Cuadro 4) no muestra diferencias significativas para rendimiento ni para sus componentes.

Cuadro 4. Comparación de medias para rendimiento y sus componentes, para diferencia de altura entre tina y densidad de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

Factor	Rendimiento por planta (g)	Rendimiento por m ² útil (kg)	Peso de fruto (g)	Frutos por planta	Frutos por m ² útil
Diferencia de altura (cm)					
50	1023 a	30.4 a	96 a	10.4 a	308.7 a
40	956 a	28.4 a	93 a	10.3 a	305.9 a
DMS	198.8	5.7	9.4	1.8	53.7
Densidad (plantas/m²)					
25	1082 a	27.1 a	98 a	11.0 a	274.4 b
30	969 a	29.1 a	94 a	10.2 a	305.7 ab
35	917 a	32.1 a	92 a	9.8 a	341.9 a
DMS	182.7	5.14	9.11	1.5	43.0

Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$).

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Con relación a la comparación de medias entre densidades de población se observa que tampoco existen diferencias significativas para el rendimiento y sus componentes (Cuadro 4), excepto para la variable frutos por unidad de superficie, en donde el mayor número de frutos se tuvo a una densidad alta (341.9 frutos/m² útil) y el menor a una densidad baja (274.4 frutos/m² útil), lo que representa un 20 % más para la densidad alta (35 plantas/m² útil). Estos

resultados son similares a los de Cancino *et al.* (1990), quienes al evaluar dos densidades de plantas (9 y 16 plantas/m²) despuntadas a uno, dos y tres racimos, en dos variedades de jitomate (Tropic y Ace 55 vf); observaron que el rendimiento por racimo y por planta disminuyó en la densidad alta, pero aumentó el rendimiento por m² útil, lo cual es un indicio de que el grado de competencia entre plantas no ha llegado a un punto en que influya negativamente en el rendimiento y calidad de los frutos. Existen investigaciones similares, en donde al evaluar la densidad de población en jitomate, con las densidades más altas se obtiene mayor rendimiento por unidad de superficie, en algunos casos disminuyendo la calidad del fruto (menor diámetro y peso) (Papadopoulos y Ormrod, 1990; Jorge, 1999; Méndez, 2002; Balderas, 2003).

4.1.2. Variables morfológicas

El análisis de varianza (Cuadro 5) para altura de planta muestra diferencias significativas para el factor diferencia de altura entre tina, no así para diámetro de tallo y área foliar por planta.

En la prueba de comparación de medias para diferencia de altura entre hileras no se detectaron diferencias estadísticas para diámetro de tallo (Cuadro 6). Para la variable altura de planta si se encontraron diferencias estadísticas siendo la diferencia de altura de tina de 40 cm la que mostró las plantas más altas. Esto pudo deberse a que al tener una diferencia de altura de tina menor las plantas se sombrearon más y por lo tanto tendieron a

etirolarse. Con respecto a esto, Papadakis (1980) y Picken *et al.* (1986) señalan que el resultado de una menor incidencia de radiación (por sombreamiento o por alta densidad) sobre el desarrollo del tallo, es un debilitamiento, adelgazamiento y alargamiento de éste con un mayor proporción de parenquima y menor de tejido vascular.

Cuadro 5. Cuadrados medios para caracteres morfológicos, para diferencia de altura entre tina y densidad de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

F. V.	G. L.	Cuadrados medios		
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Área foliar por planta
Diferencia de altura	1	309.46*	0.0014 NS	158.30 NS
Error a	6	38.94 NS	0.0021 NS	380.07 NS
Densidad	2	27.01 NS	0.0065 NS	79.33 NS
Diferencia de altura X Densidad	2	40.84 NS	0.0005 NS	5.25 NS
Error b		19.37	0.0035	90.58
C. V.(%)		3.34	4.77	14.66
Media		132 cm	1.3 cm	64.9 dm ²

*significativo $\alpha = 0.05$. NS = No significativo. C. V.= Coeficiente de Variación. F. V. = Fuente de variación.
G. L. = Grados de Libertad.

En cuanto a densidades de población no se detectaron diferencias estadísticas para las variables diámetro de tallo, altura final y área foliar por planta (Cuadro 6). Se observa una tendencia numérica a menor altura de planta, mayor diámetro de tallo y mayor área foliar con la densidad a 25 plantas/m², que pudiera explicarse como una menor presión de sombreamiento de las plantas.

A pesar de que en muchas de las variables evaluadas no se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza y en la prueba de

comparación de medias, se aprecia que la diferencia de altura entre tinas de 50 cm y a una densidad baja tiende a un mayor rendimiento por planta, sin embargo el mayor rendimiento por m² útil se tiene en la densidad alta, a costa de una cierta disminución de la calidad del fruto en cuanto a tamaño y peso.

Cuadro 6. Comparación de medias para caracteres morfológicos, para diferencia en altura entre tina y densidad de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

Factor	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Área foliar por planta (dm ²)
Diferencia de altura (cm)			
50	128 b	1.26 a	62.4 a
40	135 a	1.24 a	67.5 a
DMS	6.2	0.05	19.5
Densidad (plantas/m ²)			
25	130 a	1.26 a	68.5 a
30	132 a	1.27 a	62.6 a
35	134 a	1.22 a	63.7 a
DMS	5.9	0.08	12.7

Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$).

DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Resultados similares fueron encontrados por Balderas (2003), al trabajar con densidades de jitomate (30 y 40 plantas/m²), en un sistema de dosel escaleriforme similar al manejado en el presente experimento, pero con las hileras de plantas orientadas en dirección este-oeste.

4.2. Análisis por hileras

El análisis por hilera se justifica considerando que la ubicación de cada una de las tinas en el conjunto de cinco, provocó que cada hilera de plantas estuviera en un ambiente diferente provocando diferencias en el crecimiento y desarrollo que se manifestaron en la expresión cuantitativa de las variables estudiadas.

Las hileras superiores, por ejemplo tuvieron un ambiente más favorable caracterizado por una mayor irradiancia diaria tanto de radiación directa como difusa, mayor ventilación o flujo de aire que propicia una adecuada transpiración, nutrición y la ausencia de interferencias en la intercepción de la radiación causada por plantas de otras hileras ó por el costado de tinas contiguas.

Las tinas intermedias, y sobre todo las inferiores, tuvieron ambientes con más limitaciones, destacando la menor irradiancia provocada por el sombramiento de los costados de las tinas y de plantas en hileras superiores. La radiación directa sólo duraba la mitad del día (en las mañanas para las hileras de plantas ubicadas al este y en la tarde para las ubicadas en el oeste) y la difusa quedo restringida a con la mitad del horizonte, el flujo de aire debió ser menor, lo mismo que la tasa transpiratoria, la humedad relativa más alta y seguramente el patrón de distribución de temperatura también fue diferente.

4.2.1. Rendimiento y sus componentes

En el análisis de varianza (Cuadro 7) muestra que para el rendimiento por planta y por m² útil se presentaron diferencias significativas para hilera y densidad, además de que existió interacción significativa entre diferencia en altura entre tinas y ubicación de hileras, es decir, que los valores de rendimiento por planta y por m² útil no siguieron la misma tendencia en cada hilera a una diferencia de altura a 40 que a 50 cm.

Cuadro 7. Cuadrados medios para las variables de rendimiento y sus componentes, para los factores diferencia de altura, ubicación de hilera y densidad de población y sus interacciones, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

F. V.	G. L.	Cuadrados Medios				
		Rendimiento por planta	Rendimiento por m ² útil	Peso de fruto	Frutos por planta	Frutos por m ² útil
Diferencia de altura	1	136354 NS	122.89 NS	218.29 NS	0.35 NS	239.65 NS
Hilera	4	1503085 *	1369.22 *	1012.06 *	117.4 *	108446.28 *
Densidad	2	327419 *	256.68 *	410.36 NS	17.50 *	42419.51 *
Diferencia de altura X Hilera	4	463520 *	399.35 *	340.58 NS	32.41 *	27814.46 *
Diferencia de altura X Densidad	2	80716 NS	99.92 NS	195.37 NS	2.29 NS	1678.86 NS
Hileras X Densidad	8	17640 NS	43.32 NS	144.26 NS	1.83 NS	4680.96 NS
Diferencia de altura X Hilera X Densidad	8	45035 NS	29.06 NS	117.33 NS	4.19 NS	3233.92 NS
Error	90	77672	70.96	237.24	5.48	4844.13
C. V. (%)		28.16	28.68	16.26	22.71	22.65
Media general		989 g	29 kg m ⁻²	95 g	10	307 frutos/m ²

*significativo $\alpha = 0.05$. NS = No significativo. C. V. = Coeficiente de Variación. F. V. = Fuente de variación.
G. L. = Grados de Libertad.

Para peso de fruto sólo se encontraron diferencias significativas entre hileras (Cuadro 7). En el caso de número de frutos por planta y por m^2 útil, se presentaron diferencias significativas para hilera, densidad y para la interacción entre la diferencia en altura entre tinas e hileras.

En el Cuadro 8 se muestra la comparación de medias realizada para rendimiento y sus componentes, considerando diferencia de altura entre tinas. Como puede observarse no existen diferencias estadísticas en rendimiento y sus componentes. De la misma manera para peso de frutos, frutos por planta y frutos por m^2 útil tampoco se detectaron diferencias significativas.

En la prueba de comparación de medias para la ubicación de las hileras de plantas se detectaron diferencias estadísticas en el rendimiento por planta y por metro cuadrado útil (Cuadro 8).

La hilera superior mostró mayor rendimiento por planta (1.342 kg) y por m^2 útil (40 kg), debido a que por su posición la radiación recibida fue mayor, ya que se encontraba en el estrato (nivel) superior, las plantas recibieron más radiación (tanto directa como difusa) tanto en la mañana como en la tarde y por lo tanto produjeron más fotosintatos por día, dando como resultado un rendimiento mayor con respecto a las hileras de los niveles medios e inferiores. También se observa que las hileras inferior oeste e inferior este son las que presentaron menor rendimiento esto se debe a que son las hileras que ocuparon el estrato más bajo, y por lo tanto el efecto de sombramiento fue mayor, afectando el rendimiento por planta y por unidad

de superficie. El rango de rendimiento por planta fue de 1.342 a 0.664 kg, por lo que la diferencia en porcentaje es de 49.5 % y para rendimiento por m² útil fue de 50.0 % entre el nivel de hilera con mayor y menor rendimiento (40 y 20 kg/m² útil, respectivamente).

Cuadro 8. Comparación de medias de rendimiento y sus componentes, para los factores diferencia de altura entre tinas, ubicación de hilera y densidad de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

Factor	Rendimiento por planta (g)	Rendimiento por m ² útil (kg)	Peso de fruto (g)	Frutos por planta	Frutos por m ² útil
Diferencia de altura (cm)					
50	1023 a	30.4 a	96 a	10.4 a	308.7 a
40	956 a	28.4 a	93 a	10.3 a	305.9 a
DMS	101.1	3.06	5.6	0.9	25.3
Hilera					
Inferior este	890 b	26.4 bc	96 a	8.9 c	265.2 c
Media este	1087 b	32.3 b	93 b	11.6 ab	348.9 ab
Superior	1342 a	40.2 a	105 a	12.8 a	384.1 a
Media oeste	964 b	28.5 b	89 b	10.9 b	322.9 b
Inferior oeste	664 c	19.7 c	91 b	7.3 c	215.5 c
DMS	224	6.7	12.4	1.9	55.9
Densidad (plantas/m²)					
25	1083 a	27.1 b	105 a	10.9 a	274.4 b
30	969 ab	29.1 ab	89 b	10.2 a	305.7 ab
35	917 b	32.1 a	91 b	9.8 a	341.9 a
DMS	149	4.5	12.4	1.2	44.9

Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$).
DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Para peso de fruto, frutos por planta y frutos por m^2 útil se encontraron diferencias estadísticas, pero en la hilera superior se presentaron los valores más altos y en las hileras inferiores este y oeste los más bajos, excepto para la variable peso de fruto donde el valor más bajo fue en la hilera media oeste (Cuadro 8). Para el peso del fruto se tuvo una diferencia de 15.2 % entre las hileras de mayor y menor rendimiento, mientras que para el número de frutos por unidad de superficie la diferencia fue de 43.9 %, para frutos por planta la diferencia fue de 42.9 %. Parece que al estar por falta de luz afecta más al número de frutos por planta, que al peso final alcanzado por los frutos. Resultados similares se han obtenido por Sánchez (1997); Regalado (2001).

Entre densidades de población, si se detectaron diferencias estadísticas para rendimiento por planta y por m^2 útil (Cuadro 8). El mayor rendimiento por planta fue con una densidad baja (1.083 kg), seguido por la densidad media y finalmente la densidad alta, presentándose en este el valor más bajo de rendimiento por planta (917 g). Con respecto al rendimiento por unidad de superficie el mayor fue con la densidad alta (32.1 kg/m^2) y el menor rendimiento en la densidad baja (27.1 kg/m^2). Para el peso de fruto y frutos por planta no se presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, para la variable frutos por m^2 útil si se detectaron diferencias significativas, presentándose el valor mayor a una densidad alta (342 frutos por m^2 útil) y el valor más bajo en la densidad baja (274 frutos por m^2 útil), por lo que existe una diferencia de 19.9 %.

Al analizar la interacción significativa entre diferencia de altura entre tinas y la ubicación de hileras para la variable rendimiento por planta (Figura 6) y rendimiento por m² útil (Figura 7) se observa un comportamiento diferencial, mismo que causó la significancia.

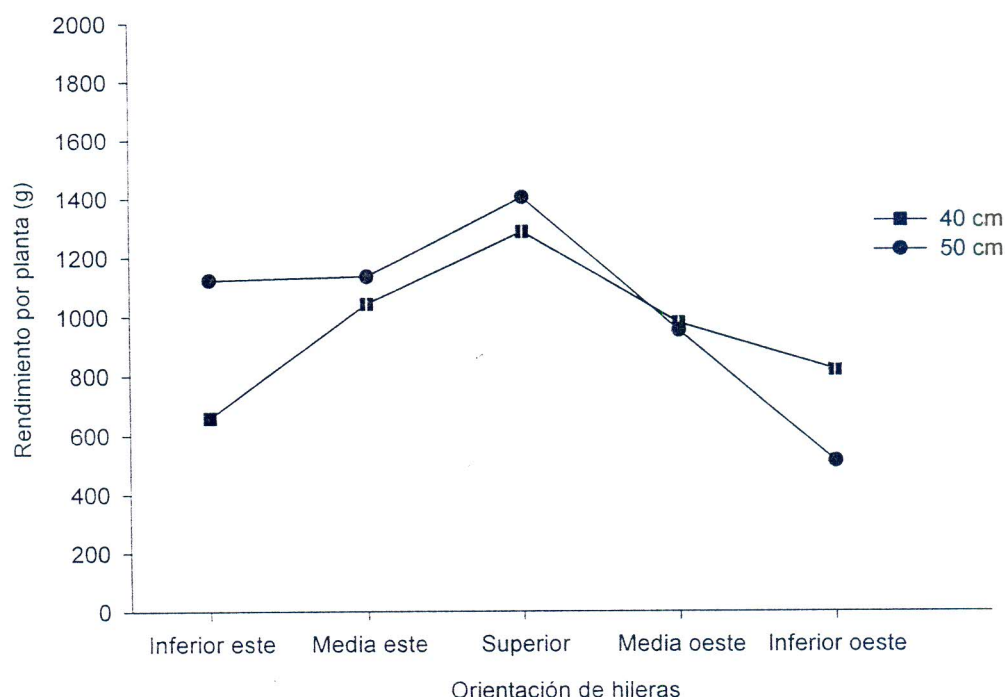


Figura 6. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable rendimiento por planta de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.

En la hilera inferior este, las plantas con diferencia de altura de 40 cm con respecto a la siguiente tina rindieron significativamente más (63 %) que las plantas de la misma ubicación (inferior este) pero con diferencia de altura entre tina de 50 cm, sin embargo, con la hilera inferior oeste ocurrió todo lo contrario, aquí se tuvieron los valores más bajos para la diferencia de altura

a 50 cm, siendo mayor el rendimiento por planta a una diferencia de altura a 40 cm (818 y 510 g, respectivamente).

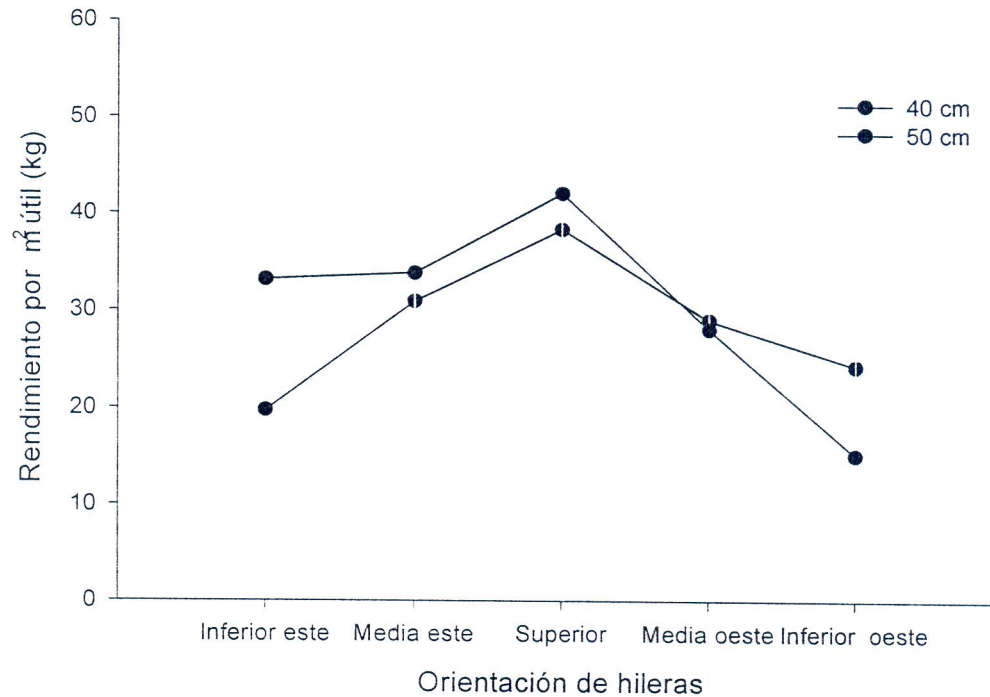


Figura 7. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable rendimiento por m² útil de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.

Este comportamiento es similar para el rendimiento por m² útil (Figura 7). Teóricamente se esperaría un mayor rendimiento a una diferencia de altura entre tinas a 50 cm dado que existe mayor distancia entre tinas contiguas con respecto a las de 40 cm por lo que las plantas se encuentran menos sombreadas, pero se esperaba un rendimiento similar para las tinas ubicadas en la hilera inferior este u oeste, puesto que ambas se encuentran sombreadas medio día, la hilera inferior oeste por la mañana y la este por la tarde. Como se muestra en la Figura 5, el sorteo que se realizó para la

ubicación de los tratamientos permite observar que las condiciones en que se desarrollo el experimento fueron homogéneas en cuanto a la ubicación con respecto al sol, por lo que no encontramos una explicación lógica a este comportamiento.

Al analizar la interacción significativa entre diferencia de altura entre tinas y la ubicación de hileras para la variable frutos por planta (Figura 8) y por m² útil (figura 9), se observa un comportamiento diferencial que fue el que causó la significancia.

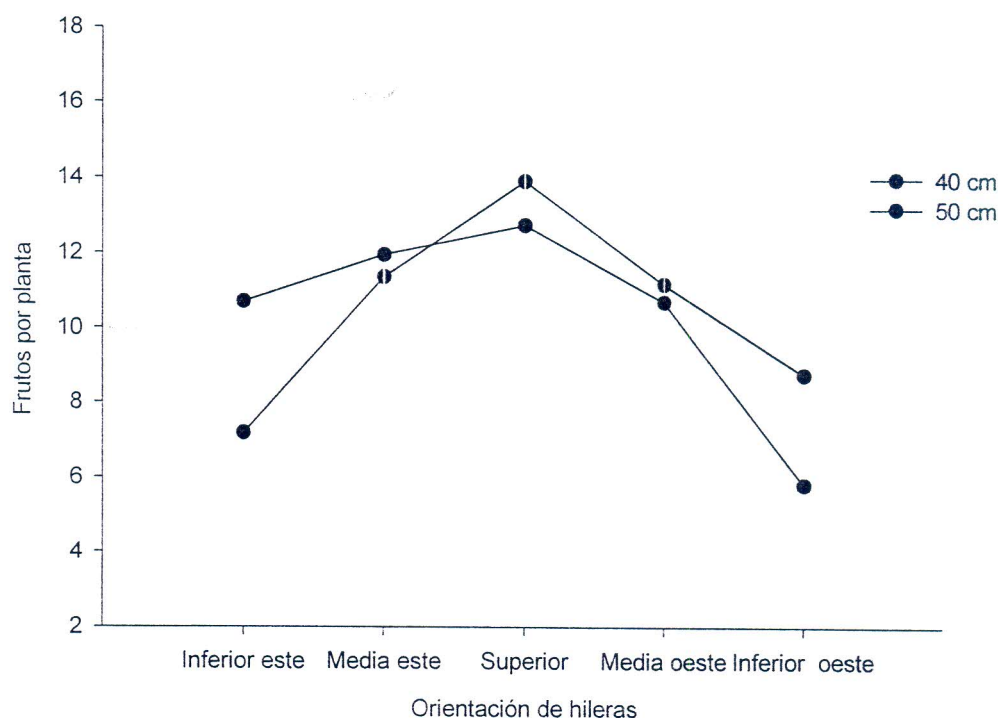


Figura 8. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable frutos por planta de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.

En la hilera inferior este las plantas con diferencia de altura entre tinas a 50 cm con respecto a la siguiente tina rindieron significativamente más frutos que las plantas de la misma ubicación (inferior este) pero con diferencia de altura a 40 cm, mientras que para la hilera inferior oeste ocurrió todo lo contrario. Al igual que para las variables de rendimiento por planta y por m² útil para la interacción diferencia de altura entre tinas y ubicación de hileras, no encontramos una explicación lógica este comportamiento puesto que las hileras de plantas se evaluaron en un ambiente similar.

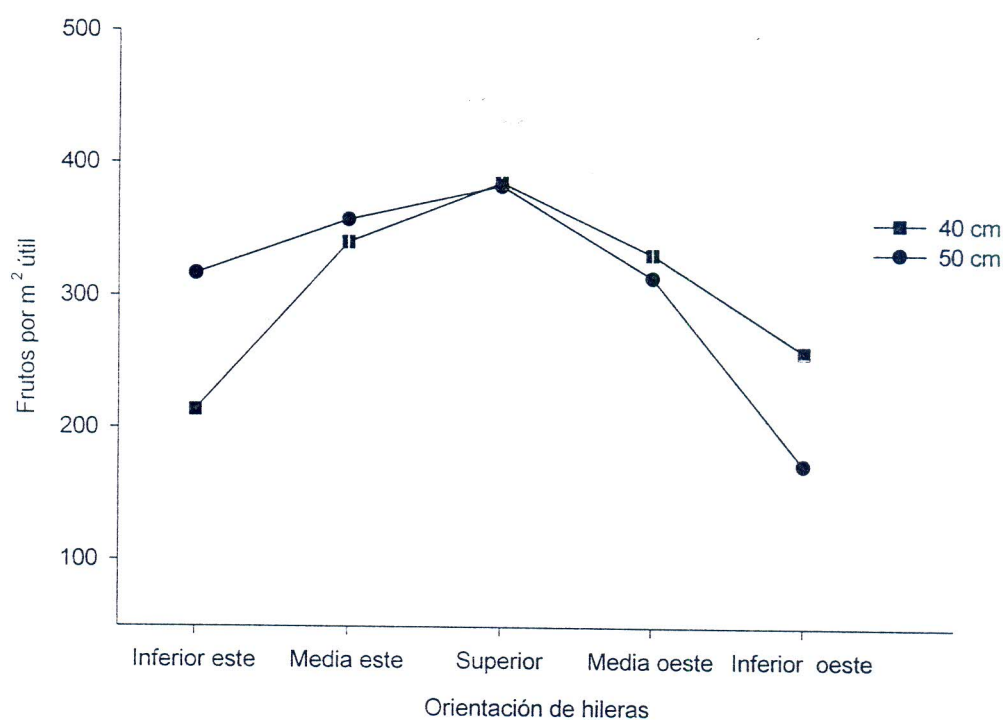


Figura 9. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y ubicación de hileras de plantas, para la variable frutos por m² útil de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.

En resumen, se presentaron diferencias significativas entre ubicación de hileras para las variables peso de fruto y diámetro y también para la

ubicación de hileras y densidad de población para las variables número de frutos por planta y por m^2 útil. Estos resultados son similares a los reportados por Balderas (2003), donde al trabajar con densidades de jitomate (30 y 40 plantas/ m^2), en un sistema de dosel escaleriforme pero con hileras de plantas a distinta altura en orientación este-oeste observó diferencias significativas, cuando se consideró el análisis por hilera, en las variables de componentes del rendimiento (rendimiento, frutos por planta, diámetro y peso promedio de fruto), siendo la hilera superior la que presentó los valores más altos en los componentes del rendimiento. Este comportamiento, de acuerdo con el autor, fue provocado principalmente por el sombreado de la hilera superior hacia las otras hileras inferiores por el exceso vigor que mostró el material vegetal (Gironda) en la hilera superior. Del mismo modo estos resultados concuerdan con los presentados por Papadopoulos y Ormrod, (1990), al evaluar dos cultivares de jitomate (Jumbo y Ohio CR-6) en un sistema de cuatro hileras con espaciamiento de plantas de 23, 30, 38, 45, 53 y 60 centímetros en dos estaciones (primavera y otoño) diferentes del año; en donde demostraron que a medida que se aumenta la densidad de población, el rendimiento también se incrementa debido a un mayor número de frutos, aunque más pequeños. Por otra parte, Donald (1968) menciona que en un cultivo en alta densidad las plantas sufren una competencia tan fuerte de sus vecinas que su rendimiento individual puede llegar a ser de sólo el 10 a 20 % de lo que rendiría sin competencia alguna. Por lo tanto una planta individual dentro de la comunidad, expresará su potencial de crecimiento más plenamente si sufre menor interferencia de sus vecinas.

4.2.2. Variables morfológicas

El análisis de varianza (Cuadro 9) indica que se encontraron diferencias significativas para la variable altura en planta, con respecto a los factores diferencia de altura entre tinas y ubicación de hilera, además de encontrarse interacción significativa entre los factores diferencia de altura entre tina y densidad de población. Para la variable diámetro de tallo se encontraron diferencias significativas sólo en el factor ubicación de hilera. Se encontró diferencia significativa para área foliar por planta en el factor ubicación de hilera.

Cuadro 9. Cuadrados medios para caracteres morfológicos, para los factores diferencia de altura entre tina, ubicación de hilera, densidad de población y sus interacciones, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

F. V.	G. L.	Cuadrados medios		
		Altura de planta	Diámetro de tallo	Área foliar por planta
Diferencia de altura	1	1355.65 *	0.0032 NS	79148.49 NS
Hilera	4	1252.18 *	0.3440 *	124397.03 *
Densidad	2	158.46 NS	0.0287 NS	25525.78 NS
Diferencia de altura X Hilera	4	142.72 NS	0.0168 NS	49440.68 NS
Diferencia de altura X Densidad	2	280.99 *	0.0036 NS	8341.54 NS
Hilera X Densidad	8	18.84 NS	0.0059 NS	6110.36 NS
Diferencia de altura X Hilera X Densidad	8	42.60 NS	0.0054 NS	13842.70 NS
Error	90	60.99	0.0102	34064.06
C. V. (%)		5.92	8.09	28.42
Media general		132 cm	1.2 cm	64.9 dm ²

*significativo $\alpha = 0.05$. NS = No significativo. C. V. = Coeficiente de Variación. F. V. = Fuente de variación. G. L. = Grados de Libertad.

La comparación de medias (Cuadro 10) muestra que existen diferencias significativas de altura de planta con respecto a diferencia de altura entre tinajas. Se observa que a una diferencia de altura entre tinajas contiguas de 40 cm, las plantas son de mayor altura que cuando la diferencia de altura entre tinajas es de 50 cm.

Entre ubicación de hileras se presentaron diferencias estadísticas para las variables altura de planta, diámetro de tallo y área foliar (Cuadro 10). Para altura de planta fue en la hilera inferior oeste donde se presentó el valor más alto (139 cm), presentándose en la hilera superior las plantas de menor altura (120 cm).

El mayor diámetro de tallo (1.44 cm) se presentó en la hilera superior y se observa que va disminuyendo a medida que baja a las hileras inferiores. Con respecto al área foliar, se observa que sólo la hilera inferior oeste fue significativamente menor a la hilera media este; entre las demás hileras el área foliar por planta fue estadísticamente igual.

La densidad de población, no influyó de manera significativa para ninguno de los caracteres morfológicos considerados (Cuadro 10). Sin embargo se observa la tendencia de que a mayor densidad de población se tiene una mayor altura de planta y un menor diámetro de tallo, como consecuencia del sombreado entre las plantas.

Cuadro 10. Comparación de medias para caracteres morfológicos, para diferencia de altura entre tinas, hilera y densidad de población, en plantas de jitomate despuntadas a tres racimos bajo el sistema de dosel en doble escalera.

Factor	Altura de planta (cm)	Diámetro tallo (cm)	Area foliar por planta (dm ⁻²)
Diferencia de altura (cm)			
50	128 b	1.25 a	62.4 a
40	135 a	1.24 a	67.5 a
DMS	2.8	0.04	6.69
Hilera			
Inferior este	135 ab	1.19 bc	59.5 ab
Media este	131 b	1.27 b	72.4 a
superior	120 c	1.44 a	67.8 ab
Media oeste	135 ab	1.22 b	69.6 ab
Inferior oeste	139 a	1.12 c	55.4 b
DMS	6.3	0.08	14.83
Densidad (plantas/m²)			
25	130 a	1.27 a	68.5 a
30	132 a	1.26 a	62.6 a
35	133 a	1.22 a	63.7 a
DMS	4.17	0.05	9.70

Medias con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$).
DMS= Diferencia Mínima Significativa.

Ucan (1999) al evaluar cuatro densidades (6, 8, 9 y 12 plantas/m²) despuntadas a tres racimos, usando el cv Daniela, encontró que al aumentar la densidad a 12 plantas/m² disminuyó significativamente el área foliar en un 16 %; en cambio para el índice de área foliar fue el contrario aumentó en un

65 %. Ballaré *et al.*, (1995) mencionan que a través de la percepción del nivel del rojo:rojo lejano las plantas perciben la cercanía o lejanía de competidores potenciales. En presencia de alta densidad poblacional, y controlando las variables que determinan la disponibilidad de nutrientes, agua y CO₂, las plantas de la misma edad y genéticamente homogéneas desarrollan tallos más largos, menor ramificación o amacollamiento, un sistema radical más pequeño y menor cantidad de estructuras reproductivas no abortivas en comparación con la situación de baja densidad poblacional.

Al analizar la interacción significativa entre diferencia de altura entre tinajas densidades de población para la variable altura de planta (Figura 10), se encontró un comportamiento diferencial, que fue el que causó la significancia.

Se observa claramente que las plantas que desarrollaron mayor altura fueron las de diferencia de altura entre tinajas a 40, con respecto a los de 50 cm. Esto posiblemente se debe a que al tener menor altura entre cada tinaja contigua, se presentó mayor efecto de sombreado entre las plantas, lo que provocó que las plantas se etiolarán. Por otra parte, con una diferencia de altura entre tinajas a 40 cm al incrementar la densidad de población se incrementa la altura de las plantas, debido a que existe mayor competencia por luz, mientras que a 50 cm la densidad de población no parece afectar la altura de la planta, posiblemente a que la radiación que se interceptó por las hojas fue suficiente, para no causar ese efecto de sombreado, dado que

existió mayor distancia entre tinas contiguas haciendo que la radiación incidente se distribuyera más homogéneamente.

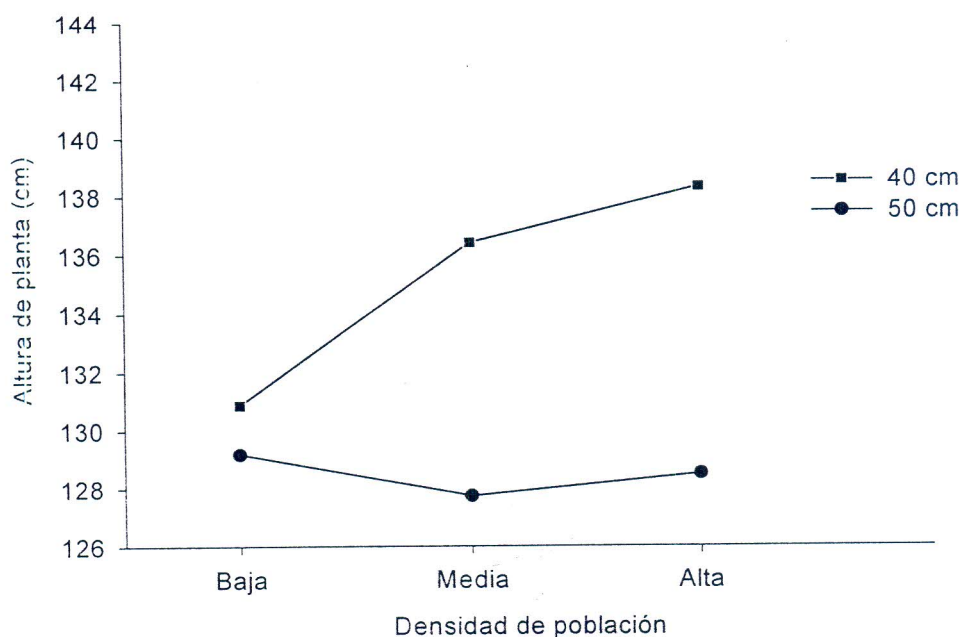


Figura 10. Representación gráfica de la interacción entre diferencia de altura entre tina y densidad de población, para la variable altura de planta de jitomate, bajo el sistema de dosel en doble escalera.

A través del análisis por hilera se logró detectar que, la diferencia de altura entre tina y la ubicación de hilera tuvieron un importante efecto de sombreamiento en las plantas. En este caso, una de las principales causas fue el excesivo vigor del híbrido utilizado en la presente investigación, por lo que es conveniente que para el desarrollo de un sistema de doseles escaleriformes como el propuesto se evalúen otras variedades de preferencia de tipo determinado y no muy vigorosas. En la presente investigación se utilizó el material vegetal Gironda a pesar de conocer su

vigoroso crecimiento, debido a que es uno de los tipos de jitomate más demandados para el mercado de exportación.

Conjuntamente con lo anterior, continuar evaluando la densidad de población, debido a que si se utiliza una variedad de menor vigor es probable que los frutos sean de mayor calidad, aun en densidades altas debido a una menor competencia por la radiación. Con respecto a la diferencia de altura entre tina, lo más recomendable sería de 50 cm, debido a que existe mayor distancia en cada nivel y por lo tanto una mejor distribución de la radiación solar, aunque el análisis estadístico no haya mostrado diferencias significativas para rendimiento. En el caso de la distancia entre hileras sería conveniente la evaluación de distancias de mayor amplitud, ya que con esto se podría mejorar la distribución de la radiación incidente

A manera de resumen se observó que a una diferencia de altura a 50 cm, se tiene mejor rendimiento con respecto a la de 40 cm aunque no se muestran diferencias significativa. Sin embargo, para una variedad de menor porte posiblemente exista un efecto mayor. Para cuestiones prácticas, resultaría mejor una diferencia de altura entre tinajas a 40 cm, dado que prácticas como el tutorado resultarían mucho más cómodo y rápido a esta altura. Por otra parte aun sin considerar el material que se utilizara para darle la elevación a las tinajas cualquiera que sea éste, a una altura a 40 cm el uso de material se reduciría con respecto al de 50 cm, teniéndose una menor inversión. Por los

rendimientos encontrados en este experimento, el gasto en toda una instalación para darle la elevación a las tinas si se justificaría.

La densidad de población baja permitió un mayor rendimiento por planta, pero es en la densidad alta donde se logró el mayor rendimiento por unidad de superficie. Esto se debe a que se incrementa el índice de área foliar tal como lo mencionan Shibles y Weber (1966), que descubrieron que las altas densidades dan como resultado un incremento del índice de área foliar y una reducción en el número de días de la emergencia a 95 % de la intercepción de la radiación solar. Los espaciamientos extensos dan como resultado menos intercepción en todos los estados de su anterior desarrollo para una intercepción máxima, la cual tuvo también un retraso considerable. Por otra parte, el crecimiento del cultivo a densidades altas en el estudio de Cockshull y Ho (1995) no sólo produjo más frutos por metro cuadrado, si no que también produjo más asimilados, como resultado de tener más hojas por metro cuadrado y por lo tanto, un índice de área foliar más alto que intercepta más de la radiación solar incidente. Sin embargo, es necesario considerar que existe un límite a en el cual, el tener densidades altas la calidad del fruto se puede afectar negativamente (Cocksull, 1995; Saglam y Yazgan, 1995; Balderas, 2003). Hamed y Mohamed (1987) mencionan que en alta densidad donde la radiación no penetra en los diferentes niveles de un dosel vegetal el rendimiento por planta disminuye, pero por unidad de superficie se incrementa. El efecto del incremento del rendimiento a densidades altas también ha sido reportada por algunos autores como: Papadopoulos y Ormrod (1990); Cancino *et al.* (1990); Rodríguez, (1995).

En relación a las hileras los rendimientos más altos se obtuvieron en la hilera superior dado que la radiación incidente que reciben las plantas es a lo largo del día. Sin embargo para las hileras inferior este la radiación incidente es solo por la mañana y ocurre lo contrario con la hilera inferior oeste, reflejándose un mayor efecto de sombreamiento de las plantas para estas hileras. Al trabajar en un sistema de dosel escaleriforme similar al presente experimento, Balderas (2003), pero con orientación de hileras este-oeste, menciona que la hilera superior llegaba una radiación equivalente al 30 % de la incidente encima del dosel, mientras que para las hileras intermedia e inferior, sólo llegaba el 15 y 7 %, respectivamente. En un estudio de Hand *et al.* (1993), aproximadamente a medio día, en el momento de la radiación solar más intensa, hubo un 80 % de disminución en la interceptación del flujo de fotones fotosintéticos en hileras orientadas N-S. En hileras E-O se presentó una reducción de la interceptación temprano y tarde durante el día cuando el flujo de fotones fotosintéticos fue bajo y la importancia de la radiación directa fue baja con la luz difusa. Distintos resultados indican que las plantas desarrolladas en invernadero o en otros espacios con proporciones elevadas de radiación difusa, son probablemente las que tienen mayor eficiencia en el uso de la radiación que las observadas a baja radiación, sobre todo directa (Sinclair, 1991; Arkebauer *et al.*, 1994.). Jackson (1980), señala que el efecto de la orientación de las hileras de jitomate sobre la interceptación del flujo de fotones fotosintéticos varía con la hora del día, estación, latitud y geometría del dosel. Por lo anterior, se considera que mediante el dosel en forma de doble escalera si es posible mejorar la radiación interceptada por el dosel, sin embargo, dado que el

híbrido que se manejó en experimento es de crecimiento muy vigoroso, el efecto del uso este sistema no es muy claro. Por lo que es recomendable la evaluación de variedades de crecimiento determinado, de menor vigor.

V. CONCLUSIÓN

A través de los resultados obtenidos en el desarrollo de la presente investigación, llevado a cabo en plantas de jitomate híbrido "Gironda" manejadas a tres racimos a dos diferencias de altura entre tinas (40 y 50 cm) y tres densidades de población (25, 30 y 35 plantas/m²) formando doseles en forma de doble escalera en dirección norte sur, se concluye que:

- Solo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($\alpha = 0.05$) para la variable altura final de planta y para el número de frutos por m² útil. La mayor altura de planta (135 cm) se registró a una diferencia de altura entre tinas de 40 cm. En tanto que el mayor número de frutos (342) se obtuvo a una densidad de población de 35 plantas/m² y la menor (274) en 25 plantas/m².

VI. RECOMENDACIONES

- En el presente estudio el híbrido Gironda presentó un excesivo crecimiento en área foliar, bajo el sistema escaleriforme, por lo que se recomienda la evaluación de otros genotipos pero de hábito determinado.
- Es necesaria la evaluación de distancia entre hileras de plantas contiguas con dimensiones mas grandes (25 ó 30 cm), puesto que esto ayudaría a un mejor aprovechamiento de la radiación interceptada por el dosel.

VII. LITERATURA CITADA

- Arkebauer, T. J., A. Weiss, T.R. Sinclair and A. Blum. 1994. In defense of radiation use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology* 68:221-227.
- Azcon-Bieto, J. 1993. *Fisiología Vegetal y Bioquímica Vegetal*. Ed. Interamericana McGraw-hill. 581 p.
- Azcon-Bieto, y J. Talón M. 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Ed. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. 522 p.
- Ballaré, C. L., A. L. Scopel and R. A. Sánchez. 1990. Far red radiation reflected from adjacent leaves: an early signal of competition in plant canopies. *Science*. 247:329-332.
- Balderas R., F. 2003. Uso de cycocel y paclobutrazol en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en doseles escaleriformes bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Beadle, C. I. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 17-20. *In*. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Coombs, J., D. O. Hall, S. P. Long, y J. M. Scurlock (eds) Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Benavides A., R. K. Maiti y E. G. Terán. 1993. El Balance Espectral de la Radiación y la Fotomorfogénesis y Productividad de los Vegetales. Monografía técnica. Centro de Investigación en Química Aplicada. 46 p.

- Bernat J. C., J. J. Andrés y J. M. Ross. 1987. Invernaderos: Construcción, Manejo y Rentabilidad. Ed. AEDOS. 190 p.
- Calvert, A., 1973. Environmental responses. In. The United Kingdom Tomato Manual. Growers Books. Londres, Inglaterra. pp 19-34.
- Cancino B., J., F. Sánchez del C y P. Espinosa R. 1990. Efecto del despunte y la densidad de población sobre dos variedades de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Revista Chapingo 73-74: 26-30.
- Castellano A., E. y Escobedo M. 1980. La Energía Solar en México: Situación Actual y Perspectivas. Centro de Ecodesarrollo. 101 pp.
- 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.
- Charles-Edwards, D. A.; D. Doley ; G. M. Rimmington. 1986. Modelling Plant Growth and Development. Academic Press. Sidney, Australia. 235 p.
- Cockshull, K. E., Graves, C. J. y Cave, C. R. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. Journal Horticultural Science 67:11-24.
- Cockshull, K. E. and Ho, L. C. 1995. Regulation of tomato fruit size by plant density and truss thinning. Journal Horticultural Science 70: 395-407.
- Demolón, A. 1966. Principios de Agronomía. Vol. II: Crecimiento de los Vegetales Cultivados. Ed. Omega. Barcelona, España. 263 p.
- Donald, C. M. 1968. The breeding of crop ideotypes. Euphytica 17:385-403.

- Donald, C. M. and J. Hamblin. 1983. The convergent evolution of annual seed crops in agriculture. *Advances in Agronomy* 28:301-359.
- FAO., 1990. *Soiless Culture for Horticultural Crop Production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 188 pp.
- FAO, 2002. *Estadísticas Agrícolas Mundiales; superficie, rendimiento y producción de cultivo*. Roma, Italia. 458 p.
- Ferry, R. L. and Janick, J. 1970. Response of tomato population pressure. *Journal American Society Horticultural Science* 91:47-60.
- Gardner, F. O., Pearce, R. B. and Mitchel, R. L. 1990. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Iowa, EUA. 327 p.
- Gates, D. M. 1980. *Biophysical Ecology*. Springer-Verlag New York, Inc. New York. 257 p.
- González, N. F. 2003. *Hortalizas, Frutas y Flores*. Agro Síntesis, S. A. De C. V. México D. F. 42 p.
- Halliday, K. J., M. Koorneef and G. C. Whitelam. 1994. Phytochrome B and at least one other phytochrome mediate the accelerated flowering response of *Arabidopsis thaliana* L. to low red/far –red ratio. *Plant Physiology* 104: 1311-1315.
- Hamed, Y. N. and A. A. H. Mohamed. 1987. Effect of cutting stage, nitrogen fertilization and seeding rate and quality of hybrid forage sorghum. *Agricultural Science* 5:135-148.
- Hand D. V. 1984. Crop responses to winter and summer CO₂ enrichment. *Acta Horticulture* 162:45-64.

- Hand, D. W. Warren Wilson. J. and Hannah. M. A. 1993. Light interception by a row crop of glasshouse peppers. *Journal Horticultural Science* 68:695-703.
- Harper , L. A., J. E. Pallas Jr., R. R. Bruce, and J. B. Jones Jr. 1979. Greenhouse microclimate for tomatoes in the southeast. *Journal American Society Horticultural Science* 104(5):659-663.
- Ho, L. C. and Hewitt, J. D. 1986. Fruit development. En: *The Tomato Crop*. J. G. Atherton y J. Rudich (eds), Chapman and Hall, Londres, Reino Unido, pp. 201-239.
- Holmes, M. G. and H. Smith. 1997. The function of phytochrome in the natural environment. The influence of vegetation canopies on the spectral energy distribution of natural daylight. *Photochemistry. Photobiology*. 25:539-546.
- Hurd, R. G., 1973. Long-Day effects on growth and flower initiation of tomato plants in low light. *Annals of Applied Biology* 73:221-228.
- Hurd, R. G. and Thornley J. H. M. 1974. An analysis of growth of young tomato plants in water culture at different light integrals and CO₂ concentrations. I Physiological aspects. *Annals of Botany* 38: 375-378.
- Hussey, G. 1963. Growth and development in the young tomato. I effect of temperature and light intensity on growth of the shoot apex and leaf primordia. *Journal Experimental Botany* 14:316-325.
- Jackson, J. E. 1980. Light interception and utilization by orchard system. *Horticultural Review* 2: 208-267.

- Jorge S., M. 1999. Densidades, arreglos de población y niveles de despunte en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 98 p.
- Kinet, J. M. 1977. Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae* 6:15-26.
- Larcher, W. 1980. *Physiological Plant Ecology*. 2ª edición. Springer-Verlag. Berlín. 303 p.
- Lira S. R. 2000. *Fisiología Vegetal*. Ed. Trillas S.A. de C. V. 237 p.
- Lorente, J. M. 1996. *Meteorología*. Ed. Labor. Madrid. 145p.
- Ludvig, J. L. 1974. Effects of light flux density, CO₂ enrichment and temperature on leaf photosynthesis. *Ann. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst.*, 1973:47-49
- Marrero L. P. 1986. Influencia de Algunos Factores Ecológicos Sobre el Crecimiento del Jitomate. Instituto Superior de ciencias de la habana. La Habana, Cuba. 42 p.
- Méndez G., T. 2002. Formación de doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) orientadas en dirección Este-Oeste. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 136 p.
- Mock, J. J. and R. B. Pearce. 1975. An ideotype of maize. *Euphytica* 24: 613-623.

- Nobel, P. S. and S. P. Long. 1988. Estructura del dosel e intercepción de luz. pp. 34-41. *In: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad*. Scurlock, J. M. ;S. P. Long; D. O., Hall y J. Coombs (editors.) Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Nuez, F. 1995. El cultivo de tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793p.
- Papadakis, J. 1980. Ecología de Cultivos, Pasturas y Suelos. Ed. Albastros. Buenos Aires, Argentina. 283 p.
- Papadoupulus, A. P. and Ormrod, D. P. 1988. Plant spacing effects on photosynthesis and transpiration of the greenhouse tomato. *Canadian Journal Plant Science* 68:1209-1218.
- Papadopoulos, A. P. and Ormrod, D. P. 1990. Plant spacing effects on yield of the greenhouse tomato. *Canadian Journal of Plant Science* 70:2
- Peat, H. E. 1970. Relationships between photosynthesis and light intensity in the tomato. *Annual Botany* 34:319-328.
- Fendleton, J. W., Smith, G. E., Winter, S. R. and Johson, T. J. 1968. Leaf inclination variation within maize canopies. *Agronomy Journal* 60:422-424.
- Pérez G., M. y R. Castro, B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de Divulgación # 3. Programa Universitario de Investigación y servicio de Olericultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 58 p.

- Pérez G., M. 2000. Producción de hortalizas en invernadero con énfasis en el cultivo de jitomate. en: Temas Selectos de Fitosanidad y Producción de Hortalizas. (eds). Bautista M, N., A. D. Suárez V., O. Morales G. Colegio de Postgraduados. Instituto de Fitosanidad. Montecillo, Estado de México. 173 p.
- Picken, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Journal Horticultural Science 59: 1-13.
- Picken, A. J. F., Stewart, K. and Klapwijk, D. 1986. Germination and vegetative development . En Atherton , J. G.; Rudich, J. (eds). The tomato Crop. Chapman and Hall Ltd., New York: 111-165.
- Ponce, O. J. 1998. Evaluación de diferentes densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 96 p.
- Regalado O., M del C. 2002. Valoración de características morfológicas y anatómicas de 10 cultivares de jitomate en hidroponía bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia UACH. Chapingo. México. 161p.
- Resh, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Tercera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- Rodríguez, R. R. 1984. Cultivo Moderno del Jitomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.

- Rodríguez A., E. 1995. Efecto de la poda y densidad de población en el rendimiento y calidad de fruto de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 79 p.
- Rodríguez, B. P. and Lambeth, V. N. 1976. Artificial lighting and spacing as photosynthetic and yield factors in winter greenhouse tomato culture. Journal American Society of Horticulture 100:694-697.
- Rusell, C. R. and Morris, D. A. 1983. Patterns of assimilate distribution and source sink relationships in the young reproductive tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Annual Botany 52:357-363.
- Saglam, N and A Yazgan. 1995. The effects of planting density and the number of trusses per plant on earliness, yield and quality of tomato grown under unheated high plastic tunnel. Acta Horticulturae 412: 258-267.
- Salisbury F. B. and Ross C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana 759 p.
- Sánchez Del C., F. , P. Espinosa R. y E. Escalante, R. 1999. Producción superintensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Avances de investigación. Revista Chapingo 78:62-68.
- Sánchez Del C., F. y Escalante R., 1989. Hidroponia. Un Sistema de Producción. UACH. Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez Del C., F. 1997. Valoración de características para la formación de un arqueotipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 189 p.

- Sánchez Del C., F. 2001. Fotosíntesis, respiración y biosíntesis. Pp. III-147-III-170. *In*: Riego localizado y Fertirrigación. Memorias del VII Curso Internacional de Sistemas de Riego. Sánchez B., R., S. Pérez N., J. Reyes S. F. R. Hernández S. (eds). Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Sánchez Del C., F. 2002. Curso Internacional de Invernaderos. Tomo I. Invernaderos: Teoría y Práctica. Mayo, 2002. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Serrano C., Z. 1994. Construcción de Invernaderos. Ed. Mundi-Prensa. 445 p.
- Shibles, R. M. and C. R. Weber. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Science* 6:55-59.
- Sistema de Información de Estadística Agropecuaria (SIEA). 2003. Análisis de la producción del jitomate. SAGARPA. México. 13 p.
- Sinclair, T. R. 1991. Canopy carbon assimilation and crop radiation-use efficiency dependence on leaf nitrogen content. Pp. 95-107. *In*: Modeling Crop Photosynthesis from Biochemistry to canopy. Boote, K. J.; R. S. Loomis (eds). American Society Of Agronomy. Madison. WI. USA:
- Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. *Annual Review Plant Physiological. Plant Molecular. Biology.* 46:289-315.
- Thompson, H. F. and M. J. White. 1991. Physiological and molecular studies of light regulated nuclear genes in higher plants. *Annual. Review. Plant Physiological. Plant Molecular. Biology.* 42: 423-466.

- Tognoni, F. y Alpi, A. 1991. Cultivo en invernadero. Ediciones Mundi Prensa.. Madrid España. 347 p.
- Torres G., A. 2001. Doseles escaleriformes en pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de hidroponia e invernadero. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 126 p.
- Ucan C., I. 1999. Efecto del manejo de relaciones fuente demanda sobre el tamaño del fruto en jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Urbano, T. P. 2001. Tratado de Fitotecnia General. Ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España. 895 p.
- Urrestarazu, G. M. 2000. Manual de Cultivo sin Suelo. Ed. Mundi-Prensa. 644 p.
- Vázquez, M. S. 1989. Manual de selección, diseño, operación, mantenimiento y evaluación de invernaderos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 120 pp.
- Vázquez, R. J. C. 2002. Doseles escaleriformes para aumentar el uso de luz en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero en cultivo hidropónico. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de México, México, D. F. 97 p.
- Van de Vooren, J. G., Welles, W. H. and Hayman, G. 1986. Glasshouse Crop Production, pp. 581-623. *In*. The Tomato Crop. Atherton, J. G.; Rudich, J. (eds). Chapman and Hall. London, England.
- Wallace, D. H., J. L. Ozbun and H. M. Munger. 1972. Physiological Genetics of Crop Field. *Adv Agronomy*. 24:96-1972.

- Warren Wilson, J., Hand. D. W. and Hannah, M. A. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. *Journal Experimental Botany*, 43: 363-373.
- Welles, J. M. and J. M. Norman. 1991. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal*. 83;818-825.
- Wilsie, P. C. 1966. Cultivos: Aclimatación y Distribución. Ed. Acribia.. España. pp:242-269.