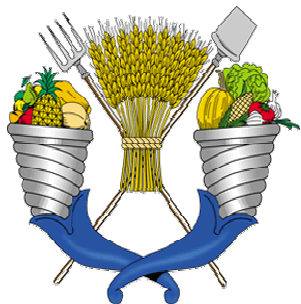




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**MÉTODOS DE CULTIVO HIDROPÓNICO DE
JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO
INVERNADERO BASADOS EN DOSELES
ESCALERIFORMES**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

OLMO AXAYACATL BASTIDA CAÑADA

Chapingo, México. Noviembre de 2012.



La presente investigación fue realizada por el C. Olmo Axayacatl Bastida Cañada, bajo la dirección del Dr. Felipe Sánchez del Castillo; siendo aprobada por el Comité Asesor indicado a continuación y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

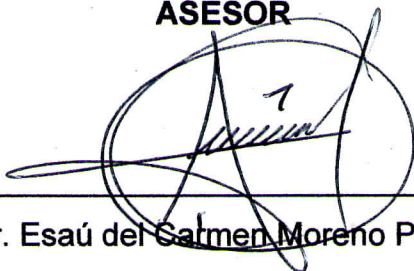
COMITÉ ASESOR

DIRECTOR



Dr. Felipe Sánchez del Castillo

ASESOR



Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez

ASESOR



Dr. Efraín Contreras Magaña

ASESOR



Dr. Jaime Sahagún Castellanos

Chapingo, México. Noviembre de 2012.

DATOS BIOGRÁFICOS

Olmo Axayacatl Bastida Cañada nació en Iztapalapa, Distrito Federal el 1 de octubre de 1986; sus estudios de educación básica y media superior los realizó en Apaseo el Alto, Guanajuato.

En 2004 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo para cursar el propedéutico agrícola y una vez concluido pasó a formar parte del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, donde realizó su servicio social universitario trabajando para la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, presentando como resultado el “Manual de Prácticas Seguras en el Sector Agroindustrial: Construcción, Equipamiento y Operación de Invernaderos”. La estancia preprofesional la realizó en Almería, España, asistiendo a la Universidad de Almería, donde apoyó los trabajos del grupo de investigación en automatización.

En 2009 obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Agrícola al aprobar con mención honorífica la presentación del proyecto de tesis titulado: “Plataforma móvil multiusos para trabajos en invernaderos de producción de jitomate”. Posteriormente fue aceptado para cursar los estudios correspondientes a la Maestría en Ciencias en Horticultura, donde para obtener el grado de Maestro en Ciencias presentó la siguiente investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme brindado la oportunidad de continuar con mis estudios, por ser una institución que brinda las mayores facilidades para la superación académica de sus estudiantes.

Al CONACyT por el apoyo brindado, sin el cual hubiese sido imposible llevar a buen término los estudios de maestría, y por ser un organismo que apoya el desarrollo de la ciencia y la tecnología en el país.

Al Posgrado en Horticultura por la oportunidad de seguir desarrollándome académicamente al cursar mis estudios de maestría.

Al Dr. Felipe Sánchez del Castillo por haber dispuesto mucho de su valioso tiempo para el desarrollo de este proyecto de investigación, por sus enseñanzas siempre oportunas y acertadas.

A los doctores Esaú del Carmen Moreno Pérez, Efraín Contreras Magaña, Jaime Sahagún Castellanos y Agustín López Herrera por su tiempo para la revisión del proyecto y por las enseñanzas brindadas en los diversos cursos en los que me compartieron parte de su conocimiento.

A Josué, Gerardo y Jonathan por su entrega a este proyecto y por el tiempo compartido, por los aprendizajes que tuvimos juntos y los problemas a los que unidos dimos solución.

A mis compañeros de maestría por haber sido parte importante de mi vida a lo largo de dos años, por los momentos compartidos.

Olmo Axayacatl

DEDICATORIAS

A mamá por ser uno de los pilares de mi desarrollo humano y profesional, por la comprensión y el apoyo que en todo momento me ha brindado, por no dejarme nunca solo y siempre estar cuando la necesito.

A papá por su apoyo incondicional y por el impulso que me ha brindado para que mi desarrollo profesional vaya por buen camino, por las enseñanzas brindadas y el gran ejemplo que ha puesto.

A Itzel y Ameyali por ser parte importante de mi vida, porque estamos juntos en las buenas y en las malas, porque nos apoyamos a nuestro manera.

A toda mi familia por el apoyo que me han dado a lo largo de los años, por ser un impulso para el logro de cada uno de mis sueños y estar presentes en el inicio de mis aventuras y el final de mis proyectos.

A personas tan importantes como lo son mis amigos, a todos y cada uno porque han influido en mi vida de una u otra manera, porque juntos hemos vivido grandes cosas y nuestra amistad nos deparará aún más andanzas en esta vida.

Olmo Axayacatl

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE CUADROS.....	XI
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XIV
I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. OBJETIVOS.....	19
III. HIPÓTESIS.....	20
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
4.1. Jitomate.....	21
4.1.1. Importancia.....	21
4.1.1.1. Importancia mundial.....	21
4.1.1.2. Importancia nacional.....	22
4.1.2. Requerimientos edafoclimáticos del jitomate.....	23
4.1.2.1. Temperatura ambiental.....	23
4.1.2.2. Radiación solar.....	24
4.1.2.3. Humedad relativa.....	24
4.1.2.4. Humedad del suelo.....	25
4.2. Hidroponía.....	25

4.2.1. Principales factores que obligan al uso de la hidroponía.....	26
4.2.1.1. La problemática nacional del agua.....	26
4.2.1.2. La problemática nacional del suelo.....	27
4.2.1.3. Baja productividad agrícola.....	28
4.2.2. Ventajas.....	29
4.2.3. Desventajas.....	31
4.3. Invernaderos.....	33
4.3.1. Ventajas.....	34
4.3.2. Desventajas.....	37
4.3.3. Diseño agronómico de invernaderos.....	38
4.4. Cultivo de jitomate con arreglo de plantas en doseles escaleriformes.....	39
4.5. Crecimiento.....	42
4.5.1. Análisis de crecimiento.....	43
4.5.2. Parámetros del análisis de crecimiento.....	43
4.5.2.1. Índice de Área Foliar.....	44
4.5.2.2. Tasa de Asimilación Neta.....	44
4.5.2.3. Tasa de Crecimiento del Cultivo.....	45
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
5.1. Ubicación del experimento.....	46
5.2. Material vegetal.....	47
5.3. Descripción de los tratamientos.....	48
5.4. Diseño experimental.....	54
5.5. Manejo del cultivo.....	56
5.6. Variables evaluadas.....	61
5.7. Muestreo destructivo.....	63
5.8. Análisis estadístico.....	65

VI. RESULTADOS.....	66
6.1. Variables morfológicas.....	66
6.1.1. Comparación general entre tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	66
6.1.2. Comparación entre tratamientos manejados a tres racimos con el testigo.....	71
6.1.3. Comparación entre tratamientos a seis racimos con el testigo.....	73
6.2. Indicadores de crecimiento.....	75
6.2.1. Comparación general entre tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	75
6.2.2. Comparación entre tratamientos manejados a tres racimos con el testigo.....	79
6.2.3. Comparación entre tratamientos a seis racimos con el testigo.....	82
6.3. Rendimiento y sus componentes.....	84
6.3.1. Comparación general entre tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	84
6.3.2. Comparación entre tratamientos manejados a tres racimos con el testigo.....	87
6.3.3. Comparación entre tratamientos a seis racimos con el testigo.....	89
6.3.4. Análisis comparativo de las hileras dentro de tratamientos similares.....	91
6.3.5. Arreglo de escalera.....	91
6.3.6. Arreglo de pirámide.....	92
6.3.7. Arreglo de intercambio cada 50 días.....	93
6.3.8. Arreglo de imbricación cada 22 días.....	94
6.3.9. Arreglos de imbricación cada 45 días.....	96

VII. DISCUSIÓN GENERAL.....	97
7.1.Arreglos de plantación a tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el crecimiento.....	97
7.2.Arreglos de plantación a tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el rendimiento.....	101
7.3.Plantas por hilera en arreglos de tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el crecimiento.....	102
7.4.Plantas por hilera en arreglos de tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el rendimiento.....	104
7.5.Hileras de plantas dentro de cada tratamiento, variables relacionadas con el rendimiento.....	105
VIII. CONCLUSIONES.....	109
IX. LITERATURA CITADA.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Invernadero donde se llevó a cabo la investigación.....	46
Figura 2. Piso del invernadero cubierto con ground cover.....	47
Figura 3. Disposición de los tratamientos de escalera con 5 (a) y 7 (b) pl/m.....	51
Figura 4. Disposición de los tratamientos de pirámide con 5 (a) y 7 (b) pl/m.....	52
Figura 5. Disposición de los tratamientos de intercambio con 5 (a) y 7 (b) pl/m.....	52
Figura 6. Disposición de los tratamientos de imbricación cada 22 días con 5 (a) y 7 (b) pl/m.....	53
Figura 7. Disposición de los tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 (a) y 7 (b) pl/m.....	53
Figura 8. Disposición del tratamiento uniforme a tres racimos.....	54
Figura 9. Disposición del tratamiento uniforme a seis racimos.....	54
Figura 10. Distribución de tratamientos.....	55
Figura 11. Macetas para plántulas con tezontle rojo.....	56
Figura 12. Plantas en semillero.....	57
Figura 13. Tinas de acero galvanizado.....	57
Figura 14. Bolsas de polietileno de doble color.....	58
Figura 15. Estado de madurez en el momento de la cosecha.....	61

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Fechas de siembra de los diferentes tratamientos.....	59
Cuadro 2. Fertilizantes usados en la solución nutritiva.....	60
Cuadro 3. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para variables morfológicas a los 90 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	67
Cuadro 4. Comparación de medias de arreglos para variables morfológicas a los 90 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	67
Cuadro 5. Comparación de medias de plantas por metro para variables morfológicas a los 90 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	68
Cuadro 6. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para variables morfológicas a los 120 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	69
Cuadro 7. Comparación de medias de arreglos para variables morfológicas a los 120 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	70
Cuadro 8. Comparación de medias de plantas por metro para variables morfológicas a los 120 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.....	70
Cuadro 9. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a tres racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para variables morfológicas.....	71
Cuadro 10. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a seis racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para variables morfológicas.....	74

Cuadro 11.	Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para indicadores de crecimiento a los 90 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.....	76
Cuadro 12.	Comparación de medias de arreglos para indicadores de crecimiento a los 90 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.....	77
Cuadro 13.	Comparación de medias de plantas por metro para indicadores de crecimiento a los 90 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.....	77
Cuadro 14.	Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para indicadores de crecimiento a los 120 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.....	78
Cuadro 15.	Comparación de medias de arreglos para indicadores de crecimiento a los 120 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.....	79
Cuadro 16.	Comparación de medias de pl/m para indicadores de crecimiento a los 120 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.....	79
Cuadro 17.	Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a tres racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de crecimiento.....	80
Cuadro 18.	Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a seis racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de crecimiento.....	83
Cuadro 19.	Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes por planta y por unidad de superficie en tratamientos conducidos a tres racimos.....	85
Cuadro 20.	Comparación de medias de arreglos para variables de rendimiento y sus componentes por planta y por unidad de superficie en tratamientos conducidos a tres racimos.....	86

Cuadro 21.	Comparación de medias de plantas por metro para variables de rendimiento y sus componentes por planta y por unidad de superficie en tratamientos conducidos a tres racimos.....	86
Cuadro 22.	Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a tres racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de rendimiento y sus componentes.....	87
Cuadro 23.	Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a seis racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de rendimiento y sus componentes.....	90
Cuadro 24.	Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de escalera con 5 y 7 plantas por metro.....	91
Cuadro 25.	Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de pirámide con 5 y 7 plantas por metro.....	92
Cuadro 26.	Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de intercambio con 5 y 7 plantas por metro.....	94
Cuadro 27.	Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de imbricación cada 22 días con 5 y 7 plantas por metro.....	95
Cuadro 28.	Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 y 7 plantas por metro.....	97

MÉTODOS DE CULTIVO HIDROPÓNICO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) BAJO INVERNADERO BASADOS EN DOSELES ESCALERIFORMES.

HYDROPONIC TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCTION METHODS UNDER GREENHOUSE BASED IN LADDER-SHAPED CANOPIES

Olmo Axayacatl **Bastida Cañada**¹ y Felipe **Sánchez del Castillo**²

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue comparar el crecimiento y rendimiento por unidad de superficie y de tiempo que se logra con sistemas de producción de plantas de jitomate en hidroponía bajo invernadero basados en la formación de doseles en forma de escalera (escaleriformes) en relación a los manejados con doseles uniformes. Se trabajó con hileras de 5 y 7 plantas/m lineal organizadas en tiempo o espacio para conformar cinco modalidades diferentes de dosel en forma de escalera y dos testigos de dosel uniforme. Se utilizó un diseño en parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones. Las variables estudiadas fueron: morfológicas (altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar), de crecimiento (índice de área foliar, peso seco, tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento del cultivo), y de componentes de rendimiento (rendimiento y número de frutos por unidad de superficie y por planta, así como peso medio de frutos). Se encontró que los doseles escaleriformes con plantas despuntadas a tres racimos rindieron más por unidad de superficie que el testigo uniforme. En estos doseles las hileras de 7 plantas/m lineal produjeron mayor rendimiento y número de frutos por unidad de superficie que las de 5 plantas/m, en tanto que el peso medio de frutos no disminuyó significativamente. Los tratamientos escaleriformes con plantas despuntadas a seis racimos presentaron mayor número de frutos por unidad de superficie y por planta que el testigo uniforme de seis racimos por planta, aunque su peso de fruto fue significativamente menor.

Palabras clave: dosel escaleriforme, arreglos de plantación, hidroponía, invernadero.

1. Tesista
2. Director

ABSTRACT

The objective of this study was to compare the growth and yield per unit of area and time that is achieved with production systems of tomato plants in hydroponics under greenhouse based on the formation of ladder-shaped canopies in relation to uniform canopies. The work was done with rows of 5 and 7 plants/m organized in time or space to form five different modalities of ladder-shaped canopies and two controls of uniform canopy. It was used a split plot design in randomized blocks with three replications. Variables studied were: morphologicals (plant height, stem diameter, number of leaves and leaf area), of growth (leaf area index, dry weight, net assimilation rate and crop growth rate), and yield components (yield and number of fruits per unit of area and per plant, and average weight of fruits). It was found that the ladder-shaped canopies with plants that were stopped to three clusters produced more per unit of area than the uniform canopy control. In these canopies the rows of 7 plants/m produced higher yields and number of fruits per unit of area than the rows of 5 plants/m, though the average fruit weight was not significantly decreased. Ladder-shaped treatments with plants that were stopped to six clusters had a higher number of fruits per unit of area and per plant than the uniform canopy control of six clusters per plant, even though its weight of fruit was significantly lower.

Key words: ladder-shaped canopy, plantation arrangements, hydroponics, greenhouse.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el desarrollo de nuevas tecnologías en el sector agropecuario tiene como objetivo fundamental aumentar el rendimiento por unidad de superficie y la calidad de los productos. En México el reto es generar tecnologías de producción que se adecuen a las condiciones actuales de las diferentes regiones del país y que sean factibles de ser llevadas a la práctica por la mayoría de los productores.

De las casi 200 millones de hectáreas que comprende el Territorio Nacional, en el año 2010, apenas se sembraron poco más de 4 millones de hectáreas de riego y 16 millones de hectáreas de temporal (SIAP, 2011); lo que indica que la fuente productiva es bastante limitada y los sistemas tradicionales de producción no son suficientes para abastecer las necesidades alimenticias de la población.

Por el alto rendimiento, calidad e inocuidad de los productos que se obtienen, la agricultura protegida está siendo usada cada vez más para producir hortalizas de alto valor a escala mundial. Entre las principales tecnologías que comprende destacan los invernaderos y la hidroponía. En conjunto ambas permiten un alto grado de control y manejo de los factores limitantes de la producción; sin embargo, debido a la alta inversión de su implementación, se restringen al cultivo de especies de alto valor comercial cuya rentabilidad económica esté comprobada (Sánchez *et al.*, 1991).

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) representa la segunda hortaliza más cultivada a nivel mundial, con una producción aproximada de 150 millones de toneladas en 2009 (FAO, 2011), lo cual es resultado de su alta demanda para la preparación de distintos tipos de alimentos en casi todos los países del mundo. En México el jitomate representa la principal hortaliza cultivada con una superficie de 54,510 ha en 2010; y se cultiva principalmente en los estados de Sinaloa (14,095 ha), Michoacán (5,264 ha), Baja California (3,562 ha), Zacatecas (3,503 ha) y

Nayarit (3,027 ha) (SIAP, 2011). Del 3.5% de la superficie nacional total dedicada al cultivo de hortalizas, el 22.6% es ocupada por jitomate, generando gran número de empleos y siendo fuente importante de divisas, produciéndose en áreas de riego y de temporal (Schwentenius y Gómez, 2000).

La producción de jitomate en invernadero puede ser un negocio de alta rentabilidad pero es sumamente especulativo; por ello es necesario combinar altos rendimientos con buenos precios para lograr el éxito de este sistema de producción (Muñoz, 1995).

Los sistemas convencionales de producción de jitomate que se utilizan en los Estados Unidos de América y Europa consisten en la utilización de cultivares tipo bola de crecimiento indeterminado, en donde se tienen densidades de 2 a 3 plantas·m² que llegan a crecer más allá de 3 m de altura. En estos ciclos se logran cosechar a 20 racimos o más por planta por año, lo que implica ciclos que llegan a durar hasta 10 meses desde el trasplante hasta el fin de cosecha. De esta manera es posible obtener hasta 300 t·ha⁻¹·año⁻¹, siendo el problema principal que se requiere de tecnología, infraestructura y equipo muy sofisticado (Hanan, 1998; Resh, 2002).

Una nueva tecnología de producción de jitomate en invernadero consiste en despuntar tempranamente las plantas (eliminar la yema terminal) para dejarles sólo tres racimos por planta, lo que da un área foliar de solamente 0.5 m², por lo que es factible establecerlas en altas densidades de población (hasta ocho plantas/m²). Aunque el rendimiento por planta es mucho menor debido a que sólo se cosechan tres racimos de cada planta, por unidad de superficie se compensa debido a la mayor densidad de población y dado que el ciclo desde trasplante hasta fin de cosecha se acorta de 10 ó más meses a un periodo de 3 a 4 meses (según la edad a la que se trasplante), en un esquema de producción continua, se obtienen tres a cuatro ciclos de cultivo por año y con ello, mayor productividad anual (Sánchez y Corona, 1994; Sánchez y Ponce, 1998). Además presenta la

ventaja de concentrar la cosecha de todo un ciclo en un intervalo de tiempo menor a un mes, por lo que puede programarse para aprovechar las ventanas de mercado donde el precio es más alto (Méndez y Sánchez, 2005; Vázquez *et al.*, 2007).

La disposición de las plantas bajo este sistema ha sido en cuadro real a lo largo de camas de 1.2 m de ancho, separadas por pasillos de 0.5 m. Se han manejado cuatro hileras de plantas por cama (Sánchez y Ponce 1998). Con este sistema las dos hileras centrales de plantas dispuestas a lo largo de las camas rinden un 25 % menos que las plantas ubicadas en las hileras exteriores, debido a una menor cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por las primeras (Ucán *et al.*, 2005).

De acuerdo con Gardner *et al.* (1990), si se mejora la distribución de la radiación solar en las hojas del dosel, se podría lograr una mayor producción de materia seca por día y por lo tanto un mayor rendimiento por unidad de superficie y tiempo. Estos autores también señalan que 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, hay mayor producción con la mayoría de las hojas medianamente iluminadas que con la mitad de las hojas muy iluminadas y la otra mitad muy sombreadas.

Las plantas de jitomate muestran gran flexibilidad de manejo, por lo que considerando los movimientos diarios y estacionales del sol, se pueden proponer disposiciones de plantas despuntadas a tres racimos que permitan una distribución más homogénea de la radiación solar, particularmente de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), en cada una de las hojas del dosel, que permita, ya sea un incremento en la tasa de asimilación neta (gramos de materia seca producida por cada metro cuadrado de hoja por día) para un índice de área foliar (IAF) dado, o el establecimiento de una población de plantas con mayor IAF sin una disminución significativa de dicha tasa de asimilación neta (TAN). De esta

manera se busca obtener más racimos por unidad de superficie y tiempo, sin que disminuya el número de frutos por racimo ni el peso medio de los frutos, con lo cual se incrementaría el rendimiento y la productividad anual.

Con esa idea de incrementar el rendimiento mediante una distribución más homogénea de la RFA, se han propuesto varias formas de hacer un dosel en forma de escalera (escaleriforme): Con hileras de plantas de la misma edad, pero con diferente número de racimos por planta (Sánchez y Jorge, 2003); con hileras de plantas de la misma edad, pero dispuestas a diferente altura en dirección este-oeste (Méndez y Sánchez, 2005) o en dirección norte-sur (Sánchez *et al.*, 2009); o bien con hileras de plantas despuntadas a tres racimos, pero sembradas en diferentes fechas (Sánchez *et al.*, 2010). Los resultados obtenidos por estos autores muestran que, en general, los doseles escaleriformes han sobrepasado el rendimiento de los testigos uniformes en un 20 a 50 %. En la mayoría de los casos se ha trabajado con variedades indeterminadas y/o con densidades relativamente altas que han afectado parámetros como el tamaño y peso medio del fruto.

Retomando esta línea de investigación, en el presente trabajo se pretende comparar diferentes sistemas de cultivo de jitomate en dosel en forma de escalera. Asimismo se busca definir la mejor distancia entre plantas en las hileras para cada sistema.

II. OBJETIVOS

Objetivo general.

Comparar el crecimiento y rendimiento por unidad de superficie y de tiempo que se logra con sistemas de producción de plantas de jitomate en hidroponía bajo invernadero, basados en la formación de doseles en forma de escalera en relación a sistemas manejados con doseles uniformes.

Objetivo particular.

Definir para cada sistema de producción, el número de plantas por metro de hilera que otorga el mayor rendimiento por unidad de superficie sin afectar significativamente el tamaño de fruto.

III. HIPÓTESIS

Hipótesis general.

Los arreglos de plantas para formar doseles en forma de escalera, permiten obtener mayor rendimiento por unidad de superficie, en relación a sus testigos manejados a la misma densidad de población, pero que forman un dosel a la misma altura, debido a una distribución más uniforme de la radiación fotosintéticamente activa incidente en el dosel.

Hipótesis particular.

Dentro de cada sistema de producción, el aumento del número de plantas por metro de hilera, ocasionará menor rendimiento por planta pero igual rendimiento por unidad de superficie, debido a un mayor grado de sombreado mutuo entre plantas, pues aunque haya más número de frutos por unidad de superficie éstos serán de menor tamaño y peso.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Jitomate.

4.1.1. Importancia.

4.1.1.1. Importancia mundial.

El jitomate es un cultivo de elevada importancia a nivel mundial, ya que junto con el cultivo de la papa representan aproximadamente 50% de la producción de hortalizas en todo el mundo (Barrón, 2002).

En 2006 las importaciones-exportaciones mundiales movieron 5,623,838 toneladas de jitomate, de las cuales 77.77% fueron importadas por sólo ocho países, siendo Estados Unidos quien encabezó la lista con 22.69%, equivalente a 992,337 toneladas.

Alemania ocupó el segundo lugar con la importación de 717,712 toneladas, equivalentes 18.78% del mercado. Canadá por su parte importó 3.99%, es decir, 186,561 toneladas. Japón acaparó 5,450 toneladas, equivalentes a 0.27% de la oferta mundial.

De acuerdo a estadísticas del 2006, el precio promedio de la tonelada de jitomate fue de 1,019 dólares. El país que más pagó fue Nigeria con un precio promedio de 6,500 dólares, seguido por Polinesia Francesa y Caledonia con 4,000 dólares.

En contraparte los países desarrollados pagaron mucho menos por cada tonelada de jitomate: en Japón el promedio fue de 2,852 dólares, mientras que en Estados Unidos fue de 1,311 dólares y en Canadá de 1,244 dólares (Agropecuarios, 2011).

Aunque el jitomate se cultiva en muchos países del mundo, son sólo cinco quienes producen más de 50% del total mundial. Las estadísticas de 2009 muestran que China produjo 29.66%, Estados Unidos 9.25%, India 7.29%, Turquía el 7.03% y Egipto el 6.54% (FAO, 2011).

4.1.1.2. Importancia nacional.

El jitomate es un cultivo muy importante para México, pues representa su principal producto de exportación; supera a las exportaciones de: aguacates, cítricos, mangos y plátanos.

En 2009 se exportaron 1,111,000 toneladas, de las cuales 99.2% fueron destinados a los mercados de Estados Unidos y el resto a Canadá y Japón. Sin embargo, aproximadamente 49,770 toneladas fueron reintroducidas al país en forma de ensaladas, jugos, preparaciones alimenticias y comidas enlatadas (Economista, 2011).

Según las estadísticas de la FAO (2011), durante el período comprendido entre 2005 y 2009, el promedio de superficie cosechada fue de 112,567 hectáreas, y el rendimiento obtenido fue de 25.7 toneladas por hectárea.

Durante dicho periodo se tuvo una disminución considerable en la superficie cosechada, sin embargo, hubo un incremento en el rendimiento, esto debido a que muchos productores comenzaron a incursionar en la agricultura protegida.

El promedio de la producción nacional en el mismo período de 2005 a 2009 fue de 2,875,558 toneladas; de 2005 a 2007 se tuvo un incremento sostenido, pero en 2008 y 2009 hubo una disminución muy marcada (FAO, 2011).

La lista de los principales estados productores es encabezada por Sinaloa, que en 2008 tuvo una producción de 852,700 toneladas, equivalentes al 36.6% de la producción nacional. Baja California ocupa el segundo lugar, con una producción en 2008 de 206,200 toneladas. Le sigue Michoacán con 175,700 toneladas en el mismo año (Financiera Rural, 2011).

4.1.2. Requerimientos edafoclimáticos del jitomate.

4.1.2.1. Temperatura ambiental.

A la planta del jitomate le favorece el clima caliente, pues a más altas temperaturas mayor será la velocidad de crecimiento. Sin embargo, bajo condiciones de baja luminosidad las temperaturas diurnas y nocturnas se deben mantener bajas, de lo contrario tendremos plantas débiles con floración raquílica debido a que la energía proporcionada por la fotosíntesis será inadecuada para la velocidad de crecimiento (León, 2001).

El crecimiento y desarrollo del jitomate comprende de 3 a 5 etapas, las cuales tienen una duración diferente dependiendo del ambiente y las técnicas de producción, pero sobre todo, dependiendo del hábito de crecimiento (determinado o indeterminado). En igualdad de condiciones lo normal es que la duración de cada etapa sea mayor en las variedades indeterminadas. Las etapas de germinación, crecimiento, floración y fructificación se dan mejor bajo un ritmo alternante de temperatura entre el día y la noche que a una temperatura constante (Maroto, 1989).

Las temperaturas clave en el cultivo del jitomate son (León, 2001): en la etapa de germinación la mínima es de 10 °C, la máxima de 35 °C y la óptima varía entre 25 y 29 °C. En la etapa de desarrollo la temperatura diurna debe estar entre 18 y 23 °C, mientras que la nocturna entre 16 y 18 °C. La temperatura de las raíces debe mantenerse entre 22 a 25 °C.

4.1.2.2. Radiación solar.

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

Las bajas intensidades de luz provocan menor crecimiento, plantas débiles y por lo tanto más susceptibles a patógenos y a los cambios bruscos del ambiente. Esta condición ambiental provoca también el aborto de flores y la malformación de frutos, causado por la disminución del crecimiento del tubo polínico. Cuando se tienen días cortos (menores de 12 horas) el ciclo vegetativo se alarga y el inicio de fructificación es tardío (Picken, 1984; Atherton y Harris, 1986).

Para lograr la maduración de buenos frutos y con maduración precoz, se requiere como mínimo 5,000 a 7,000 pies-bujía (Garza, 1985; Marrero, 1986). Cuando la irradiancia es igual o superior al óptimo no afecta el desarrollo del tallo, pero para valores por debajo del óptimo se induce una elongación del tallo, siendo estos muy delgados y débiles con una mayor proporción de tejido parenquimático (Kinet, 1977).

4.1.2.3. Humedad relativa.

La humedad relativa favorable para el cultivo de jitomate oscila alrededor de 50 a 60 %; cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse y para ser depositado en el estigma, en consecuencia no hay formación de fruto (Guenkov, 1974).

El rango de humedad relativa ideal para el cultivo de jitomate bajo invernadero es de 60 a 70%; los excesos se pueden controlar con ventilación, aumentando la temperatura y controlando los riegos. La falta de humedad relativa se controla con la frecuencia de riegos o nebulización de agua (Rodríguez *et al.*, 1989).

Cuando el ambiente dentro del invernadero es muy seco los órganos masculinos y femeninos de la flor se deshidratan y por ello no se produce la fecundación, por el contrario un ambiente muy húmedo ocasiona el apelmazamiento de polen lo que trae consigo fallas en la fecundación (Nuez, 2001).

4.1.2.4. Humedad del suelo.

Se considera que el jitomate es una planta con exigencias relativamente bajas en cuanto a la humedad del suelo, lo cual es debido a la armonía estructural entre el sistema radical, que absorbe agua con facilidad, y el sistema foliar, que gasta agua con dificultad. Una deficiencia de humedad provoca reducción del crecimiento, reduce la etapa de crecimiento y el periodo funcional de las hojas (Resh, 2001).

Durante la etapa de desarrollo reproductivo el jitomate requiere 70 a 80% de humedad aprovechable. Los excesos de humedad causan amarillamiento en el follaje, aborto de flores y frutos, así como incidencia de enfermedades. Los cambios bruscos en la humedad causan principalmente agrietamiento de frutos y aborto de flores (Maroto, 1989; Gardner *et al.*, 1990).

4.2. Hidroponía.

Hidroponía es una palabra derivada de dos palabras griegas: hydro (agua) y ponos (trabajo), por lo que etimológicamente significa “trabajo en agua”. Sin embargo, actualmente se define como la técnica del cultivo sin suelo, donde las

plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos disueltos en agua (solución nutritiva) y en la cual el suelo como medio de cultivo se sustituye por ciertos sustratos inertes y estériles, o en algunos casos por la misma solución nutritiva.

La adecuada implementación de esta técnica puede implicar ventajas muy importantes para los productores, ya que es posible obtener una mejor producción respecto a cultivar en suelo; sin embargo, como todo también tiene sus inconvenientes y es que por sí sola no asegura obtener mejores resultados, por lo que se requiere prestar mucha atención y cuidados al cultivo. Al final son horas de trabajo invertidas que al momento de la cosecha se verán reflejadas en mayores ganancias económicas.

4.2.1. Principales factores que obligan al uso de la hidroponía.

4.2.1.1. La problemática nacional del agua.

La problemática en México radica en que una gran cantidad de mantos acuíferos de donde se extrae el agua presentan algún grado de contaminación; además de que el nivel de abatimiento de dichos mantos ha sido desde hace ya algún tiempo de 3 a 4 m por año, lo que tiene como consecuencia que en muchas regiones actualmente se tenga que perforar a profundidades entre 200 y 300 m para encontrar agua, con el consecuente costo que esto conlleva y que muchos productores no pueden solventar.

Lo anterior es debido al incontrolado ritmo de extracción que se tiene, donde según varios estudios, el campo consume alrededor de 85 % del recurso hídrico, del cual 50 % se desperdicia debido a la deficiente infraestructura hídrica que abunda en el país, además de los inadecuados métodos de riego implementados.

Aún en estos tiempos de escasez el método de riego más utilizado y en el que más líquido se desperdicia es el riego rodado, donde se cubre todo el terreno con una cantidad de agua determinada. Si en su lugar se utilizarán otros métodos el aprovechamiento del agua sería mayor, porque con la misma cantidad de agua que se riega un hectárea utilizando riego rodeado se regarían dos con riego por compuertas, cuatro con riego por aspersión y seis con riego por goteo.

Si a lo ya mencionado le agregamos que se ha venido dando una sobreexplotación de los mantos acuíferos, entonces nos damos cuenta que el problema es mayor y abarca otras cuestiones, porque la falta de captación de agua se debe principalmente a que la incontrolada deforestación que acaba con la cubierta vegetal que es la que permite la retención e infiltración hacia el subsuelo del agua en época de lluvias.

Esta problemática no es propia de México, pues en una gran cantidad de países los problemas son similares, o incluso mayores, razón por la cual el uso de la hidroponía es beneficiosa y muchas veces obligada, dado que es una técnica que permite un uso más eficiente de este recurso cada día más valioso (Miranda *et al.*, 2004).

4.2.1.2. La problemática nacional del suelo.

La calidad de los suelos agrícolas en México ha disminuido considerablemente, lo que ha empezado a propiciar el abandono de los mismos debido a que los rendimientos esperados de los cultivos no son los esperados. Una de las causas principales es la erosión. La mayoría de los suelos utilizados para la agricultura presentan algún grado de erosión, que va desde pérdida progresiva de la fertilidad hasta la desaparición total de la capa arable.

El otro problema grave de los suelos es su contaminación, la cual ocurre por varios factores. En primer lugar tenemos el alto grado de salinidad que han

adquirido muchas parcelas debido al uso excesivo e inapropiado de fertilizantes, combinados con deficientes técnicas de riego, lo que los vuelve no aptos para la agricultura.

Otra problemática es el alto grado de toxicidad que muchos suelos presentan debido al indiscriminado uso de productos agroquímicos, que provocan desbalances serios entre los microorganismos que habitan el suelo, y que a la larga impiden el desarrollo de las plantas cultivadas; además de crear resistencia por parte de las plagas y enfermedades a los pesticidas, viéndose los agricultores en la necesidad de utilizar productos de mayor toxicidad y por ende más peligrosos para la salud humana.

Una cuestión mucho más grave y que acarrea fuertes problemas de salud a la población, es el uso de aguas negras en la agricultura, es decir, agua que no ha pasado por ningún tratamiento descontaminante antes de volver a ser utilizada. Dichas aguas suelen llevar metales pesados que se depositan en los suelos, lo que a la larga debería impedir su utilización en actividades agrícolas, porque las plantas durante su desarrollo absorben fácilmente dichos elementos y a ser ingeridos pueden causar serios problemas sanitarios.

De manera que cuando los suelos sean inservibles para la agricultura, debido a que se han erosionado o están contaminados, la utilización de sustratos en los cuales se desarrollen las plantas será imprescindible, como lo hemos comenzado a observar en varias partes del país (Miranda *et al.*, 2004).

4.2.1.3. Baja productividad agrícola.

La baja producción agrícola en México es un problema severo, pues si nos comparamos con otros países los rendimientos que obtenemos se quedan muy por debajo de la media, sobre todo hablando de granos básicos, de los cuales ya

importamos la mayoría de lo que necesitamos, debido al menor precio ofrecido por otros países, es decir, es más barato importarlo que producirlo.

Este es un indicador que permite darnos cuenta que necesitamos buscar alternativas a la producción de cultivos básicos. La producción de hortalizas utilizando hidroponía e invernaderos es una buena alternativa dado que son productos altamente exportables a buen precio.

La hidroponía bajo invernadero permite obtener rendimientos muy superiores en comparación con los cultivos tradicionales a campo abierto, pero para que eso suceda se requiere de una mayor mano de obra, y dado que la producción puede ser continua se podrían generar muchos empleos permanentes.

Por ello es necesario el uso de técnicas que puedan ser implementadas en pequeñas superficies pero que aún así se pueda obtener con ellas la suficiente producción para el sustento de las familias campesinas. La hidroponía de alza como la solución adecuada a dicho problema, pues con una hectárea de cultivo hidropónico bien trabajada es posible obtener mayores beneficios que en 10 hectáreas a campo abierto.

4.2.2. Ventajas.

La hidroponía es un sistema de producción del cual podemos obtener muchas ventajas si es que sabemos implementarlo de la manera correcta. Dentro de los beneficios principales que podemos obtener destacan los siguientes (Morales *et al*, 2005):

a) Es una opción en condiciones medioambientales limitantes.

La hidroponía se erige como la opción adecuada para cultivar cuando se tienen condiciones restrictivas de suelo y agua, así como condiciones climáticas

adversas. En lugares donde el suelo no es adecuado para la agricultura por ser poco productivo o que haya escases del mismo debido a la erosión, la hidroponía es adecuada pues en esta se trabaja en sustratos (o en solución) por lo que el suelo no es indispensable.

De la misma manera en la hidroponía se aprovecha mejor el agua pudiendo llegar a instalar sistemas de riego cerrados, en los cuales se recircula el agua una y otra vez pasando por métodos de purificación. También es un sistema adecuado en lugares donde llueve poco porque es posible controlar la frecuencia y la cantidad de riego con lo cual es poco probable que las plantas lleguen al estrés hídrico.

b) Puede contribuir a la producción de plantas de elevada calidad.

Debido a que la hidroponía nos ofrece la posibilidad de controlar todos los factores que influyen en el desarrollo de los cultivos, es muy factible obtener productos de calidad superior a los cultivados a campo abierto, en donde los efectos de los factores climáticos sobre las plantas son aleatorios debido a su propia naturaleza, los cuales tienen una alta probabilidad de mermar la calidad de los productos.

c) Es un sistema adaptable a distintas condiciones.

La hidroponía es un sistema bastante versátil que puede ser modificado o adaptado a las necesidades de producción que se tengan, pues tanto las características socioeconómicas como las medioambientales implican diversas necesidades tecnológicas. Es por ello que es posible utilizarla desde grandes empresas con niveles elevados de automatización hasta pequeños huertos familiares con iguales posibilidades de éxito.

d) Se pueden controlar los aspectos de la producción.

Hay muchos aspectos del cultivo que podemos tener bastante controlados si tenemos un sistema hidropónico, la nutrición es uno de ellos, porque podemos conocer en cantidades de hasta partes por millón las concentraciones de nutrientes que le estamos aportando a la planta. Otras cuestiones sobre las que podemos ejercer bastante control son el pH y la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y de los drenajes.

e) Se pueden tener mayores rendimientos que en el cultivo en suelo.

Conjuntando todas las ventajas anteriores se pueden obtener mayores rendimientos por unidad de superficie que en campo abierto, siempre y cuando los cuidados al cultivo sean los adecuados, porque es necesario mencionar que parte del éxito de los sistemas hidropónicos proviene de una adecuada atención a cualquier detalle del cultivo, lo cual significa saber manejar cada inconveniente de manera rápida y efectiva.

4.2.3. Desventajas.

Sin embargo, al igual que todo, la hidroponía también tiene ciertas desventajas, las cuales es necesario tener presentes para poder minimizar su impacto (Morales *et al.*, 2005):

a) Por sí sola no asegura rendimientos superiores.

Uno de los problemas más grandes que existen en torno a la hidroponía, es que muchas veces se exaltan demasiado sus características positivas y se hace caso omiso de que, al igual que cualquier otro sistema de cultivo tiene sus puntos débiles. De esta manera los productores quedan en el entendido de que con adoptar la hidroponía sus plantas crecerán mejor y los rendimientos aumentarán, siendo que este no ocurre así, pues es verdad que este sistema permite un mejor

desarrollo de los cultivos, pero se requiere hacer énfasis en muchos aspectos más ya que por sí sola no garantiza el éxito.

b) El cuidado de los “detalles” es lo que otorga el éxito o el fracaso.

El hecho de adoptar la hidroponía como sistema de cultivo no facilitará la vida de los productores como muchos suponen, en lugar de eso requerirá de mayor atención de los mismos. Se debe entender que este sistema es más específico y requiere de una mayor atención a los pequeños detalles, que a la larga son los que llevarán al éxito o fracaso de la producción. En este sistema la programación de los tiempos debe ser precisa y no es posible saltarse actividades, la solución nutritiva se debe mantener siempre balanceada de acuerdo a las necesidades de las plantas, y este balance se puede modificar de un día para otro, por lo cual un cultivo en hidroponía no se puede estar revisando cada dos o tres días, si no que es un trabajo de tiempo completo.

c) Plantas demasiado dependientes.

En la hidroponía se le brida a las plantas las condiciones para su desarrollo, si no óptimas si las más adecuadas; esto con el propósito de evitar que sufran estrés por competir con las demás por agua, luz y nutrimentos. Sin embargo, lo anterior conlleva a que las plantas se vuelvan demasiado susceptibles al más ligero cambio y sus capacidades de adaptación se ven minimizadas, pues se vuelven dependientes del hombre por completo. Por ello la atención en todo momento a cultivos en hidroponía es crucial, pues es fácil que sufran desbalances nutrimentales o alteraciones severas si se afecta el abastecimiento de oxígeno y agua.

d) Inversión inicial alta.

Esta es la desventaja que más se conoce, pues el desembolso de dinero que hay que hacer en un inicio para instalar un sistema hidropónico es generalmente alto. Es necesario pagar bombas, llaves de paso, tubería, filtros, contenedores (bolsa, tinas, etc.), sustrato, tinacos o cisterna, y muchas cosas más. Si se realiza el proyecto de manera adecuada es posible recuperar la inversión en poco tiempo, pero esto sólo ocurre cuando se conocen y explotan adecuadamente las ventajas de la hidroponía. En la mayoría de los casos, al ser inversiones considerables, estas se recuperan a mediano y largo plazo.

4.3. Invernaderos.

Dentro de las estructuras utilizadas en la horticultura para proteger los cultivos, las más utilizadas son los invernaderos. Generalmente un invernadero se entendía como un sitio acondicionado para abrigar plantas durante el invierno y así protegerlas de las bajas temperaturas que se presentan en tiempos de frío.

En la actualidad dicho concepto de invernadero ha sido rebasado por las circunstancias, puesto que ahora se construyen y utilizan invernaderos en ambientes bastante diferentes para los que fueron concebidos, como el trópico con ambientes bastantes cálidos.

Por lo tanto, en el contexto actual un invernadero es definido como una construcción agrícola con una cubierta traslúcida en la cual es posible reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos establecidos en su interior con relativa independencia del medio exterior.

Entonces la finalidad principal de un invernadero es la de protección de las plantas de factores adversos a su desarrollo, como: altas y bajas temperaturas, lluvias fuertes, granizadas, vientos, etc.

El desarrollo tecnológico de los invernaderos ha contribuido en gran medida a lograr mayores rendimientos por unidad de superficie, impulsando la agricultura intensiva y de precisión. Para ello se han implementado una gran cantidad de mecanismos y equipos necesarios para el control óptimo del ambiente, pero de esto hablaremos más adelante (Bastida, 2006).

4.3.1. Ventajas.

Las principales ventajas que presentan los invernaderos son (Bastida, 2006):

a) Intensificación de la producción.

Los invernaderos se consideran elementos de la agricultura intensiva por varias razones, en primer lugar debido a que es posible establecer las condiciones para el buen desarrollo de las plantas, porque existe cierto aislamiento con el exterior; también porque se pueden colocar más plantas por unidad de superficie que en campo abierto; y el último aspecto, también de relevancia, es la posibilidad de utilizar instalaciones de control climático, que mejoran las condiciones del cultivo hasta un punto óptimo.

b) Aumento de rendimientos.

Se ha comprobado que los rendimientos por unidad de superficie de un cultivo se ven aumentados de 2 a 3 veces bajo invernadero pero en suelo comparados con campo abierto, y si se utiliza hidroponía los rendimientos pueden ser varias veces los obtenidos a la intemperie, pudiendo llegar a ser diez veces superior si se invierte el cuidado necesario.

c) Menor riesgo de producción.

Los cultivos protegidos por estructuras como lo son los invernaderos minimiza el daño que estos puedan sufrir debido a la aleatoriedad de los fenómenos naturales, que en campo abierto pueden llegar a representar pérdidas totales.

d) Uso más eficiente de insumos.

Con técnicas como la fertirrigación y la hidroponía es posible brindarle a las plantas sólo los elementos que necesitan durante cada etapa de su desarrollo, por lo que sólo se gastan los fertilizantes necesarios minimizando el desperdicio, que al final significa pérdida de dinero. Lo mismo ocurre con el agua, ya que las instalaciones modernas de los sistemas de riego permiten su uso más eficiente, en este sentido hago referencia al riego localizado o de precisión (por goteo, microaspersión y nebulización)

e) Mayor control de plagas y enfermedades.

Para que un invernadero facilite el control de plagas, enfermedades y malezas debe haber sido correctamente diseñado y construido, siendo en este sentido donde muchos de ellos fallan pues la hermeticidad del mismo es la clave de un control exitoso.

f) Posibilidad de cultivar todo el año.

Debido a que dentro del invernadero se tiene relativa independencia del medio exterior es posible tener producción en cualquier época del año, sin importar si el invierno es muy frío o el verano propicia altas temperaturas, pues para el primer caso se puede implementar calefacción y para el segundo ventilación y enfriamiento. De esta manera al utilizar invernaderos es factible producir sin interrupciones debidas a las condiciones climáticas.

g) Obtención de productos fuera de temporada.

Como consecuencia de poder producir todo el año también se tiene la ventaja de obtener productos fuera de temporada, con lo que es posible encontrar mejores precios al no haber mucha competencia y porque los mercados no se encuentran saturados como ocurre en la temporada de mayor producción. Para esto es necesario conocer los tiempos que se manejan en los cultivos a campo abierto de manera que se comercialicen los productos evitando la alta competencia.

h) Obtención de productos en regiones con condiciones restrictivas.

Las condiciones medioambientales no siempre son las adecuadas para el establecimiento de cultivos o restringen en gran medida las especies que se pueden cultivar a sólo aquellas adaptadas a las condiciones del lugar. De esta manera con la infraestructura de invernaderos es factible aprovechar las extensiones de tierra en donde la producción es muy difícil pues el agua se puede aprovechar al máximo y sólo se le da a las plantas los elementos necesarios para su desarrollo.

i) Obtención de productos de alta calidad.

Dentro de un invernadero las plantas no están expuestas al daño físico producido por elementos ambientales como lluvias y vientos fuertes, granizadas o alta radiación solar, por lo cual la calidad de los productos obtenidos es mayor, demostrada tanto en su presentación al consumidor final como en su composición interna. Esto permite obtener mayores ganancias al momento de vender nuestros productos, o encontrar mejores mercados pudiendo llegar a exportar si se obtiene una alta calidad.

j) Mayor comodidad y seguridad para realizar el trabajo.

Dentro de un invernadero no sólo las plantas están protegidas, pues los trabajadores también encuentran cobijo de las inclemencias del tiempo, y es que a campo abierto es más factible sufrir por la radiación solar que provoca altas temperaturas, o en cualquier momento puede comenzar a llover y granizar.

4.3.2. Desventajas.

Las principales desventajas que presentan los invernaderos son (Bastida, 2006):

a) Inversión inicial elevada.

Los invernaderos son estructuras que tienen un costo de construcción relativamente alto, por ello la inversión inicial necesaria es elevada y el principal objetivo del productor debe ser recuperar ese gasto, razón por la cual sólo es recomendable utilizarlos para producir cultivos de alto valor económico, como algunas hortalizas y ornamentales, pues económicamente no se justifican para cultivos básicos o con poco valor de comercialización.

b) Altos costos de producción.

Los gastos de operación en un invernadero son mayores que en campo abierto, lo cual es lógico porque se tienen gastos mucho mayores por el hecho de brindarle al cultivo las condiciones idóneas para su desarrollo. Si en el exterior las temperaturas son bajas el gasto en electricidad y/o gas por concepto de calefacción elevará el costo de producción, de igual manera ocurrirá si se tienen altas temperaturas y se quiere enfriar el ambiente; sólo por mencionar algunos ejemplos.

c) Alto nivel de capacitación.

Dentro de los invernaderos los trabajadores son completamente responsables de las plantas, porque el hecho de poder controlar todas las variables del ambiente significa que cualquier problema presentado hace responsable al hombre inmediatamente. Por esta razón los trabajadores deben ser capacitados constantemente para que puedan estar preparados para cualquier inconveniente que se presente. Esta capacitación implica mayores costos de producción.

d) Dependencia del mercado.

La comercialización de los cultivos obtenidos en invernaderos requiere tener un mercado seguro con canales de comercialización previamente verificados, pues de nada sirve obtener rendimientos elevados si al final los productos serán vendidos a precios bajos o al mismo costo de los productos de campo abierto.

4.3.3. Diseño agronómico de invernaderos.

El diseño agronómico de invernaderos se entiende como la definición de las características que debe tener una estructura de invernadero para optimizar el ambiente del cultivo que se desarrollará en su interior, en función del clima exterior, a fin de obtener el mayor rendimiento y calidad de los cultivos, a la vez que se busca la mayor rentabilidad posible.

De esta manera el diseño agronómico de invernaderos se relaciona con el diseño funcional de los mismos. Este es un concepto relativamente reciente, acuñado por el Dr. Felipe Sánchez del Castillo, profesor-investigador de la Universidad Autónoma Chapingo.

Específicamente el diseño agronómico de invernaderos consiste en la determinación de los materiales de la cubierta, el tamaño, la forma, la orientación y otras características, para lograr las mejores condiciones climáticas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos albergados en su interior, pero buscando el mayor nivel de rentabilidad económica posible.

Para realizar este tipo de diseño es necesario conocer las condiciones climáticas predominantes en la zona donde se ubicará el invernadero. También es necesaria la aplicación de estrategias tecnológicas apropiadas para hacer que dentro de los invernaderos dichas condiciones se modifiquen para quedar dentro del rango que garantice el desarrollo óptimo del cultivo.

En este sentido debemos entender el diseño agronómico de los invernaderos como la construcción de los mismos en función de que contribuyan a cubrir las necesidades fisiológicas de los cultivos en cuanto a requerimientos de luz, temperatura, humedad relativa, etc.; bajo un sistema de manejo y cultivo determinados, considerando las condiciones climáticas de la región y de acuerdo al nivel socioeconómico de los productores (Bastida, 2011).

4.4. Cultivo de jitomate con arreglo de plantas en doseles escaleriformes.

El sistema de producción con doseles escaleriformes son diferentes disposiciones de plantas para fomentar que éstas reciban la mayor cantidad de luz, lo que les permitirá incrementar la cantidad en consecuencia una mayor productividad (Sánchez, 1991).

Los doseles escaleriformes se pueden conformar de dos maneras: la primera de ellas es utilizando una estructura física que permita acomodar las plantas a distintas alturas; la otra opción es desfasando la fechas de siembra, de manera que un grupo de plantas tenga ya una determinada altura al momento que el siguiente grupo sea plantado.

En los últimos años se han desarrollado paquetes tecnológicos que plantean el uso de invernaderos e hidroponía, con el uso de despuntes tempranos y la poda de brotes laterales para dejar sólo uno, dos o tres racimos por planta, compensando la menor producción por planta con densidades altas, que varían según el nivel de despunte, concentrando la cosecha de un ciclo en un intervalo muy corto de tiempo. Con este esquema de producción se pueden obtener hasta cuatro ciclos de cultivo por año rebasando la productividad anual de los sistemas convencionales; además, es un sistema adaptable a invernaderos de menor altura y por lo tanto con estructuras de menor costo (Sánchez *et al.*, 1991; Sánchez *et al.*, 1998; Ponce, 1998).

Dentro de la línea de investigación abordada, de producción de jitomate en arreglos escaleriformes en un sistema hidropónico bajo invernadero, se han realizado con anterioridad los siguientes trabajos:

Jorge (1999), comparó el comportamiento de diferentes densidades de población (6, 12, 16, 20, 25 y 36 plantas/m²), distribución de plantas (1 o 2 plantas/mata, en 2, 3, 4, 5 o 6 hileras) y niveles de despunte dejando 1, 2 ó 3 racimos/planta, en el cultivar Conteza, buscando incrementar el rendimiento por unidad de superficie sin afectar el tamaño y peso medio de los frutos.

Los resultados obtenidos mostraron que el arreglo de 25 plantas/m² distribuidas en 5 hileras, donde la primera y la quinta hilera se despuntaron a un racimo, la segunda y cuarta hilera a dos racimos, y la tercera a tres racimos, formando un dosel piramidal del cual se obtuvo el más alto rendimiento por m² (25.54 kg), el mayor número de frutos por m² (219) y un peso medio de frutos de 116 g. El rendimiento más bajo (17.78 kg.) correspondió al tratamiento que la menor densidad de población (testigo) (Jorge, 1999).

Méndez (2002) comparó diferentes disposiciones de plantas conformando doseles escaleriformes y doseles uniformes, contra un testigo de dosel uniforme ya validado comercialmente. El invernadero y las hileras estaban orientados en dirección este-oeste. Los tratamientos de dosel escaleriforme se lograron acomodando tres hileras de plantas despuntadas a diferente número de racimos o cuatro hileras de plantas despuntadas a tres racimos pero colocadas en tinas a diferente altura. Se probaron los híbridos Gabriela y Pike Ripe.

Además del rendimiento por unidad de superficie se evaluaron el número de frutos por unidad de superficie, su peso medio y tamaño, índice de área foliar, altura de planta, diámetro de tallo y número de flores por metro lineal. Se concluyó que las plantas en arreglo escaleriforme rindieron más por unidad de superficie que el testigo basado en un dosel uniforme y que el mayor rendimiento por unidad de superficie que se logró en los doseles escaleriformes se debió a la cosecha de mayor número de frutos por unidad de superficie, con poca disminución en el peso medio de los frutos (Méndez, 2002).

Balderas (2003) evaluó la respuesta del cultivar Gironda a la aplicación de dos retardadores de crecimiento (cycocel y paclobutrazol a concentraciones de 500 y 50 mg l⁻¹, respectivamente) en dos densidades de población (30 y 40 plantas/m²) sobre caracteres morfológicos y componentes del rendimiento. Las plantas se dispusieron en hileras con orientación este-oeste en contenedores colocados a distinta altura para formar un dosel en forma de escalera, el sustrato usado fue tezontle rojo y se irrigó durante todo el ciclo con una solución balanceada.

En la alta densidad se observó un incremento en el rendimiento comparada con la densidad más baja, aunque se afectó negativamente la calidad de los frutos. Los retardadores de crecimiento afectaron la altura temporalmente y redujeron el área foliar por planta, pero no influyeron en el rendimiento por unidad de superficie (Balderas, 2003).

Cruz (2003), con el objetivo de incrementar el rendimiento por unidad de superficie del cultivar Gironda, conducido a un tallo y despuntado a tres racimos en un sistema de dosel de doble escalera, comparo tres densidades de población (25, 30 y 35 plantas /m²) y dos diferencias en altura entre hileras de plantas contiguas (40 y 50 cm). 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.

Hernández (2003), evaluó el efecto de tres diferentes sustratos (tezontle rojo, agrolita y una mezcla de los dos anteriores 50:50 en base a volumen) en combinación con dos intervalos de riego (dos y cuatro riegos por día) en algunos caracteres morfológicos y en el rendimiento por planta y sus componentes primarios en el cv Gironda. Las plantas fueron podadas a un tallo y despuntadas tempranamente para cosecharles sólo tres racimos.

Las plantas en tezontle rindieron significativamente más que las cultivadas en agrolita (1,728 vs 1,212 g.) y ello se debió principalmente a un mayor peso por fruto en el primer caso (123 vs 92 g.). La distribución de la solución nutritiva en cuatro riegos al día produjo un mayor rendimiento por planta que en dos riegos (1,668 vs 1,394 g.). Las plantas ubicadas en la hilera superior rindieron significativamente más, tuvieron más frutos y de mayor peso que las plantas ubicadas en las hileras intermedia e inferior, lo que indica un cierto grado de sombreado a pesar del arreglo escaleriforme (Hernández, 2003).

4.5. Crecimiento.

El concepto de crecimiento se refiere a los cambios irreversibles que sufre un organismo, mientras que el desarrollo (también llamado diferenciación) se refiere a cambios de forma y función de las células, tejidos y órganos (Wareing y Phillips, 1978).

El crecimiento de una planta u organismo es un aumento irreversible y permanente de volumen, acompañado generalmente de un incremento del peso seco y del aumento de la cantidad de protoplasma en la células (Pérez, 1987).

4.5.1. Análisis de crecimiento.

Una de las formas que se emplea con más frecuencia para expresar el crecimiento vegetal, es la variación del peso seco por unidad de tiempo. Este parámetro tiene la gran ventaja de que al determinar el peso seco se elimina totalmente el agua de los tejidos la cual es un factor que puede distorsionar los resultados. Este sistema presenta el inconveniente de que para realizar las medidas es necesario destruir la planta (Pérez y Martínez, 1994).

Sin embargo, se pueden utilizar otros parámetros para cuantificar el crecimiento vegetal (Domínguez, 1973):

- Incremento en el largo del tallo u otro órgano.
- Incremento en diámetro del tallo.
- Incremento en superficie foliar.
- Incremento en peso seco.
- Incremento en volumen.
- Incremento en peso fresco.

4.5.2. Parámetros del análisis de crecimiento.

El 90 % del peso seco proviene de las fotosíntesis, por lo que es lógico explorar los efectos de las tasas de crecimiento en términos del área foliar y de la eficiencia con que cada unidad de área foliar funciona (Montes, 1977).

En este sentido el índice de Área Foliar (IAF), la Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), la Tasa de Asimilación Neta (TAN) y la Tasa de Crecimiento

del Cultivo (TCC), han probado ser particularmente valiosas como parámetros para entender las respuestas de los cultivos bajo cierto manejo.

4.5.2.1. Índice de Área Foliar (IAF).

El parámetro de área foliar por planta es una medida inapropiada del follaje de todo el cultivo, ya que no toma en cuenta el espaciamiento entre plantas, por lo cual se introdujo el concepto de IAF, definido como el área foliar por unidad de área de suelo (Mora, 1998).

El IAF es la relación entre la superficie de las hojas y una cierta superficie de suelo expresadas en las mismas unidades. La disposición de las hojas y la altura de las plantas constituyen el factor más importante en el aprovechamiento de la luz (Sivori y Montaldi, 1980).

El IAF se puede obtener con la siguiente fórmula (Hunt, 1990):

$$IAF = \frac{A}{S}$$

Dónde:

IAF: Índice de área foliar, m².

A: Área foliar, m².

S: Superficie de suelo, m².

4.5.2.2. Tasa de Asimilación Neta (TAN).

La TAN expresa el aumento de peso seco total de la planta por unidad de tiempo y por unidad de superficie de las hojas. El aumento de materia seca representa lo asimilado menos las pérdidas ocasionadas por la respiración (Sivori y Montaldi, 1980).

La TAN se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$TAN = \frac{(W_1 - W_2)(\ln AF_2 - \ln AF_1)}{(T_2 - T_1)(AF_2 - AF_1)}$$

Donde:

TAN: Tasa de asimilación neta, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de hoja por día.

W1, W2: Peso seco, g.

AF1, AF2: Área foliar, m^2 de hoja.

T1, T2: Intervalos de tiempo entre los que se hace la medición, días.

4.5.2.3. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC).

La TCC se define como la ganancia en peso seco de una comunidad de plantas por unidad de suelo por unidad de tiempo (Gardner *et al.*, 1990).

La TCC se puede obtener con la siguiente fórmula (Radford, 1967):

$$TCC = TAN * IAF$$

Donde:

TCC: Tasa de crecimiento del cultivo, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de suelo x día.

TAN: Tasa de asimilación neta, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de hoja x día.

IAF: Índice de área foliar, m^2 .

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del experimento.

La presente investigación se realizó del 19 de julio del 2010 al 13 de julio del 2011, en un invernadero ubicado en el Campo Agrícola Experimental perteneciente al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, México, a 19° 29' latitud Norte y 98°53' longitud Oeste, a una altitud de 2,245 msnm (Figura 1).



Figura 1. Invernadero donde se llevó a cabo la investigación.

El invernadero donde se llevó a cabo la investigación es de tipo capilla de estructura metálica, con cubierta plástica en su totalidad y malla antiáfidos en las paredes laterales y frontales, con dimensiones de 30 m de largo, 11 m de ancho y 5 m de alto, y orientación norte-sur. Con la finalidad de tener una mejor difusión de la luz se cubrió el piso con tela blanca de polipropileno conocida como ground cover (Figura 2).



Figura 2. Piso del invernadero cubierto con ground cover.

5.2. Material vegetal.

Para el experimento se utilizaron dos variedades de jitomate, una de hábito semideterminado (Pik Ripe 461) y otra de hábito indeterminado (Charleston).

La variedad Pik Ripe 461 es un tomate híbrido tipo bola para mercado fresco con amplia adaptación a distintas zonas de producción, debido a que su planta es fuerte y vigorosa. Tiene resistencia a *Fusarium* (razas 1 y 2), a ToMV (Virus del Mosaico del Tomate; razas 0, 1 y 2) y TYLCV (Virus del Rizado del Tomate) y a V-1 (*Verticillium*, raza 1). Su alto potencial de rendimiento se basa en los frutos redondos de excelente tamaño y en su uniformidad. La calidad de su fruta es apreciada por su firmeza, buen color y las cicatrices tanto del pedúnculo como del cierre floral son pequeñas (Seminis, 2011).

La variedad Charleston presenta buena cobertura de frutos, de tipo bola, extrafirmes, con pericarpio grueso y multilocular, con un peso promedio de 230 g. Tiene un tiempo de cosecha de 75 a 90 días después de trasplante, dependiendo

de las temperaturas y la radiación solar durante el ciclo. Presenta tolerancia a V-1 (Verticillium; raza 1), Fusarium (razas 1 y 2), ToMV (Virus del Mosaico del Tomate) y nematodos (Link-Agro, 2011).

5.3. Descripción de los tratamientos.

Se evaluaron 12 tratamientos:

1. Escalera con 5 plantas por metro de hilera (pl/m). Dosel en forma de escalera (escaleriforme) formado por cuatro hileras de plantas, orientadas este-oeste y soportadas por una estructura que permitió colocar cada hilera de plantas en una tina a distinta altura (30 cm de diferencia de altura entre hileras contiguas). El marco de plantación fue de 20 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 20 plantas/m², las cuales fueron conducidas a tres racimos (Figura 3).
2. Escalera con 7 pl/m. Igual al anterior pero el marco de plantación fue de 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 28 plantas/m² (Figura 3).
3. Pirámide con 5 pl/m. Dosel escaleriforme formado por cinco hileras de plantas, orientadas norte-sur y soportadas por una estructura que permitió colocar cada hilera de plantas en una tina a distinta altura (30 cm de diferencia de altura entre hileras contiguas) las hileras de las orillas este y oeste quedaron en el piso más bajo y la hilera central en el más alto. El marco de plantación fue de 20 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 20 plantas/m², las cuales fueron conducidas a tres racimos (Figura 4).

4. Pirámide con 7 pl/m. Igual al anterior pero el marco de plantación fue de 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 28 plantas/m² (Figura 4).
5. Intercambio con 5 pl/m. Dosel escaleriforme de producción continua formado por cuatro hileras de plantas de distinta altura, orientadas norte-sur; inicialmente sólo las tinas de las dos hileras centrales se trasplantaron con plántulas de 50 días de edad (ciclo 1); 50 días después se trasplantaron las dos hileras exteriores también con plántulas de 50 días de edad (ciclo 2); 50 días después se terminó la cosecha del ciclo 1, después de quitar las plantas cosechadas, se quitaron las tinas de cultivo de las hileras centrales, se corrieron las tinas con plantas de las orillas hacia el centro y se colocaron las tinas vacías a los lados para sembrarlas inmediatamente con plántulas de 50 días de edad (ciclo 3) y así sucesivamente para hacer un total de cinco ciclos de producción de dos hileras de plantas en cada ciclo. Con el traslape de dos ciclos el marco de plantación quedó de 20 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, para dar una densidad de 20 plantas/m², conducidas a tres racimos (Figura 5).
6. Intercambio con 7 pl/m. Igual al anterior pero el marco de plantación quedó de 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, para dar una densidad de 28 plantas/m² (Figura 5).
7. Imbricación cada 22 días con 5 pl/m. Dosel escaleriforme formado por cinco hileras de plantas de distinta altura, orientadas este-oeste. Inicialmente sólo la tina que da al norte se trasplantó con plántulas de 60 días de edad (ciclo 1); 22 días después se trasplantó la tina contigua a la anterior también con plántulas de 60 días de edad (ciclo 2); 22 días después la contigua a la anterior y así sucesivamente hasta llegar a la quinta tina que daba al sur. A los 120 días después del primer trasplante se terminó la cosecha del ciclo 1, después de quitar las plantas cosechadas, se corrió la tina hacia el otro lado

del pasillo para convertirse en la tina que da al sur del siguiente juego de cinco tinas y se sembró inmediatamente con plántulas de 60 días de edad (ciclo 6) y así sucesivamente para hacer un total de 10 ciclos de producción de una hilera de plantas en cada ciclo. Con el traslape de cinco ciclos de producción, el marco de plantación quedó de 20 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, para dar una densidad de 20 plantas/m², conducidas a tres racimos (Figura 6).

8. Imbricación cada 22 días con 7 pl/m. Igual al anterior pero el marco de plantación fue de 14.3 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 28 plantas/m² (Figura 6).

9. Imbricación cada 45 días con 5 pl/m. Dosel escaleriforme formado por tres hileras de plantas de distinta altura, orientadas este-oeste. Las plantas fueron colocadas en bolsas de polietileno blanco-negro. Inicialmente sólo la hilera que da al norte se trasplantó con plántulas de 45 días de edad (ciclo 1); 45 días después se trasplantó la hilera contigua de bolsas también con plántulas de 45 días de edad (ciclo 2); 45 días después la contigua a la anterior (ciclo 3). A los 135 días después del primer trasplante se terminó la cosecha del ciclo 1, después de quitar las plantas cosechadas, se corrió la hilera de bolsas hacia el otro lado del pasillo para convertirse en la hilera que da al sur del siguiente juego de tres hileras de plantas y se sembró inmediatamente con plántulas de 45 días de edad (ciclo 4) y así sucesivamente para hacer un total de cinco ciclos de producción de una hilera de plantas en cada ciclo. Con el traslape de tres ciclos de producción, el marco de plantación quedó de 20 cm entre plantas y 33 cm entre hileras, para dar una densidad de 15 plantas/m², conducidas a seis racimos (Figura 7).

10. Imbricación cada 45 días con 7 pl/m. Igual al anterior pero el marco de plantación fue de 20 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 21 plantas/m² (Figura 7).

11. Uniforme a tres racimos (testigo 1). Dosel uniforme formado por cuatro hileras de plantas a la misma altura, orientadas en dirección norte-sur. El marco de plantación fue de 30 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para dar una densidad de 13 plantas/m², las cuales fueron conducidas a tres racimos (Figura 8).

12. Uniforme a seis racimos (testigo 2). Dosel uniforme formado por dos hileras de plantas a la misma altura, orientadas en dirección norte-sur. El marco de plantación fue de 33 cm entre plantas y 30 cm entre hileras para dar una densidad de 10 plantas/m², las cuales fueron conducidas a seis racimos (Figura 9).

En los tratamientos conducidos a tres racimos por planta se usó el híbrido Pik Ripe por ser de hábito determinado, mientras que en los tratamientos conducidos a seis racimos por planta el híbrido utilizado fue Charleston que es de tipo indeterminado.



Figura 3. Disposición de los tratamientos de escalera con 5 (a) y 7 (b) pl/m.



Figura 4. Disposición de los tratamientos de pirámide con 5 (a) y 7 (b) pl/m.



Figura 5. Disposición de los tratamientos de intercambio con 5 (a) y 7 (b) pl/m.

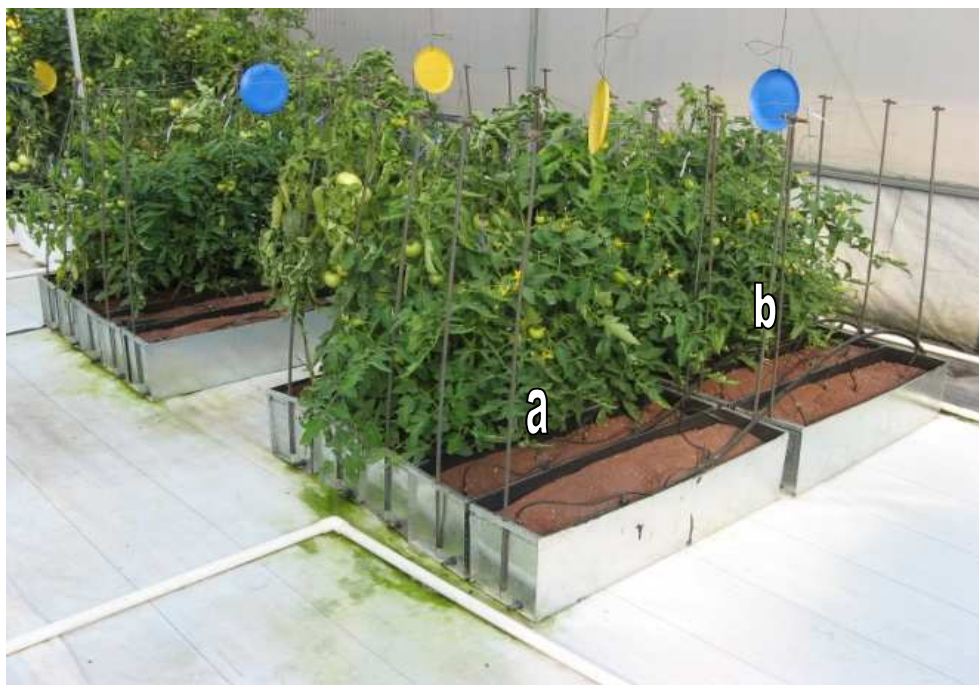


Figura 6. Disposición de los tratamientos de imbricación cada 22 días con 5 (a) y 7 (b) pl/m.



Figura 7. Disposición de los tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 (a) y 7 (b) pl/m.



Figura 8. Disposición del tratamiento uniforme a tres racimos.



Figura 9. Disposición del tratamiento uniforme a seis racimos.

5.4. Diseño experimental.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar, un arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron conformadas por la combinación entre los distintos tipos de arreglos y las densidades de población. La unidad experimental de parcela grande fue de 3.6 m de largo por 3.6 m de ancho y la de las subparcelas de 3.6 m de ancho por 1.8 m de largo.

La parcela grande se colocó el arreglo o distribución de las plantas y en parcela chica el número de plantas por metro de hilera. Para la distribución de los tratamientos con base en el diseño experimental se sorteo primero cada parcela grande en cada bloque y después dentro de cada parcela grande se sorteo la parcela chica.

Los bloques se formaron dividiendo longitudinalmente el invernadero en tres partes iguales, por lo que cada bloque midió 30.0 m de largo por 3.6 m de ancho (Figura 10).



Figura 10. Distribución de tratamientos.

5.5. Manejo del cultivo.

El sustrato utilizado tanto para las plantas en semillero como después del trasplante fue arena fina de tezontle rojo (Figura 11). En el semillero se utilizaron macetas de polietileno rígido de 0.7 L de capacidad (Figura 12). Las siembras se realizaron en macetas de 0.7 litros colocando una sola semilla por maceta a una profundidad de 0.5 cm, dependiendo de la programación de cada tratamiento, según se indica en el Cuadro 1.

El trasplante y manejo posterior de las plantas para la mayoría de los tratamientos fue en tinas construidas con lámina de acero galvanizado calibre 24, con dimensiones de 100 cm de largo por 25 cm de ancho y 25 cm de altura. Antes de llenarlas con el sustrato fueron recubiertas por dentro con un impermeabilizante industrial con la finalidad de que no se oxidarán fácilmente, así como para evitar que el metal desprendiera elementos tóxicos para el desarrollo de las plantas (Figura 13).



Figura 11. Macetas para plántulas con tezontle rojo.



Figura 12. Plantas en semillero.



Figura 13. Tinas de acero galvanizado.

Para los tratamientos testigo a tres y seis racimos y el de imbricación cada 45 días conducido a seis racimos por planta, se utilizaron como contenedores

bolsas de polietileno de 30 cm de diámetro con 20 L de capacidad, de color negro por dentro y blanco por fuera (Figura 14).

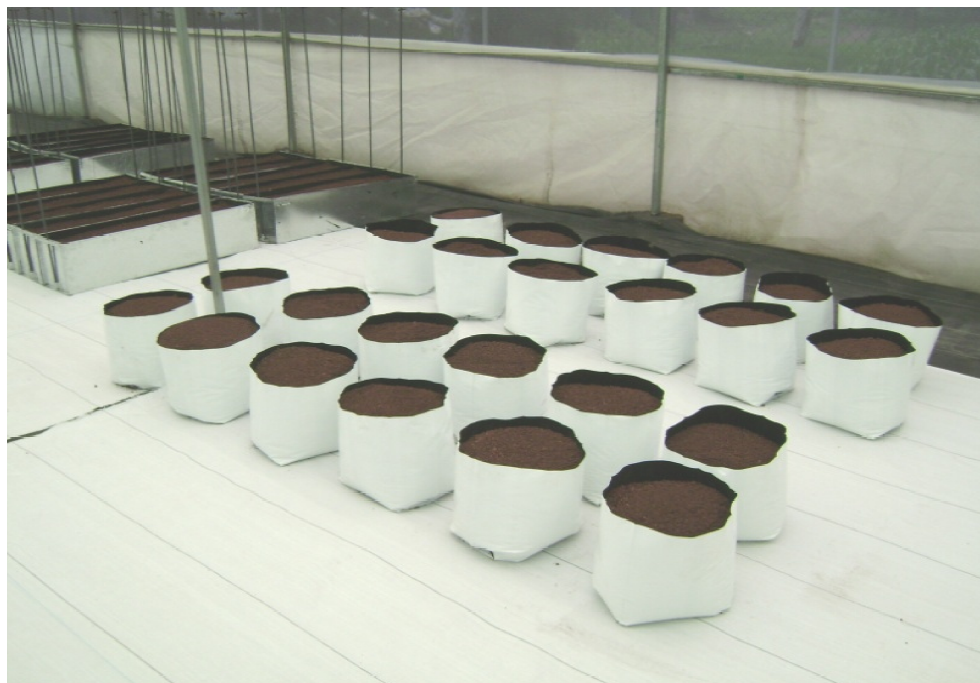


Figura 14. Bolsas de polietileno de doble color.

El trasplante de las plántulas se realizó de acuerdo con la programación de cada tratamiento.

Para los tratamientos: escalera con 5 pl/m, escalera con 7 pl/m, pirámide con 5 pl/m, pirámide con 7 pl/m, uniforme a tres racimos (testigo), uniforme a seis tres racimos (testigo), imbricación cada 45 días con 5 pl/m e imbricación cada 45 días con 7 pl/m; todas las plantas de todas las hileras se trasplantaron del semillero a la edad de 45 días después de la siembra.

Para los tratamientos: Intercambio con 5 pl/m e Intercambio con 7 pl/m, las plantas de cada grupo de hileras se trasplantaron del semillero a la edad de 50 días después de la siembra.

Cuadro 1. Fechas de siembra de los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Descripción
Escalera con 5 pl/m y Escalera con 7 pl/m.	Se realizaron 3 ciclos continuos de producción. Las fechas de siembra fueron a 1, 105 y 210 días de iniciado el experimento.
Pirámide con 5 pl/m y Pirámide con 7 pl/m.	Se realizaron 3 ciclos continuos de producción. Las fechas de siembra fueron a 1, 105 y 210 días de iniciado el experimento.
Intercambio con 5 pl/m e Intercambio con 7 pl/m.	Se realizaron 5 ciclos continuos de producción correspondientes a 5 grupos de hileras distintos. Las fechas de siembra fueron cada 50 días a 1, 50, 100, 150 y 200 días de iniciado el experimento.
Imbricación cada 22 días con 5 pl/m e Imbricación cada 22 días con 7 pl/m.	Se realizaron 10 ciclos continuos de producción correspondientes a 10 grupos de hileras distintos. Las fechas de siembra fueron cada 22 días a 1, 22, 44, 66, 88, 110, 132, 154, 176 y 198 días de iniciado el experimento.
Imbricación cada 45 días con 5 pl/m e Imbricación cada 45 días con 7 pl/m.	Se realizaron 5 ciclos continuos de producción correspondientes a 5 grupos de hileras distintos. Las fechas de siembra fueron cada 45 días a 1, 45, 90, 135 y 180 días de iniciado el experimento.
Uniforme a tres racimos (testigo).	Se realizaron 3 ciclos continuos de producción, cada uno continuación del otro. Las fechas de siembra fueron a 1, 105 y 210 días de iniciado el experimento.
Uniforme a seis tres racimos (testigo).	Se realizaron 2 ciclos continuos de producción, uno continuación del otro. Las fechas de siembra fueron a 1 y 135 días de iniciado el experimento.

Para los tratamientos: Imbricación cada 22 días con 5 pl/m e Imbricación cada 22 días con 7 pl/m, las plantas de cada grupo de hileras se trasplantaron del semillero a la edad de 60 días después de la siembra.

Desde la siembra de las semillas hasta la emergencia de las plántulas se regó sólo con agua. Después de la emergencia se comenzaron los riegos con una solución nutritiva a 75% de concentración, una vez realizado el trasplante los riegos se manejaron con la solución a 100% de su concentración. La composición de la solución a 100 % se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fertilizantes usados en la solución nutritiva.

Fertilizantes	Por cada 1,000 L
Nitrato de Calcio	1,200.00 g
Sulfato de Potasio	560.00 g
Ácido Fosfórico (a 85 %)	130.00 ml
Sulfato de Magnesio	600.00 g
Sulfato de Hierro	10.00 g
Sulfato de Manganeso	4.00 g
Borax	4.00 g
Sulfato de Cobre	0.40 g
Sulfato de Zinc	0.40 g
Ácido Sulfúrico (a 10 %)	Para ajustar el pH

El tutorado de las plantas se realizó entre los 5 a 10 días después del trasplante. Las plantas de los tratamientos en tinas se tutoraron con el sistema de soporte de que estas mismas disponían. Las plantas de los tratamientos en bolsas se sujetaron a la estructura del invernadero. En la base del tallo de cada planta se realizó el amarre con rafia y posteriormente se enrolló a lo largo del tallo las veces que fue necesario para que la planta quedara bien soportada.

Las plantas se condujeron a un solo tallo mediante la poda de los brotes laterales, los despuntes se realizaron eliminando la yema terminal dos hojas arriba de la tercera o sexta inflorescencia de acuerdo al tratamiento correspondiente.

El riego, a partir del trasplante, se efectuó con cintilla de goteo de polietileno flexible y siempre con solución nutritiva, aplicando diariamente la cantidad necesaria para mantener el sustrato a su capacidad de retención (entre 5 y 8 L·m⁻²·día⁻¹, según las condiciones climáticas y la edad de la planta).

Para facilitar la polinización, diariamente antes del mediodía, se hacían vibrar los alambres de tutoreo con la ayuda de un palo para permitir el desprendimiento del polen.

Los frutos se cosecharon de forma manual cuando alcanzaron una coloración rosada a naranja en cada uno de los diferentes racimos aproximadamente a los 85 días después del trasplante (Figura 15).



Figura 15. Estado de madurez en el momento de la cosecha.

5.6. Variables evaluadas.

Se evaluaron tres tipos de variables: caracteres morfológicos, indicadores del crecimiento y rendimiento y sus componentes primarios.

Las variables morfológicas estudiadas fueron las siguientes:

- Altura de planta (AP) medida a los 90 días después de la siembra para los tratamientos a tres racimos y a los 90 y 120 días después de la siembra para los tratamientos a seis racimos. Se realizó con ayuda de una cinta métrica, tomando la altura desde la base del tallo hasta donde se despuntó la planta (2 hojas arriba del último racimo), se reportó en cm.
- Diámetro de tallo (DT) medido a los 90 días después de la siembra para los tratamientos a tres racimos y a los 90 y 120 días después de la siembra para los tratamientos a seis racimos. Se efectuó con ayuda de un vernier electrónico, en el cuarto entrenudo de la planta, se reportó en mm.
- Número de hojas por planta (NH) contadas a los 90 días después de la siembra para los tratamientos a tres racimos y a los 90 y 120 días después de la siembra para los tratamientos a seis racimos, contando las hojas mayores a 1 cm de longitud.
- Área foliar por planta (AF) medida a los 90 días después de la siembra para los tratamientos a tres racimos y a los 90 y 120 días después de la siembra para los tratamientos a seis racimos, estimada de acuerdo al procedimiento explicado en el apartado 5.7, se reporta en m².

Los indicadores de crecimiento que se estudiaron fueron los siguientes:

- Índice de área foliar (IAF) estimado a los 90 días después de la siembra para los tratamientos a tres racimos y a los 90 y 120 días después de la siembra para los tratamientos a seis racimos, estimado a partir del área foliar por planta y la densidad de población usada; se reporta en m² de hoja por m² de suelo.
- Peso seco (PS) a los 60, 90 y 120 días después de la siembra, estimado de acuerdo al procedimiento explicado en el apartado 5.7.

- Tasa de Asimilación Neta (TAN), estimada con el PS y el AF en los intervalos de tiempo que corresponden entre los 60 a 90 y 90 a 120 días después de la siembra, para los siguientes órganos: tallo, hojas y flores o frutos. Se reporta en g m^{-2} de hoja día^{-1} .
- Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), estimada con la TAN y el IAF en los intervalos de tiempo que corresponden entre los 60 a 90 y 90 a 120 días después de la siembra, para los siguientes órganos: tallo, hojas y flores o frutos. Se reporta en g m^{-2} de suelo día^{-1} .

Las variables de rendimiento y sus componentes fueron:

- Rendimiento por unidad de superficie (RS), calculado mediante el peso de frutos obtenido por tratamiento en todos los cortes realizados, en kg m^{-2} útil.
- Rendimiento por planta (RP), calculado mediante el peso de frutos obtenido por planta en la suma de todos los cortes, se reporta en kg/planta .
- Número de frutos por unidad de superficie (FS), calculado mediante el peso de frutos obtenido por tratamiento en la suma de todos los cortes, se reporta en frutos/m^2 útil.
- Número de frutos por planta (FP), calculado mediante el peso de frutos obtenido por planta en la suma de todos los cortes, se reporta en frutos/planta .
- Peso medio de frutos (PM), obtenido dividiendo el rendimiento por planta entre el número de frutos por planta, se reporta en gramos.

5.7. Muestreo destructivo.

Para estimar el área foliar por planta y después el índice de área foliar, se realizó un muestreo destructivo de 36 plantas (3 plantas por tratamiento) a la edad de 60 días después de la siembra, donde se midieron el largo y ancho de cada una de las hojas de cada planta. Luego se procedió a escanear cada una de las hojas (434 en total) con ayuda de una multifuncional comercial, marca Epson,

modelo Stylus TX120. Posteriormente con ayuda del programa de procesamiento digital de imágenes “ImageJ” de los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos (National Institutes of Health) se obtuvo el área foliar de cada hoja.

Con los datos obtenidos se hizo una correlación entre el producto del largo por el ancho de cada hoja con su área foliar. El coeficiente de correlación fue de 0.927. Se realizó un análisis de regresión lineal simple con la finalidad de obtener una fórmula para estimar el área foliar de las plantas en posteriores mediciones sin necesidad de realizar muestro destructivo.

La ecuación de regresión lineal simple obtenida para estimar el área foliar de los tratamientos: escalera con 5 pl/m, escalera con 7 pl/m, pirámide con 5 pl/m, pirámide con 7 pl/m, intercambio con 5 pl/m, intercambio con 7 pl/m, imbricación cada 22 días con 5 pl/m, imbricación cada 22 días con 7 pl/m y uniforme a tres racimos (testigo 1) fue:

$$Y = 8.868 + 0.261X$$

Donde:

Y: Área foliar.

X: Producto del largo por ancho de la hoja.

La fórmula de regresión lineal simple obtenida para estimar el área foliar de los tratamientos: imbricación cada 45 días con 5 pl/m, imbricación cada 45 días con 7 pl/m y uniforme a seis racimos (testigo 2).

$$Y = 9.168 + 0.302X$$

Donde:

Y: Área foliar.

X: Producto del largo por ancho de la hoja.

Para obtener el peso seco, a los 60, 90 y 120 días después de la siembra se separaron los distintos órganos (tallo, hojas y flores o frutos) de las plantas cortadas con este fin, y se colocaron en bolsas de papel. Posteriormente en laboratorio se colocaron las bolsas del papel en una estufa a 60-80 °C de temperatura durante 3 o 4 días. Cuando los órganos de la planta ya no contenían humedad se procedió a pesarlos con ayuda de una balanza de precisión.

5.8. Análisis estadístico.

Los análisis de estadísticos de las variables morfológicas, indicadores de crecimiento y rendimiento y sus componentes, por tratamiento, hilera y planta, fueron realizados con el programa SAS (Statistical Analysis System) en donde se realizaron análisis de varianza ($P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$) y pruebas de comparaciones de medias de acuerdo con la prueba de Tukey ($P = 0.05$).

El análisis de los datos se llevó a cabo en varias etapas. Primero se realizó una comparación general de todos los tratamientos exceptuando los testigos con los datos tomados a los 90 días después de la siembra para los tratamientos a 3 racimos, y con los datos tomados a los 90 y 120 días después de la siembra para los tratamientos a 6 racimos. Posteriormente se realizaron comparaciones entre cada tratamiento y los testigos, utilizando contrastes. Para el caso de las variables indicadoras del rendimiento se llevaron a cabo además análisis particulares donde se compararon las hileras de los tratamientos semejantes entre sí.

VI. RESULTADOS

6.1. Variables morfológicas.

6.1.1. Comparación general entre tratamientos manejados a tres racimos por planta.

En el Cuadro 3 se muestran los análisis de varianza para las variables morfológicas altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar a los 90 días después de la siembra (dds) considerando todos los tratamientos en que las plantas se condujeron a tres racimos. Entre arreglos de dosel se encontraron diferencias significativas para el número de hojas, y diferencias altamente significativas en diámetro de tallo y área foliar. Mientras que entre número de plantas por metro de hilera (pl/m) hubo diferencias significativas para diámetro de tallo. La interacción arreglo por pl/m no fue significativa para ninguna de las variables.

De acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), para arreglos (Cuadro 4) no se encontraron diferencias significativas para las variables altura de planta y número de hojas, aunque en esta última si se detectaron diferencias según el análisis de varianza (Cuadro 3). Se observa que las plantas de mayor diámetro de tallo fueron las del dosel en forma de escalera, alcanzando a diferir estadísticamente del arreglo de intercambio pero no de los arreglos de pirámide e imbricación cada 22 días. En lo que respecta a área foliar el sistema de imbricación cada 22 días y el arreglo de pirámide fueron significativamente mayores a los arreglos de escalera e intercambio.

En cuanto a pl/m (Cuadro 5), sólo hubo diferencias significativas en diámetro de tallo, siendo 5 pl/m la que resultó con valores significativamente mayores.

Cuadro 3. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para variables morfológicas a los 90 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.

Fuentes de variación	GL	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Número de hojas		Área foliar por planta (m ²)	
Bloque	2	3.257	NS	0.382	*	0.500	NS	0.002	NS
Arreglo	3	77.634	NS	1.174	**	2.777	*	0.069	**
Error a	6	54.705		0.207		0.777		0.003	
pl/m	1	2.220	NS	1.033	*	0.166	NS	0.000	NS
Arreglo * pl/m	3	5.254	NS	0.057	NS	0.277	NS	0.001	NS
Error b	8	22.356		0.066		0.625		0.002	
Total	23								
Media general		89.895		8.533		13.000		0.201	
CV		5.259		3.020		6.081		23.338	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo.
GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 4. Comparación de medias de arreglos para variables morfológicas a los 90 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.

Arreglo	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Número de hojas		Área foliar por planta (m ²)	
Escalera	92.333	A	8.956	A	13.500	A	0.128	B
Pirámide	88.383	A	8.443	AB	12.000	A	0.244	A
Intercambio	93.317	A	7.951	B	13.333	A	0.099	B
Imbricación c/22 días	85.550	A	8.781	AB	13.166	A	0.331	A
DMS (Tukey $P \leq 0.05$)	14.782		0.911		1.762		0.112	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Cuadro 5. Comparación de medias de plantas por metro para variables morfológicas a los 90 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.

Número de plantas por metro de hilera	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de hojas	Área foliar por planta (m ²)
5	89.592 A	8.740 A	13.083 A	0.202 A
7	90.200 A	8.325 B	12.916 A	0.199 A
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	4.451	0.242	0.744	0.044

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Los resultados sobre las variables morfológicas medidas a los 120 dds se presentan en los Cuadros 6, 7 y 8.

En el Cuadro 6 se observa que entre arreglos de dosel se encontraron diferencias altamente significativas para el diámetro de tallo, número de hojas y área foliar. Para pl/m hubo diferencias significativas en área foliar y altamente significativas en número de hojas. La interacción arreglo por pl/m no fue significativa para ninguna de las variables.

Entre los 90 y los 120 dds existen diferencias entre tratamientos para varios de los caracteres morfológicos debidas a la variación en la densidad de plantas por unidad de superficie existente entre los distintos arreglos (Cuadros 7 y 8). En los arreglos de escalera y pirámide todas las hileras se sembraron en la misma fecha, por lo que la densidad no varió entre una fecha de muestreo y otra; simplemente su efecto se fue acentuando conforme aumentaba el área foliar por planta. En cambio, para los arreglos de intercambio, imbricación cada 22 días e

intercambio cada 45 días la densidad de plantas hubieron variaciones importantes, ya que a los 90 dds estos arreglos sólo contaban con las primeras hileras con plantas, mientras que a los 120 dds el arreglo de imbricación ya estaba con sus hileras completas el de intercambio cada 22 días contaba ya con tres hileras de plantas y el de intercambio cada 45 días con dos.

Cuadro 6. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para variables morfológicas a los 120 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.

Fuentes de variación	GL	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Número de hojas		Área foliar por planta (m ²)	
Bloque	2	30.616	NS	0.390	NS	0.166	NS	0.006	NS
Arreglo	3	28.753	NS	3.893	**	6.597	**	0.045	**
Error a	6	29.826		0.123		0.388		0.004	
pl/m	1	14.570	NS	0.660	NS	9.375	**	0.013	*
Arreglo * pl/m	3	100.738	NS	0.439	NS	3.486	NS	0.002	NS
Error b	8	20.453		0.163		0.583		0.001	
Total	23								
Media general		85.867		9.563		13.291		0.250	
CV		5.256		4.228		5.746		17.218	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo.

GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 7. Comparación de medias de arreglos para variables morfológicas a los 120 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.

Arreglo	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Número de hojas		Área foliar por planta (m ²)	
Escalera	86.650	A	8.850	B	14.500	A	0.175	B
Pirámide	85.400	A	8.881	B	12.500	B	0.243	AB
Intercambio	83.150	A	10.258	A	12.333	B	0.209	B
Imbricación cada 22 días	88.350	A	10.263	A	13.833	A	0.375	A
DMS (Tukey $P \leq 0.05$)	10.915		0.702		1.246		0.132	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Cuadro 8. Comparación de medias de plantas por metro para variables morfológicas a los 120 días después de la siembra de tratamientos manejados a tres racimos por planta.

Número de plantas por metro de hilera	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Número de hojas		Área foliar por planta (m ²)	
5	86.667	A	9.729	A	13.916	A	0.274	A
7	85.108	A	9.397	A	12.666	B	0.227	B
DMS (Tukey $P \leq 0.05$)	4.257		0.380		0.719		0.040	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

En arreglos de dosel se puede observar que para altura de planta no se presentaron diferencias significativas, pues para esta fecha las plantas ya se habían despuntado. Para diámetro de tallo los arreglos de escalera y pirámide fueron significativamente mayores que los de intercambio e imbricación cada 22

días. En cuanto a número de hojas los arreglos de escalera e imbricación cada 22 días fueron superiores y presentaron diferencias significativas con los de intercambio e imbricación cada 22 días. El arreglo que presentó mayor área foliar por planta fue el de imbricación cada 22 días, y los más bajos fueron los de escalera e intercambio. Para el caso del número de plantas por metro de hilera no hubo diferencias entre 5 y 7 pl/m para altura de planta y diámetro de tallo, aunque para número de hojas y área foliar sí, siendo los valores en 5 pl/m superiores a 7 pl/m.

6.1.2. Comparación de variables morfológicas entre tratamientos manejados a tres racimos por planta con el testigo de dosel uniforme.

En el Cuadro 9 se muestran las medias de las variables morfológicas de cada uno de los tratamientos y del testigo, que también estuvo manejado a tres racimos por planta, así como los niveles de significancia, para conocer si se presentaron diferencias estadísticas de cada tratamiento en comparación respecto al testigo de dosel uniforme.

Cuadro 9. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a tres racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para variables morfológicas.

Contraste	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Número de hojas		Área foliar por planta (m ²)	
90 dds								
Escalera con 5 pl/m vs Testigo	91.433	NS	9.020	NS	13.333	NS	0.109	NS
Escalera con 7 pl/m vs Testigo	93.233	NS	8.893	NS	13.666	NS	0.148	NS
Pirámide con 5 pl/m vs Testigo	87.300	NS	8.673	NS	12.333	**	0.263	NS

Continuación Cuadro 9...

Pirámide con 7 pl/m vs Testigo	89.466	NS	8.213	NS	11.666	**	0.226	NS
Intercambio con 5 pl/m vs Testigo	94.300	NS	8.223	NS	13.333	NS	0.104	NS
Intercambio con 7 pl/m vs Testigo	92.333	NS	7.680	NS	13.333	NS	0.094	*
Imbricación cada 22 días con 5 pl/m vs Testigo	85.333	NS	9.046	NS	13.333	NS	0.333	**
Imbricación cada 22 días con 7 pl/m vs Testigo	85.766	NS	8.516	NS	13.000	NS	0.330	**
Testigo con dosel uniforme	88.633		8.486		14.333		0.180	
120 dds								
Escalera con 5 pl/m vs Testigo	82.666	NS	9.393	NS	14.333	NS	0.166	NS
Escalera con 7 pl/m vs Testigo	90.633	NS	8.306	NS	14.666	NS	0.184	NS
Pirámide con 5 pl/m vs Testigo	86.633	NS	8.970	NS	13.000	**	0.272	*
Pirámide con 7 pl/m vs Testigo	84.166	NS	8.793	NS	12.000	**	0.215	NS
Intercambio con 5 pl/m vs Testigo	89.100	NS	10.160	**	14.000	NS	0.244	NS
Intercambio con 7 pl/m vs Testigo	87.200	NS	10.356	**	10.666	**	0.174	NS
Imbricación cada 22 días con 5 pl/m vs Testigo	88.266	NS	10.393	**	14.333	NS	0.414	**
Imbricación cada 22 días con 7 pl/m vs Testigo	88.433	NS	10.133	**	13.333	*	0.335	**
Testigo con dosel uniforme	90.633		8.726		14.666		0.170	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo.

Para los 90 dds ningún tratamiento mostró diferencias significativas con el testigo para altura de planta y diámetro de tallo. En el caso de número de hojas los tratamientos de pirámide con 5 pl/m y pirámide con 7 pl/m mostraron diferencias significativas con el testigo, siendo su valor 14 y 19 % menor. Para área foliar por planta el tratamiento de intercambio con 7 pl/m mostró diferencias significativas con el testigo, siendo su valor 48 % menor; a su vez los tratamientos de imbricación cada 22 días con 5 pl/m e imbricación cada 22 días con 7 pl/m presentaron valores superiores al testigo en 85 %.

A los 120 dds los tratamientos siguieron sin presentar diferencias estadísticas con el testigo para la variable de altura de planta; sin embargo, para diámetro de tallo los tratamientos de intercambio e imbricación cada 22 días, con 5 y 7 pl/m fueron estadísticamente superiores al testigo en un promedio de 17.5 %. En lo que respecta a número de hojas los siguientes tratamientos presentaron menor valor que el testigo: imbricación cada 22 días con 7 pl/m, intercambio con 7 pl/m, pirámide con 5 pl/m y pirámide con 7 pl/m. Por último, para área foliar, por planta el tratamiento de pirámide con 5 pl/m tuvo un valor 60 % superior respecto al testigo, y los tratamientos de imbricación cada 22 días, con 5 y 7 pl/m, mostraron a su vez valores 140 y 100 % mayores que el testigo.

6.1.3. Comparación de variables morfológicas entre tratamientos a seis racimos con el testigo.

En el Cuadro 10 se muestran las medias de las variables morfológicas y niveles de significancia de los tratamientos de 5 y 7 pl/m con imbricación cada 45 días manejando hileras de plantas conducidas a seis racimos y del testigo a seis racimos con dosel uniforme para conocer si se diferencias estadísticas de cada tratamiento en relación a dicho testigo.

A los 90 y 120 días después de la siembra se encontraron diferencias significativas del tratamiento de imbricación cada 45 días con 5 pl/m con el testigo. Para los 120 días después de la siembra hubo diferencias significativas en el diámetro de tallo entre el tratamiento de imbricación cada 45 días con 7 pl/m y el testigo, además de diferencias altamente significativas para diámetro de tallo entre el tratamiento de imbricación cada 45 días con pl/m y el testigo.

Cuadro 10. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a seis racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para variables morfológicas.

Contraste	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Número de hojas		Área foliar por planta (m²)	
90 dds								
Imbricación cada 45 días con 5 pl/m vs Testigo	119.300	NS	9.093	NS	19.666	NS	0.555	*
Imbricación cada 45 días con 7 pl/m vs Testigo	118.466	NS	8.890	NS	18.333	NS	0.488	NS
Testigo con dosel uniforme	121.000		8.876		20.333		0.296	
120 dds								
Imbricación cada 45 días con 5 pl/m vs Testigo	155.533	NS	11.186	**	20.333	NS	0.615	*
Imbricación cada 45 días con 7 pl/m vs Testigo	134.433	NS	10.763	*	18.666	NS	0.483	NS
Testigo con dosel uniforme	164.566		9.373		20.333		0.472	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo.

6.2. Indicadores de crecimiento.

6.2.1. Comparación general entre tratamientos manejados a tres racimos por planta.

En el Cuadro 11 se muestran los análisis de varianza para los indicadores de crecimiento índice de área foliar (IAF) y peso seco a los 90 días después de la siembra (dds); así como tasa de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC) de los 60 a los 90 dds, considerando todos los tratamientos en que las plantas se condujeron a tres racimos. Entre arreglos del dosel se encontraron diferencias altamente significativas para IAF, TAN y TCC, mientras que peso seco por planta sólo se tuvieron diferencias significativas. Por su parte, entre número de plantas por metro de hilera (pl/m) hubo diferencias altamente significativas para IAF y TAN; peso seco y TCC no mostraron diferencias significativas. La interacción arreglo por pl/m no fue significativa para ninguna de las variables.

En el Cuadro 12 se muestra la prueba de comparación de medias para los arreglos de dosel. En lo referente a IAF el arreglo de pirámide fue significativamente mayor y los arreglos de escalera e imbricación cada 22 días no presentaron diferencias estadísticas; el arreglo de intercambio tuvo menor IAF aunque no presentó diferencias estadísticas con el arreglo de imbricación cada 22 días. Para peso seco por planta el arreglo de escalera fue significativamente mayor y los arreglos de pirámide, intercambio e imbricación cada 22 días no presentaron diferencias significativas. Para TAN el arreglo de escalera fue significativamente mayor que los arreglos de pirámide, intercambio e imbricación cada 22 días, que no presentaron diferencias estadísticas entre sí. Por último, para TCC, los arreglos de escalera e imbricación cada 22 días fueron significativamente mayores y no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, así como tampoco con el arreglo de pirámide, el cual a su vez no tuvo diferencias significativas con el de intercambio.

En cuanto a pl/m (Cuadro 13), no hubo diferencias significativas para las variables de peso seco y TAN, mientras que para IAF 7 pl/m fue significativamente mayor que 5 pl/m; lo mismo ocurrió con TCC.

Cuadro 11. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para indicadores de crecimiento a los 90 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.

Fuentes de variación	GL	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN^z (g/m²hoja/día)		TCC^z (g/m²suelo/día)	
Bloque	2	0.194	NS	108.487	NS	3.103	NS	31.135	NS
Arreglo	3	0.954	**	650.146	*	33.385	**	129.989	**
Error a	6	0.083		67.960		1.946		13.239	
pl/m	1	0.567	**	15.152	NS	0.113	NS	39.990	**
Arreglo * pl/m	3	0.020	NS	13.926	NS	0.742	NS	2.769	NS
Error b	8	0.012		26.007		2.029		3.219	
Total	23								
Media general		1.049		37.630		7.226		7.974	
CV		10.677		13.552		19.716		22.501	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación. ^z Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 60 y 90 días después de la siembra.

En el Cuadro 14 se muestran los análisis de varianza para IAF y peso seco por planta a los 120 dds, y TAN y TCC entre los 90 y 120 dds considerando todos los tratamientos en que las plantas se condujeron a tres racimos. Entre arreglos del dosel se encontraron diferencias altamente significativas para TCC, diferencias significativas para IAF y TAN, mientras que para peso seco no se encontraron diferencias significativas. Entre pl/m hubo diferencias significativas para peso seco, y altamente significativas para IAF, en tanto que para TAN y TCC no hubo

diferencias significativas. La interacción arreglo por pl/m no fue significativa para ninguna de las variables.

Cuadro 12. Comparación de medias de arreglos para indicadores de crecimiento a los 90 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.

Arreglo	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN ^z (g/m ² hoja/día)		TCC ^z (g/m ² suelo/día)	
Escalera	1.265	AB	53.082	A	10.627	A	13.762	A
Pirámide	1.500	A	32.340	B	6.435	B	9.560	AB
Intercambio	0.773	BC	34.380	B	6.663	B	5.237	B
Imbricación cada 22 días	0.660	C	30.717	B	5.180	B	3.338	B
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	0.576		16.476		2.788		7.272	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. ^z Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 60 y 90 días después de la siembra.

Cuadro 13. Comparación de medias de plantas por metro para indicadores de crecimiento a los 90 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.

Número de plantas por metro de hilera	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN ^z (g/m ² hoja/día)		TCC ^z (g/m ² suelo/día)	
5	0.895	B	38.425	A	7.157	A	6.683	B
7	1.203	A	36.836	A	7.295	A	9.265	A
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	0.105		4.801		1.341		1.689	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. ^z Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 60 y 90 días después de la siembra.

En lo referente a IAF los arreglos de pirámide, escalera e intercambio fueron mayores, siendo el único que presentó diferencias significativas el arreglo

de imbricación cada 22 días (Cuadro 15). En cuanto a la TCC el arreglo de intercambio presentó mayor valor y presentó diferencias estadísticas únicamente con el arreglo de imbricación cada 22 días, pues con los arreglos de escalera y pirámide no hubo diferencias significativas.

En cuanto a pl/m, la prueba de comparación de medias indica que para IAF 7 pl/m fue significativamente mayor que 5 pl/m, aunque para peso seco por planta y TCC se observó lo contrario, pues 5 pl/m fue mayor que 7 pl/m (Cuadro 16).

Cuadro 14. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para indicadores de crecimiento a los 120 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.

Fuentes de variación	GL	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN^z (g/m²hoja/día)		TCC^z (g/m²suelo/día)	
Bloque	2	0.268	NS	281.909	NS	1.194	NS	25.131	NS
Arreglo	3	1.012	*	988.162	NS	10.460	*	149.213	**
Error a	6	0.133		370.524		2.089		20.279	
pl/m	1	1.733	**	1403.928	*	13.969	NS	28.886	NS
Arreglo * pl/m	3	0.472	NS	297.441	NS	6.195	NS	54.549	NS
Error b	8	0.067		146.892		2.658		19.646	
Total	23								
Media general		1.835		94.599		8.213		15.112	
CV		14.111		12.811		19.852		29.328	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo. GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación. ^z Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 90 y 120 días después de la siembra.

Cuadro 15. Comparación de medias de arreglos para indicadores de crecimiento a los 120 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.

Arreglo	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN ^z (g/m ² hoja/día)		TCC ^z (g/m ² suelo/día)	
Escalera	2.026	A	111.82	A	9.210	A	17.740	AB
Pirámide	1.966	A	85.31	A	6.880	A	13.755	AB
Intercambio	2.121	A	96.94	A	9.478	A	20.182	A
Imbricación c/22 días	1.226	B	84.32	A	7.285	A	8.755	B
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	0.731		38.471		2.889		9.000	

DMS = Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. ^z Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 90 y 120 días después de la siembra.

Cuadro 16. Comparación de medias de plantas por metro para indicadores de crecimiento a los 120 días después de la siembra de tratamientos a tres racimos.

Número de plantas por metro de hilera	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN ^z (g/m ² hoja/día)		TCC ^z (g/m ² suelo/día)	
5	1.566	B	102.248	A	8.976	A	14.016	A
7	2.104	A	86.951	B	7.450	A	16.210	B
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	0.243		11.410		1.535		4.172	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa. ^z Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 90 y 120 días después de la siembra.

6.2.2. Comparación de indicadores de crecimiento entre tratamientos manejados a tres racimos con el testigo.

En el Cuadro 17 se muestran las medias y pruebas de contrastes para los indicadores de crecimiento de cada uno de los tratamientos con el testigo que también estuvo manejado a tres racimos por planta.

Cuadro 17. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a tres racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de crecimiento.

Contraste	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN ^z (g/m²hoja/día)		TCC ^z (g/m²suelo/día)	
90 DDS								
Escalera con 5 pl/m vs Testigo	1.170	NS	55.926	**	10.270	*	12.156	*
Escalera con 7 pl/m vs Testigo	1.360	*	50.236	*	10.983	**	15.366	**
Pirámide con 5 pl/m vs Testigo	1.266	NS	31.610	NS	6.386	NS	7.620	NS
Pirámide con 7 pl/m vs Testigo	1.733	**	33.070	NS	6.483	NS	11.500	*
Intercambio con 5 pl/m vs Testigo	0.616	NS	34.530	NS	6.373	NS	3.980	NS
Intercambio con 7 pl/m vs Testigo	0.930	NS	34.236	NS	6.953	NS	6.493	NS
Imbricación cada 22 días con 5 pl/m vs Testigo	0.530	*	31.663	NS	5.600	NS	2.976	NS
Imbricación cada 22 días con 7 pl/m vs Testigo	0.790	NS	29.800	NS	4.760	*	3.700	NS
Testigo con dosel uniforme	0.923		37.516		7.556		6.923	
120 DDS								
Escalera con 5 pl/m vs Testigo	1.380	NS	122.373	**	10.936	**	14.913	NS
Escalera con 7 pl/m vs Testigo	2.673	**	101.273	NS	7.483	NS	20.566	**
Pirámide con 5 pl/m vs Testigo	1.986	*	99.913	NS	8.290	NS	16.753	*

Continuación Cuadro 17...

Pirámide con 7 pl/m vs Testigo	1.946	*	70.713	NS	5.470	NS	10.756	NS
Intercambio con 5 pl/m vs Testigo	1.843	*	95.003	NS	8.960	NS	16.366	*
Intercambio con 7 pl/m vs Testigo	2.400	**	98.880	NS	9.996	*	23.996	**
Imbricación cada 22 días con 5 pl/m vs Testigo	1.056	NS	91.700	NS	7.720	NS	8.030	NS
Imbricación cada 22 días con 7 pl/m vs Testigo	1.396	NS	76.936	NS	6.853	NS	9.520	NS
Testigo con dosel uniforme	1.336		78.313		6.276		8.430	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo. ^z

Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 60 y 90, y los 90 y 120 días después de la siembra.

Respecto al IAF a los 90 días después de la siembra (dds) los tratamientos de escalera con 7 pl/m e imbricación cada 22 días con 5 pl/m mostraron diferencias significativas, siendo el primero 47 % superior que el testigo y el segundo 43 % menor que el mismo. Mientras tanto, el tratamiento de pirámide con 7 pl/m presentó diferencias altamente significativas con respecto al testigo, siendo 88 % mayor que este. A los 120 dds los tratamientos que fueron superiores en IAF al testigo fueron los de escalera con 7 pl/m, intercambio con 7 pl/m, pirámide con 5 pl/m, pirámide con 7 pl/m e intercambio con 5 pl/m.

Para el peso seco por planta a los 90 dds, los tratamientos de escalera con 5 pl/m y escalera con 7 pl/m presentaron valores estadísticamente superiores respecto al testigo. Para los 120 dds sólo el tratamiento de escalera con 5 pl/m

presentó diferencias altamente significativas con el testigo, siendo su valor superior en 56 %.

En cuando a la TAN, medida entre los 60 y 90 dds, los tratamientos de escalera con 5 pl/m y escalera con 7pl/m presentaron valores estadísticamente superiores al testigo, mientras que el tratamiento de imbricación cada 22 días con 7 pl/m mostró un valor 37 % menor respecto al testigo. Respecto a la TAN medida entre los 90 y 120 dds los tratamientos de escalera con 5 pl/m e intercambio con 7 pl/m mostraron valores estadísticamente superiores al testigo, 74 y 59 %, respectivamente.

Por último, en lo que respecta a la TCC a los 90 dds, los tratamientos de escalera con 5 pl/m, escalera con 7 pl/m y pirámide con 7 pl/m presentaron valores superiores al testigo (76, 122 y 66 %, respectivamente). A los 120 dds los tratamientos de escalera con 7 pl/m, pirámide con 5 pl/m, imbricación con 5 pl/m e intercambio con 5 pl/m presentaron valores estadísticamente superiores respecto al testigo.

Un aspecto importante, que es visible en el Cuadro 18, es que para los arreglos de escalera y pirámide la mayor densidad redujo el peso seco por planta. Para escalera con 5 pl/ se tiene un peso seco de 122 g/pl, mientras que para 7 pl/m se observa un valor de 101 g/pl. Lo mismo se nota al analizar los datos de pirámide, con 100 g/pl para 5 pl/m y 71 g/pl para 7 pl/m.

6.2.3. Comparación de indicadores de crecimiento entre tratamientos a seis racimos con el testigo de dosel uniforme.

En el Cuadro 18 se muestran las medias de los indicadores de crecimiento de cada uno de los tratamientos y las pruebas de contrastes respecto al testigo, qué también estuvo manejado a seis racimos por planta, así como los niveles de

significancia, para conocer si se presentaron diferencias estadísticas de cada tratamiento en comparación respecto al testigo.

Cuadro 18. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a seis racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de crecimiento.

Contraste	IAF		Peso seco (g/planta)		TAN ^z (g/m ² hoja/día)		TCC ^z (g/m ² suelo/día)	
90 DDS								
Imbricación cada 45 días con 5 pl/m vs Testigo	0.640	NS	44.550	NS	7.160	NS	4.623	NS
Imbricación cada 45 días con 7 pl/m vs Testigo	0.963	NS	41.483	NS	5.986	NS	5.856	NS
Testigo con dosel uniforme	0.756		37.516		7.556		6.923	
120 DDS								
Imbricación cada 45 días con 5 pl/m vs Testigo	1.196	NS	111.590	NS	6.613	NS	7.866	NS
Imbricación cada 45 días con 7 pl/m vs Testigo	1.630	NS	109.930	NS	6.770	NS	11.233	NS
Testigo con dosel uniforme	1.336		78.313		6.276		8.430	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo. ^z

Los datos de TAN y TCC corresponden a los valores medios entre los 60 y 90, y los 90 y 120 días después de la siembra.

Ninguno de los dos tratamientos a seis racimos presentó diferencias significativas con el testigo para ninguno de los indicadores de crecimiento.

6.3. Rendimiento y sus componentes.

6.3.1. Comparación general entre tratamientos manejados a tres racimos por planta.

En el Cuadro 19 se muestran los análisis de varianza para rendimiento por unidad de superficie (kg m^{-2} de invernadero), y por planta (kg); número de frutos por unidad de superficie (frutos/m^2 de invernadero) y frutos por planta, y peso medio de frutos considerando todos los tratamientos en que las plantas se condujeron a tres racimos.

Cabe aclarar que los datos que se presentan son los del primer ciclo completo de cada arreglo. Para el caso del sistema de intercambio los datos se tomaron de las dos hileras de plantas centrales sembradas en el primer ciclo más los de las hileras de plantas sembradas 50 días después hacia el exterior, y para el caso de la imbricación cada 22 días los datos integran las primeras cinco hileras sembradas.

Entre arreglos del dosel se encontraron diferencias altamente significativas para rendimiento por unidad de superficie y por planta, número de frutos por unidad de superficie y por planta y peso medio de frutos; mientras tanto, entre número de plantas por metro de hilera (pl/m) hubo diferencias significativas para número de frutos por planta y altamente significativas para rendimiento por unidad de superficie y por planta, número de frutos por unidad de superficie y peso medio de frutos. La interacción arreglo por pl/m no fue significativa para ninguna de las variables.

En lo referente a rendimiento por unidad de superficie y por planta (Cuadro 20), los arreglos de escalera y pirámide presentaron valores significativamente mayores que los arreglos de intercambio e imbricación cada 22 días, siendo que los dos primeros promediaron 26.3 kg m^{-2} y los segundos apenas 17.9 kg m^{-2} . Los

arreglos de escalera y pirámide también tuvieron mayor número de frutos por unidad de superficie; por ejemplo, el arreglo de escalera tuvo 47 frutos/m² más que el arreglo de imbricación cada 22 días que fue el que presentó el menor valor. También para número de frutos por planta, el arreglo de escalera fue significativamente mayor a los otros tres. Respecto al peso medio de frutos, los arreglos de escalera y pirámide no presentaron diferencias estadísticas entre si, pero fueron significativamente mayores que el arreglo de imbricación cada 22 días.

Cuadro 19. Cuadrados medios, estadísticos y niveles de significancia para variables de rendimiento y sus componentes por planta y por unidad de superficie en tratamientos conducidos a tres racimos.

Fuentes de variación	GL	Rendimiento (kg m ⁻²)		Frutos/m ²		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
Bloque	2	2.3	NS	196	NS	0.030	NS	1.54	*	238	NS
Arreglo	3	113.5	**	2283	**	1.068	**	28.333	**	977	**
Error a	6	5.4		114		0.010		0.21		112	
pl/m	1	48.8	**	5612	**	0.403	**	6.00	*	1140	**
Arreglo * pl/m	3	5.6	NS	160	NS	0.014	NS	0.33	NS	27	NS
Error b	8	2.5		218		0.005		0.62		38	
Total	23										
Media general		21.1		140		1.435		9.33		151	
CV		7.4		11		5.207		8.47		4	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo.
GL: grados de libertad. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 20. Comparación de medias de arreglos para variables de rendimiento y sus componentes por planta y por unidad de superficie en tratamientos conducidos a tres racimos.

Arreglo	Rendimiento (kg m ⁻²)		Frutos/m ²		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
Escalera	26.9	A	167	A	1.818	A	11.16	A	162	A
Pirámide	25.8	A	156	A	1.605	A	10.16	B	160	A
Intercambio	18.3	B	136	B	1.335	B	9.16	C	145	AB
Imbricación c/22 días	17.4	B	120	B	1.273	B	8.33	C	135	B
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	4.6		21		0.206		0.91		21	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Cuadro 21. Comparación de medias de pl/m para variables de rendimiento y sus componentes por planta y por unidad de superficie en tratamientos conducidos a tres racimos.

Número de plantas por metro de hilera	Rendimiento (kg m ⁻²)		Frutos/m ²		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
5	19.7	B	124	B	1.546	A	9.83	A	158	A
7	22.5	A	155	A	1.305	B	8.83	B	144	B
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	1.5		14		0.070		0.74		6	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

En el promedio de los arreglos, el rendimiento por unidad de superficie fue superior en 7 pl/m en cada hilera respecto 5 pl/m, pero para rendimiento por planta sucedió lo contrario, 5 pl/m resultó superior 7 pl/m y de manera similar ocurrió para número de frutos por unidad de superficie (Cuadro 21); mientras que para frutos por planta 5 pl/m superó a 7 pl/m. Las plantas en 5 pl/m presentaron mayor peso medio de frutos que las manejadas a 7 pl/m.

6.3.2. Comparación del rendimiento y sus componentes entre tratamientos manejados a tres racimos con el testigo de dosel uniforme.

En el Cuadro 22 se muestran las medias y pruebas de contrastes para los indicadores de rendimiento de cada uno de los tratamientos con el testigo que también estuvo manejado a tres racimos por planta.

Cuadro 22. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a tres racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de rendimiento y sus componentes.

Contraste	Rendimiento (kg m ⁻²)		Frutos/m ²		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
Escalera con 5										
pl/m vs	24.3	**	144	**	1.943	NS	11.66	NS	169	NS
Testigo										
Escalera con 7										
pl/m vs	29.6	**	189	**	1.693	NS	10.66	NS	156	NS
Testigo										
Pirámide con										
5 pl/m vs	20.1	**	121	**	1.856	NS	11.00	NS	166	NS
Testigo										

Continuación Cuadro 22...

Pirámide con										
7 pl/m vs	23.5	**	152	**	1.553	*	10.33	NS	154	NS
Testigo										
Intercambio										
con 5 pl/m vs	16.8	NS	108	NS	1.513	**	10.00	*	155	NS
Testigo										
Intercambio										
con 7 pl/m vs	17.9	*	132	**	1.156	**	8.33	**	135	**
Testigo										
Imbricación										
cada 22 días										
con 5 pl/m vs	17.5	*	125	**	0.946	**	6.66	**	140	NS
Testigo										
Imbricación										
cada 22 días										
con 7 pl/m vs	19.0	**	147	**	0.820	**	6.00	**	130	**
Testigo										
Testigo con										
dosel	13.8		86		1.810		11.33		159	
uniforme										

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo.

Para el rendimiento por unidad de superficie todos los tratamientos presentaron valores estadísticamente superiores respecto al testigo, a excepción del tratamiento de intercambio con 5 pl/m, que aunque fue superior al testigo en 18 %, no fue suficiente para mostrar diferencias significativas. En lo que respecta a número de frutos m^{-2} de invernadero, el comportamiento fue similar al de la variable anterior, ya que todos los tratamientos a excepción del de intercambio con 5 pl/m presentaron valores estadísticamente superiores en comparación con el testigo.

Para el rendimiento por planta los siguientes tratamientos mostraron valores estadísticamente menores que el del testigo: pirámide con 7 pl/m, intercambio con 5 pl/m, intercambio con 7 pl/m, imbricación cada 22 días con 5 pl/m e imbricación cada 22 días con 7 pl/m, con los siguientes porcentajes de disminución: 15, 16, 36, 48 y 55 %, respectivamente.

En el número de frutos por planta los tratamientos de intercambio con 5 pl/m, intercambio con 7 pl/m, imbricación cada 22 días con 5 pl/m e imbricación cada 22 días con 7 pl/m, presentaron valores estadísticamente inferiores al testigo.

En lo referente al peso medio de frutos sólo los tratamientos de intercambio con 7 pl/m e imbricación cada 22 días con 7 pl/m presentaron valores estadísticamente menores con el testigo, siendo para el primero de 15 % menos y para el segundo de 18 % menos.

Del Cuadro 22 se puede deducir que el tratamiento de escalera con 7 pl/m es mejor en rendimiento por unidad de superficie que el de 5 pl/m, ya que hubo una diferencia a favor del primero de 5 kg/m² más, siendo que el peso medio de fruto no se reduce de manera importante. Lo mismo ocurre entre pirámide con 5 pl/m y pirámide con 7 pl/m, ya que este último tuvo casi 3.5 kg/m² más que el primero, mientras que el peso medio de fruto sólo disminuyó en 12 g.

6.3.3. Comparación del rendimiento y sus componentes entre tratamientos a seis racimos con el testigo de dosel uniforme.

En el Cuadro 23 se muestran las medias y pruebas de contrastes para los indicadores de rendimiento de cada uno de los tratamientos con el testigo que también estuvo manejado a seis racimos por planta.

Cuadro 23. Contrastes entre cada uno de los tratamientos escaleriformes conducidos a seis racimos por planta y su testigo de dosel uniforme para indicadores de rendimiento y sus componentes.

Contraste	Rendimiento (kg m ⁻²)		Frutos/m ²		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
Imbricación cada 45 días con 5 pl/m vs Testigo	9.1	NS	77	NS	2.206	NS	18.66	**	118	**
Imbricación cada 45 días con 7 pl/m vs Testigo	12.0	NS	121	**	2.060	NS	21.00	**	99	**
Testigo con dosel uniforme	9.4		58		2.470		15.33		161	

*: significativo $\alpha = 0.05$. **: altamente significativo $\alpha = 0.01$. NS: no significativo.

En lo referente a rendimiento por unidad de superficie de los tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 pl/m e imbricación cada 45 días con 7 pl/m no presentaron diferencias significativas con el testigo. Para número de frutos por unidad de superficie sólo el tratamiento de imbricación cada 45 días con 7 pl/m presentó diferencias altamente significativas con el testigo.

Respecto al rendimiento por planta los tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 y 7 pl/m no presentaron diferencias significativas con el testigo. En cuanto al número de frutos por planta ambos tratamientos presentaron diferencias altamente significativas con el testigo, siendo sus valores superiores que el de este.

Para el peso medio de frutos los tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 y 7 pl/m tuvieron valores significativamente menores respecto al testigo.

6.3.4. Análisis comparativo del rendimiento y sus componentes entre hileras dentro de cada tratamiento.

6.3.5. Arreglo de escalera.

En el Cuadro 24 se muestran las comparaciones de medias para los indicadores de rendimiento por hilera (promedio de 5 y 7 pl/m) del arreglo de escalera con plantas despuntadas a tres racimos. En este arreglo las hileras de plantas están orientadas en dirección este-oeste; la hilera 1 es la inferior y está ubicada en el lado sur, mientras que la hilera cuatro es la superior; las hileras 2 y 3 ocupan los escalones intermedios.

Cuadro 24. Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de escalera con 5 y 7 plantas por metro.

Hilera	Rendimiento (kg m de hilera)		Frutos/m de hilera		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
1	7.8	A	57	B	1.314	A	9.55	B	138	A
2	6.8	A	54	B	1.143	A	9.04	B	127	A
3	7.8	A	60	B	1.333	A	10.19	B	130	A
4	8.8	A	70	A	1.476	A	11.69	A	126	A
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	2.7		9		0.505		1.19		36	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Para número de frutos por planta y, en consecuencia, por metro lineal de hilera, se encontró que la hilera 4 tuvo el valor mayor. Esto se puede explicar por el hecho de que la hilera 4 fue la que ocupó el nivel o escalón superior; por su posición estas plantas captaron mayor cantidad de radiación solar y produjeron más fotoasimilados que pudieron ser utilizados por las plantas para desarrollar mayor cantidad de frutos.

6.3.6. Arreglo de pirámide.

En el Cuadro 25 se muestran las comparaciones de medias para los indicadores de rendimiento por hilera (promedio de 5 y 7 pl/m) del arreglo de pirámide con plantas despuntadas a tres racimos. En este arreglo las hileras de plantas están orientadas en dirección norte-sur; las hileras 1 y 5 son las inferiores y están ubicadas en el lado este y oeste respectivamente; la hilera 3 es la que ocupa el escalón superior y está ubicada en el centro; las hileras 2 y 4 ocupan los escalones intermedios, estando la 2 del lado este y la 4 del lado oeste.

Cuadro 25. Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de pirámide con 5 y 7 plantas por metro.

Hilera	Rendimiento (kg m de hilera)		Frutos/m de hilera		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
1	7.5	A	53	B	1.255	A	8.89	B	142	A
2	7.1	A	55	B	1.197	A	9.26	AB	130	A
3	7.7	A	61	A	1.307	A	10.20	A	128	A
4	6.4	A	54	B	1.070	A	9.06	B	119	A
5	6.0	A	50	B	1.024	A	8.35	B	122	A
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	2.9		5		0.462		1.05		47	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Las plantas de la hilera 3, la cual se encontraba en la parte superior de la pirámide fueron las que dieron más frutos por metro lineal y por planta, debido a que la competencia que sufrieron fue menor respecto a las de las demás hileras. Las plantas que menos frutos dieron fueron las de la hilera 5, aunque no presentaron diferencias estadísticas con las de las hileras 1 y 4, ubicadas en los niveles más bajos del tratamiento.

6.3.7. Arreglo de intercambio cada 50 días.

En el Cuadro 26 se muestran las comparaciones de medias para los indicadores de rendimiento por hilera (promedio de 5 y 7 pl/m) del arreglo de intercambio cada 50 días con plantas despuntadas a tres racimos. En este arreglo la orientación de las hileras fue norte-sur. Las dos primeras hileras de plantas se trasplantaron en la parte central; 50 días después se trasplantaron dos hileras más, una a cada lado de las hileras centrales que ya contaban con 100 días de edad. 50 días después, una vez terminada la cosecha y arrancadas las plantas de las hileras centrales, se recorrieron las plantas de las hileras exteriores hacia el centro (quedando ahora como hileras centrales) y se trasplantaron dos hileras más, que quedaron como exteriores, y así sucesivamente.

Cabe aclarar que los datos del Cuadro 26 corresponden al promedio de las dos hileras que comprenden cada ciclo.

Se observa que las primeras y segundas hileras fueron las que otorgaron mayor rendimiento por metro lineal de hilera y por planta siendo las terceras y quintas las de más bajo rendimiento. Algo similar ocurrió para número de frutos. En lo que respecta a peso medio de fruto los mayores valores correspondieron a

las plantas de las primeras hileras aunque no tuvieron diferencias estadísticas con las segundas.

Cuadro 26. Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de intercambio con 5 y 7 plantas por metro.

Pares de hileras	Rendimiento (kg m de hilera)		Frutos/m de hilera		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
Primeras	9.0	A	56	B	1.527	A	9.50	B	161	A
Segundas	8.5	A	65	A	1.450	A	11.00	A	132	AB
Terceras	4.2	C	53	B	0.712	B	9.00	B	81	B
Cuartas	5.4	B	55	B	0.915	B	9.00	B	98	BC
Quintas	3.7	C	41	C	0.638	C	7.00	C	91	C
DMS (Tukey $P \leq 0.05$)	0.7		8		0.270		1.41		6038	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

6.3.8. Arreglo de imbricación cada 22 días.

En el Cuadro 27 se muestran las comparaciones de medias para los indicadores de rendimiento por hilera (promedio de 5 y 7 pl/m) del arreglo de imbricación cada 22 días con plantas despuntadas a tres racimos. En este arreglo la orientación de las hileras fue este-oeste. La primera hilera de plantas se trasplantó al lado norte, 22 días después se colocó la segunda hilera del lado sur, contigua y paralela a la primera, 22 días después se puso la tercera hilera contigua a la segunda en el lado sur y así sucesivamente.

Se observa que el rendimiento por planta y por metro lineal fue mucho mayor (más de 100 %) para las plantas de las hileras 1 y 2. Respecto a número de frutos por planta y por metro lineal de hilera también las hileras 1 y 2 presentaron los mayores valores pero en este caso no se alcanzaron diferencias significativas respecto a las hileras 6 y 8. En lo concerniente a peso medio de fruto la hilera 1 fue superior (173 g), aunque tuvo valores estadísticamente iguales con la hilera 2 (138 g).

Cuadro 27. Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de imbricación cada 22 días con 5 y 7 plantas por metro.

Hilera	Rendimiento (kg m de hilera)		Frutos/m de hilera		Rendimiento (kg/planta)		Frutos/planta		Peso medio de fruto (g)	
1	6.4	A	37	A	1.086	A	6.29	A	173	A
2	5.2	AB	38	A	0.876	AB	6.38	A	138	AB
3	3.1	BC	24	BC	0.511	BC	3.95	BC	131	B
4	2.0	C	25	BC	0.347	C	4.29	BC	80	C
5	1.6	C	23	BC	0.276	C	3.86	BC	70	C
6	2.9	C	28	AB	0.505	C	4.94	AB	99	BC
7	2.0	C	23	BC	0.343	C	3.82	BC	89	C
8	2.6	C	29	AB	0.437	C	4.92	AB	89	C
9	2.4	C	24	BC	0.399	C	3.96	BC	101	BC
10	1.7	C	17	C	0.288	C	2.84	C	101	BC
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	2.2		10		0.341		1.69		41	

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

6.3.9. Arreglos de imbricación cada 45 días.

En el Cuadro 28 se muestran las comparaciones de medias para los indicadores de rendimiento por hilera (promedio de 5 y 7 pl/m) del arreglo de imbricación cada 45 días con plantas despuntadas a seis racimos. En este arreglo la orientación de las hileras fue este-oeste. La primera hilera de plantas se trasplantó al lado norte, 45 días después se colocó la segunda hilera del lado sur, contigua y paralela a la primera, 45 días después se puso la tercera hilera contigua a la segunda en el lado sur y así sucesivamente.

Cuadro 28. Comparación de medias por hilera para variables de rendimiento y sus componentes en el promedio de tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 y 7 plantas por metro.

Hilera	Rendimiento (kg m de hilera)				Frutos/m de hilera				Rendimiento (kg/planta)				Frutos/planta				Peso medio de fruto (g)			
1	10.5	A	73	AB	1.792	A	12.31	AB	145	A										
2	8.7	A	85	A	1.474	AB	14.35	A	103	AB										
3	4.8	B	63	AB	0.784	B	10.41	BC	76	B										
4	4.2	B	46	BC	0.707	B	7.67	C	91	AB										
5	2.5	B	27	C	0.502	B	4.53	C	113	AB										
DMS (Tukey P ≤ 0.05)	2.9		28		0.808		2.98		59											

DMS: Diferencia mínima significativa. Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencia significativa.

Al igual que con el arreglo anterior, se observa que el rendimiento por planta y por metro lineal fue mucho mayor para las plantas de las hileras 1 y 2. También el número de frutos por planta y por metro lineal de hilera fue mayor en estas hileras. Respecto al peso medio de fruto la hilera 1 presentó el mayor valor (145 g), pero no mostró diferencias estadísticas con las hileras 2, 4 y 5.

VII. DISCUSIÓN GENERAL

7.1. Arreglos de plantación a tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el crecimiento.

En relación a las variables morfológicas, para arreglos conducidos a tres racimos por planta no se presentaron diferencias significativas en cuanto a altura de planta (Cuadro 7) dado que éstas se despuntaron dos hojas arriba del tercer racimo, lo que detuvo su crecimiento.

Los arreglos de escalera y pirámide produjeron plantas con menor diámetro de tallo que los de intercambio e imbricación cada 22 días, lo que se puede explicar por el hecho de que a los 120 dds los dos primeros (escalera y pirámide) ya disponían de cuatro hileras de plantas, sembradas en la misma fecha, mientras que en el de intercambio había dos hileras de plantas grandes y en el de imbricación sólo una hilera, y otra hilera de plantas de menor tamaño, debido a que en estos dos últimos arreglos las hileras se sembraron de manera desfasada; es decir, la competencia por luz entre las plantas en los arreglos de intercambio e imbricación cada 22 días era menor, razón por la cual pudieron desarrollar mayor grosor de tallo.

Sánchez (1998) comparó distintos arreglos y densidades y encontró que en arreglos con mayor sombreado y densidad de plantas se produjo una disminución en el diámetro de tallo, resultados que coinciden con las observaciones de Picken *et al.* (1986), quienes señalan que una menor incidencia de radiación en las plantas, ya sea por sombreado o mayor número de plantas, influye sobre el desarrollo del tallo, haciéndolo que se adelgace y alargue.

En el Cuadro 7 se observa que el número de hojas fue superior en los arreglos de escalera e imbricación cada 22 días, no existiendo diferencias estadísticas entre estos dos, los cuales al ser comparados con el testigo tampoco

presentan diferencias significativas (Cuadro 9). El tratamiento de imbricación presentó mayor área foliar por planta, sin diferir estadísticamente con la del arreglo de pirámide. Los datos indican que las hojas de las plantas con el arreglo de escalera eran más pequeñas, pero no se encontró una razón que explique dichas diferencias, por lo que se atribuyen a posibles errores en el conteo de las mismas.

A los 120 dds (Cuadro 9), los tratamientos de intercambio con 5 y 7 pl/m y de imbricación cada 22 días con 5 y 7 pl/m presentaron valores de diámetro de tallo significativamente mayores al testigo, lo cual se debe a que el testigo tenía todas sus hileras de plantas sembradas mientras que los tratamientos mencionados apenas contaban con las primeras hileras debido a su secuenciación, lo que provocó que las plantas de éstas pudieran desarrollarse mejor debido a que existía menos competencia por radiación fotosintéticamente activa (RFA).

Así mismo casi la totalidad de tratamientos tuvo mayor cantidad de área foliar que el testigo, aunque sólo el de pirámide con 5 pl/m presentó diferencias significativas y los de imbricación cada 22 días con 5 y 7 pl/m mostraron diferencias altamente significativas con respecto a dicho testigo.

En cuanto a indicadores de crecimiento a los 90 dds (Cuadro 12) los arreglos de escalera y pirámide presentaron mayor IAF que los de intercambio e imbricación cada 22 días, debido a que en los dos primeros había 4 y 5 hileras de plantas, respectivamente, mientras que en los segundos sólo había 2 hileras de plantas en ese momento, lo que indica una menor cantidad de plantas y por ende, menor superficie foliar respecto a la superficie de invernadero.

Los resultados coinciden con las observaciones hechas por Sánchez (1999) y Ucan (2005), donde el aumento de la densidad de plantas, dentro de ciertos límites, ocasionó una mayor superficie foliar en el dosel. Respecto al testigo de dosel uniforme manejado a tres racimos por planta el arreglo de pirámide con 7

pl/m tuvo mayor IAF (Cuadro 17), lo mismo que el de escalera con 7 pl/m de hilera, lo que se debe precisamente a la mayor densidad con que se manejaron estos tratamientos.

En los Cuadros 12 y 17 se observa que entre arreglos los valores de peso seco por planta son similares (incluyendo el testigo), a excepción del dosel en forma de escalera, el cual fue mayor, debido probablemente a que para el muestreo se tomaron plantas de la hilera superior, las cuales tenían menor competencia por RFA, ya que como lo señalan Gardner *et al.* (1986), hay una relación estrecha entre la interceptación de RFA por planta y su tasa de crecimiento.

La TCC presentó mayores valores para los arreglos de escalera y pirámide (Cuadro 12), los cuales, al disponer de todas sus hileras de plantas, tuvieron mayor IAF, valor del cual depende la TCC. La disposición de las hileras de plantas en forma de escalera y su orientación este-oeste seguramente mejoraron la distribución de la RFA en el dosel y en consecuencia se incrementó significativamente la TAN en dicho arreglo escaleriforme. Los arreglos de intercambio e imbricación cada 22 días tuvieron una TCC baja, pues a los 90 dds los arreglos no estaban completos y apenas se tenían algunas hileras de plantas sembradas, lo que ocasionó un IAF bajo. Como lo menciona Radford (1967), cuando el sombreado entre hojas es bajo entonces la eficiencia de las mismas medida como TAN se maximiza.

A los 120 dds se observa que los valores de IAF para los arreglos de escalera y pirámide presentaron un ligero aumento, que es entendible porque las plantas aún crecieron un poco, pero los arreglos de intercambio e imbricación cada 22 días tuvieron un aumento importante de su IAF debido a que se habían incorporado más hileras de plantas. La TCC de los arreglos de intercambio e imbricación cada 22 días aumentó con el incremento en el número de plantas por unidad de superficie, debido al trasplante de las hileras siguientes de plantas (Cuadro 15).

Para el caso de los tratamientos a seis racimos, a los 120 dds (Cuadro 10) se observa en el diámetro de tallo el mismo efecto, pues el arreglo de imbricación cada 45 días con 5 y 7 pl/m, tuvieron mayor valor que el testigo, por la razón ya mencionada de que las plantas de dichos tratamientos tenían menor competencia por nutrientes debida a las diferentes fechas de plantación de las hileras. También se observa que el tratamiento de imbricación cada 45 días con 5 pl/m tuvo 23 % más de área foliar que el testigo.

En el Cuadro 17, a los 120 dds se observa que aquellos tratamientos cuyas hileras se trasplantaron todas en la misma fecha el IAF es mucho mayor que el testigo, pero para los tratamientos con hileras desfasadas en el tiempo dicho índice fue semejante al del testigo, debido al menor número de plantas por unidad de superficie. Para el peso seco por planta sólo el tratamiento de escalera con 5 pl/m fue superior al testigo presentando diferencias altamente significativas, lo que como ya mencionamos pudo deberse a que se tomó para el muestreo una de las plantas de la hilera superior, siendo las de mayor desarrollo debido a la nula competencia por RFA.

En general los arreglos escaleriformes presentaron mayor TCC que el testigo, siendo únicamente los tratamientos de imbricación cada 22 días con 5 y 7 pl/m los que presentaron valores menores que el testigo, aunque no se indican diferencias estadísticas entre los datos.

En lo que corresponde a los dos tratamientos despuntados a seis racimos en arreglo de escalera se observa (Cuadro 18) que a los 120 dds no había diferencias estadísticas con el testigo en IAF y peso seco, aunque para TAN y TCC presentaron valores mucho menores en comparación con el testigo uniforme, lo que se explica por el menor número de plantas por unidad de superficie, dado que en el testigo todas las hileras se trasplantaron al mismo tiempo, mientras que en los tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 y 7 pl/m se sembró la

primera hilera al mismo tiempo que el testigo y la segunda hilera a los 45 días, y así sucesivamente; y siendo que la TCC depende del IAF, al ser este menor aquella disminuyó.

7.2. Arreglos de plantación a tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el rendimiento.

En el rendimiento por unidad de superficie se observa que para los distintos arreglos del dosel se presentaron valores similares, del orden de 17.4 a 26.9 kg m⁻², sin embargo los arreglos de intercambio e imbricación cada 22 días presentaron mayor número de frutos por unidad de superficie y menor peso medio de fruto (Cuadro 20). Cabe mencionar que los datos presentados son para el primer ciclo de producción, donde el arreglo de escalera constó de cuatro hileras y el de pirámide de cinco, todas sembradas al mismo tiempo; por su parte el arreglo de intercambio fueron dos pares de hileras sembradas a distintas fechas y el de imbricación cada 22 días consistió en cinco hileras desfasadas entre sí 22 días cada uno.

Claramente se puede observar que los arreglos con menor número de frutos por unidad de superficie presentaron mayor rendimiento por planta, lo cual se explica al observar el peso medio de fruto; es decir, los arreglos de intercambio e imbricación cada 22 días tuvieron más frutos por unidad de superficie, pero al ser estos de menor tamaño el rendimiento por planta fue menor, respecto a los tratamientos de escalera y pirámide (Cuadro 20).

7.3. Plantas por hilera en arreglos de tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el crecimiento.

Respecto a variables morfológicas, para número de plantas por metro de hilera (pl/m) se tuvo que 5 pl/m presentó diferencias significativas en cuanto a número de hojas y área foliar por planta respecto a 7 pl/m, siendo mayores los

valores en el primer caso (Cuadro 8). Estos valores se explican debido al menor número de plantas establecidas, lo que se tradujo en menor competencia por RFA entre las mismas, las cuales al tener menor competencia pueden producir más fotoasimilados por día y crecer más y más rápido, tal y como indican Gardner *et al.* (1986).

Para altura de planta y diámetro de tallo no se observaron diferencias significativas entre 5 y 7 pl/m, lo que se puede explicar porque todas las plantas fueron despuntadas a tres racimos, de manera que su desarrollo se detuvo.

El área foliar está condicionada por el tamaño y número de hojas; la mayor área foliar de 5 pl/m se puede explicar porque existió un mayor número de hojas en dicha densidad. Gardner *et al.* (1986) mencionan que con deficiencia de RFA, como ocurre en 7 pl/m, las plantas tienden a etiolarse debido al sombreado entre ellas, lo que provoca entrenudos largos así como hojas más pequeñas y menor número de éstas.

Los resultados de indicadores de crecimiento para 90 dds (Cuadro 13) muestran que el mayor número de plantas por metro de hilera (7 pl/m) presentó un IAF 28 % mayor en comparación con el menor número de plantas por metro de hilera (5 pl/m), lo cual se explica por el aumento en el número de plantas establecidas, con lo cual la superficie foliar fue mayor. Así también la TCC fue 32 % mayor en 7 pl/m que en 5 pl/m, lo que también se explica por la mayor cantidad de plantas por unidad de superficie, ya que la TCC es un parámetro que depende del IAF y de la eficiencia de las hojas (TAN), según lo menciona Radford (1967), lo que indica que a mayor número de plantas tendremos mayor TCC, la cual como ya se mencionó fue superior en 7 pl/m.

El peso seco por planta no se vio afectado por el aumento en el número de plantas por hilera, lo que a su vez explica que la TAN tampoco haya presentado diferencias significativas entre 5 y 7 pl/m, pues la TAN depende del peso seco y el

área foliar, y aunque para esta última existieron diferencias significativas, la alta DMS para TAN impidió que se presentaran diferencias estadísticas.

A los 120 dds (Cuadro 16) se observa que el IAF sigue siendo mayor para 7 pl/m, aunque el peso seco por planta es un 15 % menor en comparación con 5 pl/m, razón por la cual la TAN y la TCC no presentaron diferencias estadísticas entre 5 y 7 pl/m. Esto concuerda con lo obtenido por autores como Gardner *et al.* (1990) y Papadopoulos y Parashingham (1997), quienes mencionan que usar un mayor número de plantas por unidad de superficie, desde temprano en el ciclo del cultivo se obtienen valores altos de IAF, lo que permite aprovechar mejor la RFA incidente en el dosel y por ende, lograr mayor producción de materia seca por unidad de superficie.

En el Cuadro 22 se observa que todos los tratamientos escaleriformes despuntados a tres racimos presentaron mayor rendimiento por unidad de superficie respecto al testigo homogéneo, aunque para el caso de escalera con 5 pl/m, pirámide con 5 pl/m e imbricación cada 22 días con 5 pl/m no existieron diferencias significativas con el testigo. El mejor tratamiento fue el de intercambio con 7 pl/m, que tuvo 25 % de mayor producción que el testigo, siguiéndole el de escalera con 7 pl/m con 22 %.

Los tratamientos con mayor número de frutos por unidad de superficie tuvieron menor peso medio de fruto, lo que equilibra el rendimiento por unidad de superficie. El tratamiento de escalera con 5 pl/m tuvo mayor rendimiento por planta con 2.253 kg, que representa 15 % más que el testigo.

Para los tratamientos despuntados a seis racimos (Cuadro 23) se observa que para imbricación cada 45 días con 7 pl/m, el rendimiento por unidad de superficie fue un 28 % superior respecto al testigo, pero aún así no alcanzaron a presentarse diferencias significativas. El mismo tratamiento tuvo más frutos por

unidad de superficie que el testigo, con un rendimiento por planta semejante aunque mayor número de frutos por planta.

7.4. Plantas por hilera en arreglos de tres y seis racimos por planta: variables relacionadas con el rendimiento.

En el Cuadro 21 se observa que 7 pl/m presentó 14 % mayor rendimiento por unidad de superficie y 25 % mayor número de frutos por unidad de superficie que 5 pl/m; sin embargo, el rendimiento por planta y el número de frutos por planta fue mucho mejor para 5 pl/m, con 1.546 kg y 9.833 respectivamente, siendo que 7 pl/m tuvo 1.305 kg y 8.83 respectivamente. También se observa que el menor número de plantas por metro de hilera (5 pl/m) presentó un peso medio de fruto de 158 g, cuando el valor de 7 pl/m fue de sólo 144, lo que indica una disminución del 10 %.

Estos resultados son acordes a los reportados por Ponce (1995), Sánchez (1999) y Ucan (2005), quienes indicaron que al incrementar el número de plantas establecidas se incrementó significativamente el rendimiento. Así mismo, Cancino *et al.* (1990), evaluaron dos densidades, donde observaron que el rendimiento por planta disminuyó a mayor número de plantas, aunque esto se vio compensado por el número de plantas, lo que al final significa que el mayor número de plantas tuvo un mayor rendimiento por unidad de superficie.

De esta manera queda claro que el mayor rendimiento por unidad de superficie obtenido con 7 pl/m de hilera se debió al mayor número de frutos, pues el aumento en el número de plantas contrarrestó que cada planta tuvo menos frutos y que estos fueran de menor tamaño.

Esto es congruente con lo reportado por Papadopoulos y Parashingham (1997), quienes encontraron que a mayor número de plantas se genera una mayor

biomasa, que está asociada a un mayor IAF, el cual a su vez intercepta mayor cantidad de RFA y en consecuencia hay un mayor rendimiento de frutos.

De la misma manera Cockshull y Ho (1995) observaron que un mayor número de plantas producen mayor cantidad de frutos, debido a que se tiene un IAF más alto que intercepta mayor cantidad de radiación solar incidente, pero existe un límite en el cual tener densidades altas puede limitar el tamaño del fruto, debido a que con más plantas en el mismo espacio, a cada una le toca menos radiación por unidad de tiempo, lo que se traduce en menor tasa de fotosíntesis por planta.

7.5. Hileras de plantas dentro de cada tratamiento, variables relacionadas con el rendimiento.

Las comparaciones entre medias de hileras para los tratamientos de escalera con 5 y 7 pl/m muestran que para la variable de número de frutos por metro de hilera, la hilera 4 fue la mejor de todas, lo cual se explica porque fue la hilera superior y las plantas no sufrieron sombreamiento por otras plantas, dado que la RFA las alcanzó por todos lados, de modo que captaron la mayor cantidad de fotoasimilados que se tradujeron en mayor número de frutos, sin que la calidad de estos de viera afectada (Cuadro 24); es decir, por el lado norte no tenía ninguna competencia y por el lado sur la hilera adyacente se encontraba un nivel por abajo, por lo que su ubicación era ideal para aprovechar al máximo la luz solar.

En lo referente a los tratamientos de pirámide con 5 y 7 pl/m ocurrió algo semejante que con los tratamientos de escalera, pues la hilera 3 presentó los mayores valores, respecto a número de frutos por metro de hilera, la cual fue la hilera superior de los tratamientos, de modo que se puede explicar porque fue la hilera donde las plantas no sufrieron sombreamiento y pudieron captar la mayor cantidad posible de fotoasimilados (Cuadro 25). En el caso de la hilera 3 está se

ubicaba al centro del tratamiento, siendo que las hileras adyacentes, la 2 y 4, se ubicaban un nivel por debajo de la 3, por lo que esta se ubicó en una posición idónea para aprovechar al máximo la luz solar incidente.

Para los tratamientos de intercambio con 5 y 7 pl/m se observa que los dos primeros pares de hileras presentaron mayor rendimiento por metro de hilera y por planta, lo que es entendible dado que fueron las que menos competencia por RFA tuvieron. Para las hileras 3, 4 y 5 el peso medio de frutos descendió considerablemente a pesar que el número de frutos por planta y por metro de hilera se mantuvieron relativamente homogéneos (Cuadro 26). Esto nos indica que conforme aumentan las hileras aumenta el número de plantas por unidad de superficie del tratamiento, lo que implica un aumento en la presión de densidad, que se traduce en mayor estrés para las plantas por la mayor competencia entre las mismas.

Acerca de los tratamientos de imbricación cada 22 días con 5 y 7 pl/m (Cuadro 27) se observa que las dos primeras hileras fueron superiores en prácticamente todas las variables, en parte debido a que al ser las primeras hileras la competencia por RFA fue mínima y también debido a que por un periodo de tiempo de aproximadamente una semana las plantas no fueron atendidas correctamente, debido a cuestiones ajenas al proyecto y relacionadas con cuestiones sindicales y laborales de la universidad, lo que impidió el acceso a las instalaciones donde se llevaba a cabo la investigación, lo cual explica la baja de productividad observada a partir de las hileras 4 y 5 de dichos tratamientos.

Para los tratamientos de imbricación cada 45 días con 5 y 7 pl/m (Cuadro 28), también se observa que las dos primeras hileras fueron las que destacaron en todas las variables, pues al ser las primeras la competencia por fotoasimilados fue casi inexistente, siendo que cuando todo el tratamiento se completó la competencia aumentó drásticamente.

Además se realizaron unas pruebas de contrastes entre tratamientos semejantes, como lo son escalera con 5 pl/m y 7 pl/m, para determinar cuál de los dos resultó mejor, realizando así una comparación directa entre ambos que nos indique si el mayor número de plantas por metro de hilera resulta en un mayor rendimiento, sin que el peso medio de fruto se vea afectado considerablemente.

Al analizar los datos se tiene que el tratamiento de escalera con 5 pl/m rindió 24.3 kg m^{-2} y 144 frutos/m^2 , mientras que el de escalera con 7 pl/m rindió 29.7 kg m^{-2} y 189 frutos/m^2 , esto implica una diferencia favorable para este último de 5.4 kg y 45 frutos . Mientras tanto, se observa que el peso medio de frutos para 5 pl/m es de 169 g y para 7 pl/m es de 156 g , es decir, se tienen una diferencia de apenas 13 g por fruto.

Considerando los datos anteriores es recomendable trabajar con 7 pl/m, ya que el rendimiento y número de frutos por unidad de superficie es considerablemente mayor, siendo que el peso de frutos no se ve afectado significativamente; por ende, es posible obtener un mayor rendimiento y mayores ganancias utilizando el tratamiento de escalera con 7 pl/m.

De igual manera se corrió una prueba de contrastes entre los tratamiento de pirámide con 5 pl/m y pirámide con 7 pl/m, para compararlos directamente. Se obtuvieron resultados semejantes a los ocurridos con los tratamientos de escalera. En este caso pirámide con 5 pl/m tuvo 15% menos de rendimiento por unidad de superficie respecto a 7 pl/m (20.1 kg m^{-2} contra 23.5 kg m^{-2}).

Para número de frutos por unidad de superficie, 7 pl/m fue superior que 5 pl/m en 20% (152 frutos/m^2 contra 121 frutos/m^2). Si consideramos que el peso medio de fruto para 7 pl/m disminuyó sólo en 8% respecto a 5 pl/m, entonces podemos concluir que es mejor el tratamiento de pirámide con 7 pl/m, dado que el aumento en rendimiento y número de frutos por unidad de superficie es significativo, siendo que la disminución en peso medio de fruto no lo es, lo que

implica aumentar la producción sin ver disminuida considerablemente la cantidad de los frutos.

VIII. CONCLUSIONES

En base a las hipótesis planteadas y las condiciones en las que se llevó a cabo el experimento se puede concluir lo siguiente:

- Las plantas con disposición en forma de escalera (doseles escaleriformes) despuntadas a tres racimos rindieron significativamente más por unidad de superficie, comparadas con las plantas en disposición comercial también a tres racimos (doseles uniformes).
- El mayor rendimiento por unidad de superficie obtenido en los doseles escaleriformes despuntados a tres racimos se debió a la cosecha de un mayor número de frutos por unidad de superficie, relacionado directamente con un mayor índice de área foliar.
- La densidad alta ($7 \text{ pl} \cdot \text{m}^{-1}$) permitió obtener mayor rendimiento y número de frutos por unidad de superficie en los tratamientos a 3 racimos ($93.546 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ y $797.29 \text{ frutos} \cdot \text{m}^{-2}$ respectivamente).
- El aumento en la densidad si influyó en el rendimiento por planta, pues la densidad baja ($5 \text{ pl} \cdot \text{m}^{-1}$) presentó mayor rendimiento y número de frutos por planta ($1.361 \text{ kg} \cdot \text{pl}^{-1}$ y $10.800 \text{ frutos} \cdot \text{pl}^{-1}$ respectivamente), así como mayor peso medio de frutos (125.041 g).
- Los tratamientos en doseles escaleriformes despuntados a seis racimos no mostraron diferencias significativas con el testigo, lo que nos dice que los doseles escaleriformes deben ser implementados a la par de despuntes tempranos y elevadas densidades de población.

IX. LITERATURA CITADA

- AGROPECUARIOS. 2011.** Jitomate [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de noviembre del 2011]. <http://webkreator.com.mx/enlaces/jitomate.html>
- ATHERTON, J. G.; HARRIS G. P. 1986.** Flowering, pp. 167-200. *In*: The Tomato Crop. ATHERTON, J. G.; J. R. RUDICH (eds.). Chapman and Hall. Londres, Inglaterra.
- BALDERAS R., F. 2003.** Uso de Cycogel y Paclobutrazol en la Producción de Jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en Doseles Escaleriformes bajo Invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- BARRÓN, A.; SIFUENTES O., E. L.; HERNÁNDEZ T., J. M. 2002.** Apertura económica en las frutas y hortalizas de exportación en México: un acercamiento al estudio de la segmentación de los mercados de fuerza de trabajo. Universidad Autónoma de Nayarit. Nayarit, México. 232 p.
- BASTIDA T., A. 2006.** Manejo y Operación de Invernaderos Agrícolas. Serie de Publicaciones Agribot, Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 238 p.
- BASTIDA T., A. 2011.** Los Invernaderos y la Agricultura Protegida en México. Serie de Publicaciones Agribot, Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 415 p.
- CANCINO B., j; SÁNCHEZ DEL C., F.; ESPINOSA R., P. 2001.** Efecto del despunte y densidad de población en dos variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía bajo invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura 73-74:26.30.
- CASTRO B., R. 1992.** Respuesta a la Aplicación de B-9 y Tipo de Poda en el Cultivo de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), en Altas Densidades de Población bajo Invernadero en Sistema Hidropónico. Tesis Profesional, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 117 p.

- CRUZ A., E. L. 2003.** Densidades de Población y Altura entre Tinas en Dosel Escaleriforme de Jitomate en Hidroponía. Tesis de Maestría en Ciencias, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 101 p.
- DOMÍNGUEZ S., S. 1973.** Apuntes Fisiología Vegetal. Departamento de Fitotecnia, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 58 p.
- ECONOMISTA. 2011.** Jitomates, un éxito agrícola en México [en línea]. México [fecha de consulta: 10 de noviembre del 2011]. <http://eleconomista.com.mx/industrias/2010/06/17/jitomates-exito-agricola-mexico>
- FAO. 2011.** Final 2009 Data [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de noviembre del 2011]. <http://faostat.fao.org>
- FINANCIERA RURAL 2011.** Monografía Tomate Rojo (Jitomate) [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de noviembre del 2011]. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/MONOGRAFIA%20JITOMATE.pdf>
- GARDNER, F. O.; PEARCE, R. B.; MITCHEL, R. L. 1990.** Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Iowa, Estados Unidos de América. 327 p.
- GARZA L., J. 1985.** Las Hortalizas Cultivadas en México, Características Botánicas. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 74 p.
- GUENKOV, G. 1974.** Fundamentos de Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 350 p.
- HANAN, J. J. 1998.** Greenhouses Advanced Technology for Protected Agriculture. Ed. CRC Press. Boca Raton, Florida. USA. 648 p.
- HERNÁNDEZ S., Q. 2003.** Producción de Jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Doseles Escaleriformes Comparando Tres Sustratos y Dos Intervalos de Riego. Tesis de Maestría en Ciencias, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 74 p.

- HUNT, R. 1990.** Basis Growth Analysis. Academic Press. Londres, Inglaterra. 112 p.
- JIMÉNEZ B., J. L. 2007.** Horticultura Protegida: Tecnologías para Cultivos de Alto Valor Comercial. Universidad UNIVER Culiacán. Culiacán, México. 285 p.
- JORGE S., M. 1999.** Densidades, Arreglos de Plantación y Niveles de Despunte en Jitomate Cultivado en Hidroponía Bajo Invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 98 p.
- KINET, J. M. 1977.** Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae* 6:27-35.
- LEÓN G., H. M. 2001.** Manual para el Cultivo de Tomate en Invernadero. Gobierno del Estado de Chihuahua. Chihuahua, México. 239 p.
- LINK-AGRO, 2011.** Semillas de tomate indeterminado [en línea]. México [fecha de consulta: 10 de noviembre del 2011]. <http://www.link-agro.com/component/content/article/34-importadora-alaska/241-semillas-de-tomate-indeterminado>
- MAROTO B., J. V. 1986.** Horticultura Herbácea Especial. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 589 p.
- 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, México. 136 p.
- MÉNDEZ G., T.; SÁNCHEZ DEL C., F. 2005.** Doseles Escaleriformes de Jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) Orientadas en Dirección Este-Oeste. Revista Chapingo: Serie Horticultura 11(1):185-192.
- MIRANDA V., I.; GIL V., I.; BASTIDA T., A.; REYES R., D. S.; HERNÁNDEZ O., J.; MORALES P., J.; FLORES E., G. 2004.** Manejo de Cultivos Hidropónicos Bajo Invernadero. Serie de Publicaciones Agribot,

- Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 225 p.
- MONTES M., J. 1977.** Componentes del Rendimiento y Parámetros Fisiológicos de Cuatro Variedades de Haba (*Vicia faba* L.). Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 152 p.
- MORA A., R. 1998.** Dinámica del Crecimiento y Productividad de *Solanum tuberosum* L. Bajo Temporal. Tesis de Doctor en Ciencias IRGP, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 108 p.
- MUÑOZ, M. 1995.** Desarrollo de Ventajas Competitivas en la Agricultura: el Caso del Tomate Rojo. CIESTAAM-SAGAR. Chapingo, México. 120 p.
- NUEZ, F. 2001.** El Cultivo del Tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- PAPADOPOULUS, A. P.; PARARAJASINGHAM, S. 1997.** The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): A review. Scientia Horticulturae 69: 1-29
- PÉREZ N., J. 1987.** Análisis de Crecimiento de Cuatro Genotipos de Girasol (*Helianthus annus* L.) y su Relación con el Rendimiento Económico. Tesis profesional, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 110 p.
- PÉREZ G., J.; L. MARTÍNEZ. 1994.** Introducción a la Fisiología Vegetal. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 147 p.
- PICKEN A., J. F. 1984.** A review of pollination and fruit set in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Journal of Horticultural Science 59(1): 1223-1240.
- PONCE O., J. 1998.** Efecto de las Modificaciones al Ambiente y a la Relación Fuente-Demanda sobre la Floración de Jitomate. Tesis de Maestría en Ciencias, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 70 p.
- RADFORD P., J. 1967.** Growth analysis formule: their use and abuse. Crop Sci. 7(1):171-175.

- RESH, H. M. 2002.** Cultivos Hidropónicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 369 p.
- RODRÍGUEZ R., R.; J. M. TABARES R.; J. A. MEDINA S. J. 1989.** Cultivo Moderno del Tomate. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; CORONA S., T. 1994.** Evaluación de cuatro variedades de jitomate bajo un sistema hidropónico a base de despuntes y altas densidades. Revista Chapingo. Serie Horticultura 1(2): 109-114.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; P. ESPINOSA R., E. ESCALANTE R. 1991.** Producción superintensiva de jitomate en hidroponía bajo invernadero: avances de investigación. Revista Chapingo 78:62-68.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; J. PONCE O. 1998.** Proyecto de Producción de Hortalizas en Hidroponía bajo Invernadero en el Valle de San Fernando, San Luis Potosí. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 108 p.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; ORTIZ C., J.; MENDOSA C., C.; GONZÁLEZ H., V.; COLINAS L., M. T. 1999.** Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Agrociencia 33(1): 21-29.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; JORGE S., M., 2003.** Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. Fitotecnia Mexicana 26(4):257-262.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; MORENO P., E. DEL C.; CRUZ A., E. L. 2009.** Producción de jitomate hidropónico bajo invernadero en un sistema de dosel en forma de escalera. Revista Chapingo, Serie Horticultura 15(1):67-73.
- SÁNCHEZ DEL C., F.; MORENO P., E. DEL C.; COATZIN R., R.; COLINAS L., M T. 2010.** Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción de híbridos de jitomate. Revista Chapingo, Serie Horticultura 16(3):207-214.
- SCHWENTESIUS R., R.; GÓMEZ C., M. A. 2000.** Internacionalización de la Horticultura. Editorial Mundi-Prensa-Universidad Autónoma Chapingo. México. 200 p.

- SEMINIS, 2011.** Pik Ripe 461 [en línea]. México [fecha de consulta: 10 de noviembre del 2011]. <http://www.gowansemillas.com.mx/productosd.php?producto=50&idioma=3&categoria=19>
- SIAP. 2011.** Datos estadísticos [en línea]. México [fecha de consulta: 10 de noviembre del 2011]. <http://www.siap.gob.mx/>
- SIVORI M., E.; E. MONTALDI R. 1980.** Fisiología Vegetal. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 157 p.
- UCÁN CH., I.; SÁNCHEZ DEL C., F.; CORONA S., T.; CONTRERAS M., E. 2005.** Efecto del Manejo de Relaciones Fuente-Demanda Sobre el Tamaño de Fruto de Jitomate. Fitotecnia Mexicana 28(1): 33-38.
- VÁZQUEZ R., J. C.; SÁNCHEZ DEL C., F.; MORENO P., E. DEL C. 2007.** Producción de Jitomate en Doseles Escaleriformes bajo Invernadero. Revista Chapingo, Serie Horticultura 13(1):55-62.
- WAREING P., F.; D. PHILLIPS J. 1978.** The Control of Growth and Differentiation in Plants. Pergamon Press Oxford. New York. 347 p.