



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

**INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**MODIFICACIONES DE LA RELACIÓN FUENTE DEMANDA PARA  
INCREMENTAR EL AMARRE DE FRUTOS EN PIMIENTO MORRÓN**

**T E S I S**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**Presenta:**

**FELIPE DE JESÚS MARTÍNEZ GASPAR**

**Bajo la supervisión de: DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO**



**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
SECRETARÍA DE SERVICIOS ESCOLARES  
DIRECCIÓN DE EXÁMENES PROFESIONALES**



**Instituto de Horticultura**

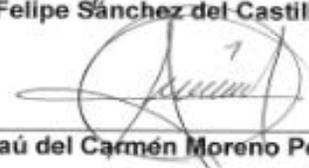
**Chapingo, Estado de México, junio de 2017.**

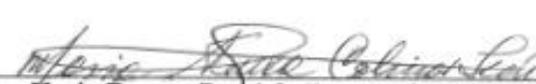
**MODIFICACIONES DE LA RELACIÓN FUENTE DEMANDA  
PARA INCREMENTAR EL AMARRE DE FRUTOS EN  
PIMIENTO MORRÓN**

Tesis realizada por **Felipe de Jesús Martínez Gaspar** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

DIRECTOR:   
\_\_\_\_\_  
**Dr. Felipe Sánchez del Castillo**

ASESOR:   
\_\_\_\_\_  
**Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez**

ASESORA:   
\_\_\_\_\_  
**Dra. María Teresa Beryl Colinas León**

ASESOR:   
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Armando Ramírez Arias**

LECTOR EXTERNO:   
\_\_\_\_\_  
**Dra. Lucila González Molina**

Chapingo, México, Junio de 2017.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para la realización de mis estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de continuar con mis estudios de posgrado y continuar con mi formación académica para adquirir nuevos conocimientos.

Al Dr. Felipe Sánchez del Castillo, por la dirección del presente trabajo de investigación, consejos, disposición y sus importantes aportaciones realizadas para el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez, por el apoyo brindado y sus aportaciones para la realización de este trabajo.

A la Dra. María Teresa Beryl Colinas León, por su tiempo dedicado, amabilidad y sugerencias realizadas.

Al Dr. José Armando Ramírez Arias, por su atención y tiempo para explicar de manera sencilla los conceptos de la horticultura.

Al Ing. Ignacio Salazar y al Sr. Javier Montaña, por su apoyo durante la fase experimental del cultivo en el invernadero.

Al Biol. José Cutberto Vázquez Rodríguez por el apoyo brindado en el laboratorio de ecología.

A los profesores del programa del Doctorado en Ciencias en Horticultura que de manera amable me brindaron sus conocimientos y experiencia.

## **DEDICATORIA**

A mis padres que son la base fundamental de lo que soy, Jorge Arturo y Lupita por su invaluable apoyo, consejos, paciencia y comprensión.

A mi esposa Iris Lucero por su amor y siempre apoyarme.

A mi hermano Jorge Ramón y Karo, a mi sobrino Dante Paolo, que han estado siempre allí para impulsarme y motivarme a seguir adelante.

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

Felipe de Jesús Martínez Gaspar nació en Querétaro, Querétaro el día 2 de Julio de 1979. Hijo de Jorge Arturo Martínez García y Ma. Guadalupe Gaspar. Obtuvo el título de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía en el Instituto Tecnológico Agropecuario No. 33 (ITA 33) en el año 2007. Realizó su estancia profesional de licenciatura en el CINVESTAV – IPN unidad Irapuato en el Laboratorio de Microbiología Ambiental. Ha laborado en invernaderos hidropónicos de alta tecnología con producción de lechuga. Hizo su Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la UACH (Universidad Autónoma de Chihuahua) obteniendo el grado de Maestro en Ciencias en el año 2012. Ha colaborado como prestador de servicios profesionales en el Campo Experimental Bajío – INIFAP en el departamento de semillas. En enero de 2013 ingreso al Doctorado en Ciencias en Horticultura por el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

# ÍNDICE

	Pág.
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b> .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS GENERALES</b> .....	9
<b>III. HIPÓTESIS GENERALES</b> .....	10
<b>IV. EXPERIMENTO I: PODA SELECTIVA DE FLORES EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN DESPUNTADAS POR ARRIBA DE LA CUARTA BIFURCACIÓN DEL TALLO</b> .....	
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Materiales y Métodos.....	18
Resultados y Discusión.....	26
Conclusiones.....	35
<b>V. EXPERIMENTO II: EFECTO DE LA DISPOSICIÓN DE HILERAS DE PLANTAS EN LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE PIMIENTO MORRÓN</b> .....	
Resumen.....	36
Abstract.....	37
Introducción.....	38
Materiales y Métodos.....	43
Resultados y Discusión.....	50
Conclusiones.....	63
<b>VI. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE PLANTAS Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN PIMIENTO MORRÓN</b> .....	
Introducción.....	64
Materiales y Métodos.....	66
Resultados y Discusión.....	69
<b>VII. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	89
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	90

## ÍNDICE DE CUADROS

### IV. EXPERIMENTO I: PODA SELECTIVA DE FLORES EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN DESPUNTADAS POR ARRIBA DE LA CUARTA BIFURCACIÓN DEL TALLO

Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables indicadoras de crecimiento en cuatro variedades de pimiento morrón con cinco tratamientos de poda de flores.....	26
Cuadro 2. Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables de rendimiento en cuatro variedades de pimiento con cinco tratamientos de poda de flores.....	27
Cuadro 3. Comparación de medias de cuatro variedades de pimiento morrón para variables indicadoras de crecimiento.....	28
Cuadro 4. Comparación de medias de cuatro variedades de pimiento morrón para variables de rendimiento.....	29
Cuadro 5. Comparación de medias de cinco tipos de poda selectiva de flores para variables indicadoras de crecimiento de pimiento.....	31
Cuadro 6. Comparación de medias de cinco tipos de poda selectiva de flores para variables de rendimiento de pimiento.....	34

## V. EXPERIMENTO II: EFECTO DE LA DISPOSICIÓN DE HILERAS DE PLANTAS EN LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE PIMIENTO MORRÓN

Cuadro 7. Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables de rendimiento y sus componentes, estudiadas en pimiento morrón en función de la disposición de las plantas.....	50
Cuadro 8. Comparación de medias para las variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón en función de la disposición de plantas.	51
Cuadro 9. Comparación de medias de las densidades, para las variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón.....	52
Cuadro 10. Comparación de medias para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón en función de la disposición de las plantas y su densidad de población.....	55
Cuadro 11. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel en forma de escalera a 6 plantas $m^{-2}$ .....	58
Cuadro 12. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel en forma de escalera a 8 plantas $m^{-2}$ .....	59
Cuadro 13. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel uniforme a 6 plantas $m^{-2}$ .....	61
Cuadro 14. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel uniforme a 8 plantas $m^{-2}$ .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

### IV. EXPERIMENTO I: PODA SELECTIVA DE FLORES EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN DESPUNTADAS POR ARRIBA DE LA CUARTA BIFURCACIÓN DEL TALLO

Figura 1. Esquema que representa el crecimiento simpódico y la morfología final del pimiento morrón con despunte por encima de la cuarta bifurcación.....	3
Figura 2. Invernadero tipo capilla con control de clima.....	18
Figura 3. Testigo sin poda.....	22
Figura 4. Remoción de flores 1, 2 y 3.....	22
Figura 5. Remoción de flores 4, 5, 6 y 7.....	23
Figura 6. Remoción de flores 1, 4 y 7.....	23
Figura 7. Remoción de flores 1, 10 y 13.....	24

## V. EXPERIMENTO II: EFECTO DE LA DISPOSICIÓN DE HILERAS DE PLANTAS EN LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE PIMIENTO MORRÓN

Figura 8. Disposición de tres hileras de plantas de pimiento en forma de escalera.....	45
Figura 9. Disposición de cuatro hileras de plantas de pimiento en forma de escalera.....	46
Figura 10. Disposición de tres hileras de plantas de pimiento a una misma altura.....	47
Figura 11. Disposición de cuatro hileras de plantas de pimiento a una misma altura.....	48

## **VI. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE PLANTAS Y DENSIDAD DE POBLACION EN PIMIENTO MORRÓN**

Figura 12. Dinámica de crecimiento en altura de plantas a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	71
Figura 13. Ajuste de los datos de altura de planta a rectas de regresión lineal a lo largo del ciclo desde el trasplante hasta 105 días en los diferentes tratamientos.....	72
Figura 14. Dinámica de crecimiento en grosor del tallo a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	74
Figura 15. Ajuste de los datos de grosor del tallo a rectas de regresión lineal a lo largo del ciclo desde el trasplante hasta fin de cosecha en los diferentes tratamientos.....	75
Figura 16. Dinámica de crecimiento del área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	77
Figura 17. Ajuste de los datos de crecimiento del área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante hasta fin de cosecha a líneas sigmoides en los diferentes tratamientos.....	78
Figura 18. Dinámica de crecimiento del índice de área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	80
Figura 19. Ajuste de los datos de crecimiento del índice de área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante hasta fin de cosecha a líneas sigmoides en los diferentes tratamientos.....	81

Figura 20. Dinámica de crecimiento del peso seco por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	83
Figura 21. Dinámica de crecimiento del peso seco por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	83
Figura 22. Ajuste de los datos de crecimiento del peso seco por planta a lo largo del ciclo de trasplante hasta fin de cosecha a curvas polinómicas de tercer grado en los diferentes tratamientos.....	84
Figura 23. Comportamiento de la tasa media de asimilación neta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	86
Figura 24. Comportamiento de la tasa media de crecimiento del cultivo a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	88
Figura 25. Comportamiento del índice de cosecha en dos arreglos de dosel y dos densidades de población.....	89

# MODIFICACIONES DE LA RELACIÓN FUENTE DEMANDA PARA INCREMENTAR EL AMARRE DE FRUTOS EN PIMIENTO MORRÓN

## Modifications of source-sink relationships to increase fruit set in bell pepper

Felipe de Jesús Martínez Gaspar<sup>1</sup>; Felipe Sánchez del Castillo<sup>2</sup>

### RESUMEN

Con el objetivo de incrementar el amarre de frutos en plantas de pimiento morrón despuntadas por encima de la cuarta bifurcación de los tallos, se realizaron dos experimentos para modificar las relaciones fuente demanda en favor de un mayor amarre de frutos. En el primero, cuatro variedades se sometieron a cinco tratamientos de poda selectiva de flores buscando disminuir la fuerza de demanda y favorecer el amarre de los restantes. Se utilizó un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con cinco repeticiones. La remoción de las tres primeras flores formadas o la de las cuatro flores de la tercera bifurcación produjo un mayor número de frutos amarrados por planta pero no se incrementó el rendimiento debido a un menor peso medio por fruto. Ninguna variedad amarró más frutos, pero 'Godzilla' rindió más (1.62 kg por planta) por su mayor peso por fruto (206 g por fruto). En un segundo experimento se buscó incrementar la capacidad de la fuente mejorando la intercepción de radiación fotosintéticamente activa mediante la disposición de las plantas para formar un dosel escaleriforme contra un testigo en dosel uniforme convencional, ambas manejadas en dos densidades de población (6 y 8 plantas m<sup>-2</sup>). Se usó un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas y cuatro repeticiones. El dosel escaleriforme y 6 plantas m<sup>-2</sup> presentaron un mayor amarre de frutos por planta con el mayor peso por fruto, lo que resultó en un rendimiento de 12 kg m<sup>-2</sup> en un periodo de sólo cuatro meses de trasplante a fin de cosecha lo que le da un potencial anual de 36 kg m<sup>-2</sup>, superior a lo que se logra con los sistemas de producción convencionales, aún en invernaderos de alta tecnología.

**Palabras clave:** Poda de flores, dosel escaleriforme, densidad de población, dinámica del crecimiento.

<sup>1</sup>Tesista de Doctorado en Ciencias en Horticultura.

<sup>2</sup>Director de Tesis. Profesor-Investigador.

### ABSTRACT

In order to increase the fruit set of bell pepper plants trimmed above the fourth bifurcation of the stems, two experiments were carried out to modify the source-sink relationships with the aim of promoting greater fruit set. In the first one, four varieties were subjected to five selective flower pruning treatments, seeking to reduce the strength of demand favoring the setting of the remaining ones. A randomized block design in a split-plot arrangement with five replications was used. The removal of the first three flowers formed or the four flowers of the third bifurcation produced a greater number of fruit set per plant, but did not increase plant yield due to a lower mean weight per fruit. No variety set more fruits, but 'Godzilla' yielded more (1.62 kg per plant) because of its greater fruit weight (206 g). In the second experiment, the aim was to increase the capacity of the source by improving the interception of photosynthetically active radiation by disposing the plants to form a stair-like canopy against a conventional uniform canopy arrangement, both cultivated in two population densities (6 and 8 plants m<sup>-2</sup>). A randomized block design in a split-plot arrangement with four replications was used. The stair-like canopy with 6 plants m<sup>-2</sup> had a greater number of set fruits per plant and the highest fruit weight, which resulted in a yield of 12 kg m<sup>-2</sup> in a period of only four months from transplant to final harvest, which provides an annual potential yield of 36 kg m<sup>-2</sup>, higher than that achieved with conventional production systems, even in high technology greenhouses.

**Keywords:** Flower pruning, stair-like canopy, population density, growth dynamics.

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El pimiento, se encuentra entre las hortalizas que más se producen en el mundo. Para el periodo 2009-2013, México a nivel mundial ocupó el segundo lugar como productor de chiles con 2'216,600 toneladas (FAOSTAT, 2013). Los principales estados productores de esta hortaliza en los últimos cinco años en nuestro país son: Jalisco, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur (SIAP, 2014).

En México, la producción de hortalizas es una de las actividades más dinámicas en términos de crecimiento en su producción y generación de divisas. En particular, destaca el pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) por ser uno de los tipos más importantes de chiles que se producen, no sólo por la superficie cultivada y su volumen de producción en el mercado nacional, sino también porque es una especie hortícola de exportación (Julián, 2005). En el año 2012 la superficie sembrada con pimiento morrón en condiciones de agricultura protegida (invernaderos y casas-sombra) representó el 16 %, solo superado por el cultivo de tomate el cual se cultiva en un 70 % (SAGARPA, 2012), alcanzando un valor de la exportación hacia los Estados Unidos de Norteamérica de 929 millones de dólares (SAGARPA, 2016).

La producción de esta hortaliza en invernadero asegura una mayor producción y una mejor calidad para su consumo en el mercado, tanto nacional como internacional, lo que implica una inversión alta. Por ello, se deben obtener altos rendimientos por unidad de superficie y programar la producción para que las fechas de cosecha coincidan con temporadas de alto precio. Es por esta razón que se tiene que precisar el manejo y las

fechas de siembra para hacer coincidir la cosecha con el mejor precio y lograr una alta rentabilidad económica.

En México, la producción de pimiento morrón para comercialización es un negocio en pleno crecimiento en el mercado internacional, ya que se encuentra entre las principales hortalizas frescas más demandadas. Las exportaciones de Chile pimiento fueron adquiridas principalmente por los Estados Unidos de Norteamérica con un total de 640,671 toneladas en 2010. Según datos de la FAO STAT en 2007 el consumo per cápita de pimiento fue de 19 kg en los Estados Unidos de Norteamérica (Lucero-Flores, 2012).

Su producción en invernadero, es relativamente reciente y existe poca investigación. Por esto, se tiene que hacer mayor énfasis en el manejo del cultivo y su comportamiento fisiológico. Siendo el sistema de poda selectiva de frutos, uno de los factores más importantes, ya que de eso depende la cantidad y la calidad de frutos que se obtendrán. El crecimiento normal de la planta es simpódico; es decir, el tallo se va bifurcando constantemente mientras la planta crece y en la axila de cada bifurcación se forman las flores que, en el caso del pimiento, suelen ser solitarias (Serrano, 2011), como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Esquema que representa el crecimiento simpódico y la morfología final del pimiento morrón con despunte por encima de la cuarta bifurcación.**

Se usan dos sistemas de producción de chile morrón en invernadero: El de poda a dos tallos y cosecha continua, y el de crecimiento libre con poda mínima y cosecha intermitente. El primer sistema es practicado principalmente en el Norte de Europa y de América; es de alto rendimiento, pero difícil de manejar desde el punto de vista técnico; consiste en la conducción de las plantas a dos tallos en ciclos de cultivo muy largos (10 a 12 meses) mediante podas constantes, donde las plantas pueden alcanzar más de 3 m de altura. La cosecha es continua, pero se va obteniendo poco a poco, un promedio de dos frutos por planta cada diez días y en un periodo muy largo de tiempo (6 a 7 meses de inicio a fin de cosecha), mediante un balance adecuado entre la fuente y la demanda. El rendimiento por planta es alto, pero la densidad tiene que ser baja (3 plantas m<sup>-2</sup>).

Por lo prolongado del ciclo así como la intensidad y dificultad técnica del manejo del cultivo, los invernaderos para su producción requieren de un alto grado de control ambiental, por lo que suelen ser de alta tecnología y, en consecuencia de costo elevado, con una inversión que solo se justifica cuando el rendimiento por unidad de superficie y el precio de venta del producto son altos (Jovicich *et al.*, 2004b).

Los rendimientos que se pueden alcanzar en invernaderos con tecnología intermedia son  $130 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que con alta tecnología se logran hasta  $250 \text{ t ha}^{-1}$  (FUMIAF, 2005).

Un segundo sistema de producción es el de crecimiento libre de la planta y es practicado en invernaderos de España, Italia y otros países del sur de Europa. Consiste en dejar crecer los tallos con un mínimo de podas. La densidad de población común es de  $3 \text{ plantas m}^{-2}$ , de seis a diez frutos por planta crecen simultáneamente creando una fuerte competencia por asimilados que ocasiona aborción de flores en las bifurcaciones superiores y un retraso temporal en el crecimiento vegetativo. Una vez que se inicia la cosecha de estos frutos la demanda disminuye y la planta retoma su crecimiento, pudiendo cosechar otro flujo de frutos uno a dos meses después de la cosecha de los primeros (Marcelis *et al.*, 2004). El ciclo dura alrededor de ocho meses, pero el rendimiento es bastante menor, con promedios entre  $60 \text{ y } 100 \text{ t ha}^{-1}$  (Cantliffe y Vansickle 2001; Jovicich *et al.*, 2004a).

Recientemente, en la Universidad Autónoma Chapingo se ha estado realizando investigación para desarrollar un sistema de producción bajo invernadero, consistente en

realizar trasplantes con plántulas de mayor edad y despunte temprano en el ciclo, para detener el crecimiento de las plantas por encima de la cuarta bifurcación de sus tallos.

La finalidad es acortar el ciclo de trasplante a fin cosecha a menos de cuatro meses y así lograr tres ciclos de cultivo al año en vez de sólo uno, que es lo que se logra con los sistemas convencionales en invernadero (Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2010). El menor rendimiento que se obtiene por planta es compensado parcialmente por el manejo de una mayor densidad de población (6 plantas m<sup>-2</sup> en vez de las dos ó tres del sistema convencional), lo cual es posible por la menor área foliar que demanda cada planta, de tal manera que el rendimiento por unidad de superficie que se logra por ciclo, aunque menor al sistema convencional por año puede ser mayor, ya que involucra la producción de tres ciclos por año; además la tecnología es más sencilla e implica menores costos de producción (Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009).

De manera experimental, Reséndiz *et al.* (2010), probaron este sistema comparando agronómicamente 17 variedades en dos densidades de población. La variedad más sobresaliente en rendimiento fue Orión, con 7.61 kg m<sup>-2</sup> y 5.5 frutos amarrados por planta, de un total de 14 posibles en las cuatro primeras bifurcaciones; el ciclo de trasplante a cosecha se logró en poco menos de cuatro meses. Repitiendo estos resultados a escala comercial, con tres ciclos por año se pueden obtener más de 200 toneladas anuales, el equivalente a la producción de invernaderos de alta tecnología, pero con costos de producción más bajos y exigencias técnicas menores.

Cruz *et al.* (2005, 2009) y Reséndiz *et al.* (2010), señalan que de los 14 frutos potenciales (en realidad 15, pero la flor de la primera bifurcación se elimina

manualmente), generalmente amarran entre seis y ocho frutos por planta con rendimientos de 6 a 8 kg m<sup>-2</sup> por ciclo de cuatro meses.

Al reducirse el ciclo del cultivo también disminuyen los problemas fitosanitarios y se concentra la cosecha en un periodo más corto de tiempo, lo que permite programar la cosecha para ventanas de mercado cuando el precio es alto, dándole al productor un mayor beneficio económico, además se reducen los costos de producción al no requerir invernaderos tan altos y sofisticados (Sánchez *et al.*, 2010).

Reséndiz (2010) menciona las ventajas de los ciclos cortos de producción con despunte temprano y altas densidades, destacando las siguientes: 1) Se evitan períodos de bajo o nulo rendimiento porque sólo se utilizaría el primer flujo de producción. 2) Se obtienen frutos homogéneos en tamaño y de alta calidad, porque generalmente los primeros frutos en producción son los de mejor tamaño. 3) Es posible utilizar invernaderos de menor altura y por lo tanto con menos costos. 4) Hay mejor uso de la mano de obra porque no se requiere trabajar con escaleras, andamios o estructuras similares, para descender la planta o manipularla, por la baja altura de ésta; asimismo, la actividad sería constante y no se presentarían las fluctuaciones dadas por la disminución en la producción. 5) Un ciclo largo resulta en más gasto para poder mantener la planta sin que haya afectación por plagas o enfermedades; en cambio, un ciclo corto facilita la producción incluso con la enfermedad o la plaga presente. 6) Con menor tiempo de cultivo, se pueden manejar efectivamente los límites máximos de residuos y la alternancia de plaguicidas, con lo que se disminuyen costos en el control de plagas y

enfermedades, y con productos más inocuos. 7) Permite concentrar la cosecha en fechas de precios de venta más altos, lo que haría posible aumentar la rentabilidad.

Para mejorar el sistema, el cuajado de frutos es uno de los principales problemas a resolver, ya que apenas el 50 % de las flores se desarrollan en frutos (Cruz *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2010).

La competencia por fotoasimilados por la presencia de varios frutos en crecimiento disminuye el porcentaje de cuajado de frutos que inician su crecimiento posteriormente, existiendo una correlación negativa entre el número de frutos en desarrollo y el cuajado de nuevas flores (Nuez *et al.*, 1996). Este comportamiento puede estar relacionado con varios factores, por ejemplo genotipos, altas temperaturas tanto diurnas como nocturnas, bajos niveles de luz, baja humedad relativa, estrés hídrico y aspectos hormonales, entre otros (Bakker, 1989; Marcelis y Hofman-Eijer, 1997).

Un problema de investigación que se ve muy importante para incrementar aún más el rendimiento por unidad de superficie (por ciclo y anual) con este sistema de producción es encontrar cómo lograr el amarre de un mayor número de frutos por planta.

Por ejemplo, si se logaran 500 g más de producción por planta (producto de amarrar dos a tres frutos más por planta) a una densidad de 6 plantas  $\text{m}^{-2}$  significaría una ganancia de 3  $\text{kg m}^{-2}$  en rendimiento por ciclo ( $30 \text{ t ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) y como, con el sistema propuesto, se pueden lograr tres ciclos por año, el rendimiento anual podría incrementarse en alrededor de  $90 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Reséndiz *et al.* (2010) plantean que con un rendimiento de  $7 \text{ kg m}^{-2}$  por ciclo, producto del amarre de 7 frutos por planta, se pueden lograr potencialmente  $210 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en tres ciclos de cultivo. Si se logran amarrar 10 frutos por planta sin una disminución significativa del peso medio de fruto, el rendimiento potencial anual podría alcanzar las  $300 \text{ ton ha}^{-1}$ .

En el presente estudio se investigaron dos estrategias para incrementar el número de frutos por planta bajo el sistema de ciclos cortos y alta densidad de población, mediante despuntes por encima de la cuarta bifurcación.

Una consistió en intentar regular la demanda de fotoasimilados por los frutos mediante la poda selectiva de flores, explorando también si existe variabilidad genética para un mayor porcentaje de amarre de frutos.

La segunda estrategia que se exploró fue intentar mejorar la fuerza de la fuente mediante el manejo de la disposición de plantas para lograr una mejor distribución de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente y con ello tasas más altas de fotosíntesis del dosel. Dentro de este contexto se estudió si la disposición de plantas en forma de escalera, por la distribución más uniforme de la RFA, permite obtener mayor rendimiento por unidad de superficie como correspondencia de un aumento en la densidad población.

Los objetivos de este estudio dentro del sistema de producción de pimiento en ciclos cortos (menor de cuatro meses de trasplante a fin de cosecha) logrados mediante el trasplante de mayor edad, y el despunte de las plantas por encima de la cuarta bifurcación; así como el manejo de densidades de población altas para compensar el menor rendimiento por planta con más plantas por unidad de superficie son:

## **II. OBJETIVOS GENERALES**

1. Comparar el rendimiento y el número de frutos cosechados por planta mediante la poda selectiva de flores, para buscar un manejo más equilibrado entre la fuente y la demanda.
2. Evaluar la poda selectiva de flores en diferentes variedades para detectar diferencias genéticas en relación a la expresión de las relaciones entre fuente y demanda con respecto al rendimiento y número de frutos cosechados por planta.
3. Comparar el efecto de la disposición de plantas en forma de dosel escaleriforme contra un testigo con dosel uniforme sobre el rendimiento y sus componentes (número de frutos por planta y peso medio de fruto).
4. Definir la densidad de población más adecuada para lograr el mejor balance entre alto rendimiento por unidad de superficie y la calidad de fruto definida por su tamaño o peso medio, en plantas despuntadas tanto en dosel escaleriforme como uniforme.

### III. HIPOTESIS GENERALES

Bajo el sistema de producción de ciclos cortos y despunte a la cuarta bifurcación las hipótesis de trabajo son:

1. La poda selectiva de algunas flores aminora la fuerza de demanda al reducir el número de frutos que crecen simultáneamente, de tal manera que se logra el amarre y cosecha de un mayor número de frutos por planta con respecto a un testigo en el que no se hace ningún tipo de poda.
2. Características genéticas particulares ocasionan que diferentes variedades respondan de manera diferencial a los tratamientos de poda selectiva de flores.
3. La distribución más homogénea en el dosel de la RFA interceptada por las plantas que se logra con una distribución de hileras en forma de escalera, permite incrementar la capacidad de la fuente y con ello lograr el amarre y cosecha de un mayor número de frutos por planta en relación a la disposición uniforme de las hileras de plantas.
4. La mayor capacidad de la fuente en la planta con las hileras dispuestas en forma de escalera incrementa el rendimiento por unidad de superficie mediante un aumento en la densidad de población respecto a las plantas dispuestas de forma uniforme.

El presente estudio se basa en la realización y análisis de dos experimentos que son escritos en forma de artículos científicos.

En el primer experimento, se comparan los efectos de la poda selectiva de flores en cuatro variedades de chile pimiento, poniendo el énfasis en el rendimiento y sus componentes; número de frutos por unidad de superficie y peso medio de los frutos. También se comparan algunas variables morfológicas como altura de planta y grosor del tallo y se incluye el efecto sobre la biomasa total por planta.

En el segundo experimento se compara el rendimiento y sus componentes (número de frutos y peso medio) tanto entre plantas como por unidad de superficie para disposiciones de plantas en doseles escaleriformes y uniformes bajo dos densidades de población (6 y 8 plantas  $m^{-2}$ ). Asimismo se efectúa un análisis del comportamiento de las distintas hileras de plantas, para cada uno de los cuatro tratamientos resultado de las dos disposiciones de plantas y las dos densidades de población.

Finalmente, como complemento del segundo experimento se realiza, de forma gráfica, un análisis de la dinámica de crecimiento de las plantas bajo dos diferentes disposiciones de plantas y dos diferentes densidades de población.

## **IV. EXPERIMENTO I: PODA SELECTIVA DE FLORES EN PLANTAS DE PIMIENTO MORRÓN DESPUNTADAS POR ARRIBA DE LA CUARTA BIFURCACION DEL TALLO**

### **RESUMEN**

México es el segundo país exportador de pimiento morrón a nivel mundial; sin embargo existe poca información de su manejo en condiciones hidropónicas bajo invernadero. El objetivo de este trabajo fue comparar el efecto de cinco diferentes tipos de poda selectiva de flores en el rendimiento por planta y sus componentes (número de frutos y peso por fruto) en cuatro variedades de chile pimiento (Cannon, Godzilla, Dicaprio y Magno) en plantas manejadas a una densidad alta (6 plantas m<sup>-2</sup>) bajo un sistema de producción consistente en el despunte de las plantas (remoción de las yemas terminales) por encima de la cuarta bifurcación de los tallos para acortar el ciclo de cultivo a cuatro meses de trasplante a fin de cosecha. Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones en un arreglo de parcelas divididas. En las parcelas grandes se ubicaron las variedades y en las subparcelas los tipos de poda. Se evaluaron caracteres morfológicos de la planta, así como variables de rendimiento por planta y sus componentes (número de frutos por planta y peso medio por fruto). La remoción de las tres primeras flores formadas o la de las cuatro flores de la tercera bifurcación, produjo el mayor número de frutos por planta (8.1) pero no incrementó el rendimiento planta. En el promedio de los tipos de poda, 'Godzilla' presentó el mayor rendimiento por planta (1.62 kg) debido a que su peso medio de fruto fue significativamente mayor (206 g).

**Palabras clave:** Poda de flores, amarre de frutos, relaciones fuente-demanda.

## **ABSTRACT**

Mexico is the world's second bell pepper exporting country; nevertheless there is scarce information about management of this crop under soilless culture and greenhouse conditions. The aim of this work was to compare the effect of five different selective flower pruning systems on plant yield and its components (fruits per plant and mean fruit weight) on four sweet pepper varieties (Cannon, Godzilla, Dicaprio, and Magno) with plants managed at a high population density (6 plants m<sup>-2</sup>) under a production system consisting in the topping of the plants (remove of all terminal buds) above the fourth bifurcation of the stems to shorten the crop cycle to four months from transplant to final harvest. A randomized complete block experimental design with five replications was established in a split plot arrangement. In the large plots were located the varieties and in the subplots the types of pruning. Morphological characters as well as yield variables and its components (number of fruits per plant and average weight per fruit) were evaluated. The removal of the first three flowers or the four flowers of the third bifurcation produced the highest number of fruits per plant (8.1), but did not increase plant yield. In the average of pruning types, 'Godzilla' presented the highest yield per plant (1.62 kg) because its average fruit weight was significantly higher (206 g).

**Keywords:** Pruning of flowers, fruit set, source-sink relationships.

## INTRODUCCIÓN

Los invernaderos para el cultivo de pimiento que siguen el sistema de producción practicado en el Norte de América y de Europa, por lo general, son de alta tecnología cuentan con equipo de control ambiental y, en consecuencia, tienen un costo elevado por lo que la inversión en ellos se justifica cuando el rendimiento por unidad de superficie y el precio del producto es alto. En general, el pimiento de invernadero, por su calidad y sanidad, alcanza un precio hasta cinco veces mayor que el proveniente de cultivo a cielo abierto (Jovicich *et al.*, 2004b).

El crecimiento normal de las plantas de Chile pimiento es simpódico, en la base de cada bifurcación de los tallos se producen flores, generalmente solitarias. Si las plantas se dejan crecer libremente, como en el sistema de producción en invernadero que más comúnmente se utiliza en la zona sur de Europa, y norte de África, las primeras seis a ocho flores amarran frutos, pero el alto consumo de asimilados que requieren para su rápido crecimiento ocasiona que un alto porcentaje de flores generadas subsecuentemente aborten. Una vez que los primeros frutos finalizan su crecimiento y son cosechados, la disponibilidad de asimilados aumenta y permite continuar el crecimiento vegetativo y eventualmente el amarre y crecimiento de otros cuatro a ocho frutos más, que a su vez, ocasionarán el aborto de flores que se forman posteriormente.

Entre la cosecha del primer y segundo flujo de frutos, puede haber un intervalo de dos meses en los que casi no se producen frutos (Marcelis *et al.*, 2004; Cruz *et al.*, 2009), lo que causa que un ciclo de cultivo completo dure entre 8 a 10 meses después del trasplante, con rendimientos que oscilan entre las 50 y 80 t ha<sup>-1</sup> (Jurado y Nieto, 2003).

En México, el principal sistema de producción bajo invernadero que se utiliza es el practicado en países del norte de Europa y Canadá. Consiste en conducir a la planta a dos tallos en forma de “V”, lo que se consigue con la poda de una de las ramas de cada bifurcación (excepto la primera), dejando la flor formada en cada horqueta. De esta manera en cada nudo de los dos tallos crece un fruto (dos frutos por cada “nivel”).

Al limitar el número de frutos que crece simultáneamente, este sistema puede equilibrar las relaciones entre la fuente y la demanda, de tal forma que es posible lograr un crecimiento con producción continua que permite que el ciclo de cultivo dure casi todo un año con plantas que sobrepasan 2 m de altura a una densidad de 2 a 3 plantas m<sup>-2</sup> (4 a 6 tallos m<sup>-2</sup>) (Jovicich *et al.*, 2004a). Cuando este sistema entra en producción se logra la cosecha de dos frutos por planta cada ocho a diez días por un espacio de aproximadamente 6 a 9 meses, lo que produce un rendimiento de alrededor de 200 ton ha<sup>-1</sup> en un ciclo anual (Heuvelink *et al.*, 2004).

En la Universidad Autónoma Chapingo se ha estado realizando investigación para desarrollar un sistema de producción bajo invernadero, consistente en realizar trasplantes con plántulas de mayor edad (50 días después de la siembra) y despunte temprano en el ciclo, para detener el crecimiento de las plantas por encima de la cuarta bifurcación de sus tallos. La finalidad es acortar el ciclo de trasplante a fin cosecha a menos de 4 meses y así lograr tres ciclos de cultivo al año en vez de sólo uno, que es lo que se logra con los sistemas convencionales en invernadero (Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2010).

Cruz *et al.* (2005, 2009) encontraron que son 14 frutos potenciales que se pueden obtener por planta con el despunte de las plantas por encima de la cuarta bifurcación ya que flor de la primera bifurcación se elimina manualmente. Normalmente sólo amarran y crecen entre seis y ocho frutos por planta; es decir, el porcentaje de aborción es muy alto, del orden del 50 %.

La competencia por fotoasimilados se debe a la presencia de varios frutos creciendo simultáneamente, lo cual disminuye el porcentaje de cuajado, existiendo una correlación negativa entre el número de frutos en desarrollo y el cuajado de nuevas flores (Nuez *et al.*, 1996). Este comportamiento puede estar relacionado con varios factores, por ejemplo genotipos, altas temperaturas tanto diurnas como nocturnas, bajos niveles de luz, baja humedad relativa, estrés hídrico y aspectos hormonales, entre otros (Bakker, 1989; Marcelis y Hofman-Eijer, 1997).

En el presente estudio se evaluó el efecto de disminuir la fuerza de la demanda ocasionada por el crecimiento simultáneo de varios frutos a la vez sobre el número de frutos amarrados por planta; esto mediante la poda selectiva de algunas flores, buscando que menos frutos crecieran a una máxima demanda de asimilados al mismo tiempo.

El estudio se realizó en cuatro variedades diferentes para definir si existe variabilidad genética respecto al porcentaje de amarre de frutos y del rendimiento por planta en estas condiciones de manejo.

Con base en lo anterior se plantearon los objetivos e hipótesis siguientes:

### Objetivos

- a) Mediante diferentes tratamientos de poda selectiva de flores, comparar el efecto sobre el rendimiento, peso medio y número de frutos cosechados por planta para buscar un manejo más equilibrado entre la fuente y la demanda.
- b) Comparar el efecto de la remoción o poda selectiva de flores en diferentes variedades para detectar si existen diferencias genéticas en relación a la expresión de las relaciones entre fuente y demanda con respecto al rendimiento, peso medio y número de frutos cosechados por planta.

### Hipótesis

La poda selectiva de algunas flores puede aminorar la fuerza de demanda al reducir el número de frutos que crecen simultáneamente, de tal manera que se logra el amarre y cosecha de un mayor número de frutos por planta con respecto a un testigo en el que no se hace ningún tipo de poda.

Características genéticas particulares ocasionan que diferentes variedades respondan de manera distinta a los tratamientos de poda selectiva de flores.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó de junio a noviembre de 2014, en un invernadero tipo capilla de estructura metálica y cubierta de polietileno con 80 % de transmisión de luz, ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en el municipio de Texcoco en el Estado de México (2251 m, 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste). El invernadero contaba con un sistema de muro húmedo y extractores, así como, con un sistema de calefacción que permitían un adecuado control de la temperatura, además de ventanas protegidas con malla antiáfidos y cortinas enrollables. Con la finalidad de tener una mejor difusión de la luz, el piso de los pasillos se cubrió con tela blanca de polipropileno (Ground-cover).



**Figura 2. Invernadero tipo capilla con control de clima.**

El material vegetal consistió en cuatro variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) dos de la compañía Zeraim México (var. Cannon y Godzilla) y dos cultivares de la empresa Enza Zaden (var. Dicaprio y Magno).

Las cuatro variedades producen plantas vigorosas y con buena cobertura foliar. Los frutos de 'Cannon' y 'Godzilla' maduran en rojo; 'Dicaprio' en amarillo y 'Magno' en color naranja.

Se sembraron en charolas de poliestireno con 60 cavidades y 200 ml de volumen por cavidad. Como sustrato se utilizó una mezcla de turba vegetal (*peat moss*) con perlita en proporción de 1:1 (v:v), colocando una semilla por cavidad. Desde la siembra hasta los 21 días de edad se regaban de dos a tres veces al día con una solución nutritiva a la mitad de su concentración normal. De los 21 días después de la siembra (dds) hasta el trasplante y de este hasta el final del ciclo de cultivo, se usó la solución a su concentración normal como se indica más adelante.

El trasplante se realizó a los 47 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas habían formado de cuatro a cinco hojas verdaderas, el tallo completamente lignificado, el cepellón bien formado y en promedio 15 cm de altura. Se realizó en bolsas de polietileno de color negro de 12 L de capacidad rellenas con arena de tezontle con diámetros de partículas entre 1 y 4 mm como sustrato, y colocando una plántula en cada bolsa. La densidad fue de 6 plantas  $m^{-2}$  útil de invernadero dispuestas en juegos de tres hileras a una distancia de 33 cm entre plantas y 33 cm entre hileras y pasillos de 50 cm de ancho entre los juegos de cada tres hileras.

Las plantas se manejaron con el crecimiento de todos sus tallos hasta la cuarta bifurcación; una hoja por encima de ésta se realizó la eliminación de los ápices de crecimiento (despunte), labor que se efectuó a los 40 días después del trasplante (ddt).

El tutorado se efectuó con hilos de rafia sostenida sobre alambre sujetado en la estructura del propio invernadero a una altura de 2 m y cada rama de la primera bifurcación presentó su propia línea de tutor. La polinización consistió en el movimiento del aire logrado con los extractores y por el movimiento de las plantas pegando sobre el alambre tutor.

Desde el trasplante hasta la cosecha se daban ocho riegos diarios con un sistema de goteo colocando un gotero por maceta, con gasto de  $2 \text{ L h}^{-1}$  por gotero. La duración de cada riego varió de 2 a 6 minutos dependiendo de la edad de la planta y condiciones ambientales. Todos los riegos se efectuaron con una solución nutritiva que contenía los siguientes elementos y concentraciones ppm ( $\text{mg L}^{-1}$ ): N=200, P=50, K=200, Ca=235, Mg=40, S=217, Fe=3, B=0.5, Mn=0.5, Cu=0.1 y Zn=0.1, manteniendo una conductividad eléctrica menor a 2.5 dS/m y un pH entre 6 a 6.5 (Sánchez y Escalante, 1989).

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. Fueron cinco repeticiones y 20 tratamientos, resultado de la combinación de cuatro variedades y cinco variantes de poda selectiva de flores. En las parcelas grandes se manejaron las cuatro variedades y en las subparcelas los cinco tipos de poda. La unidad experimental de la subparcela consistió de nueve plantas (ocupando  $1 \text{ m}^2$  útil).

A continuación se describen los cinco tipos de poda de flores que se realizaron a cada variedad, todas bajo el sistema de despunte de las plantas por encima de la cuarta bifurcación de los tallos:

Testigo sin poda. Este tratamiento se consideró como testigo, no se realizó poda selectiva de flores, sólo se efectuó el despunte de yemas terminales 40 días después del transplante para limitar su crecimiento hasta la cuarta bifurcación (Figura 3). El número de frutos potenciales por planta fue de 15, considerando sólo un fruto en cada bifurcación.

Poda 1. (Remoción de flores 1, 2 y 3). Se quitaron las flores de la primera y de la segunda bifurcación. La posición de los frutos se muestra en la Figura 4. El número de frutos potenciales a lograr por planta fue de 12.

Poda 2. (Remoción de flores 4, 5, 6 y 7). Se eliminaron las cuatro flores de la tercera bifurcación (Figura 5). El número de frutos potenciales por planta fue de 11.

Poda 3. (Remoción de flores 1, 4 y 7). Se eliminó la flor de la primera bifurcación y las dos exteriores de la tercera bifurcación (Figura 6). El número de frutos potenciales por planta fue de 12.

Poda 4. (Remoción de flores 1, 10 y 13). Se eliminó la flor de la primera bifurcación y dos flores centrales de la cuarta bifurcación (Figura 7). El número de frutos potenciales por planta fue de 12.

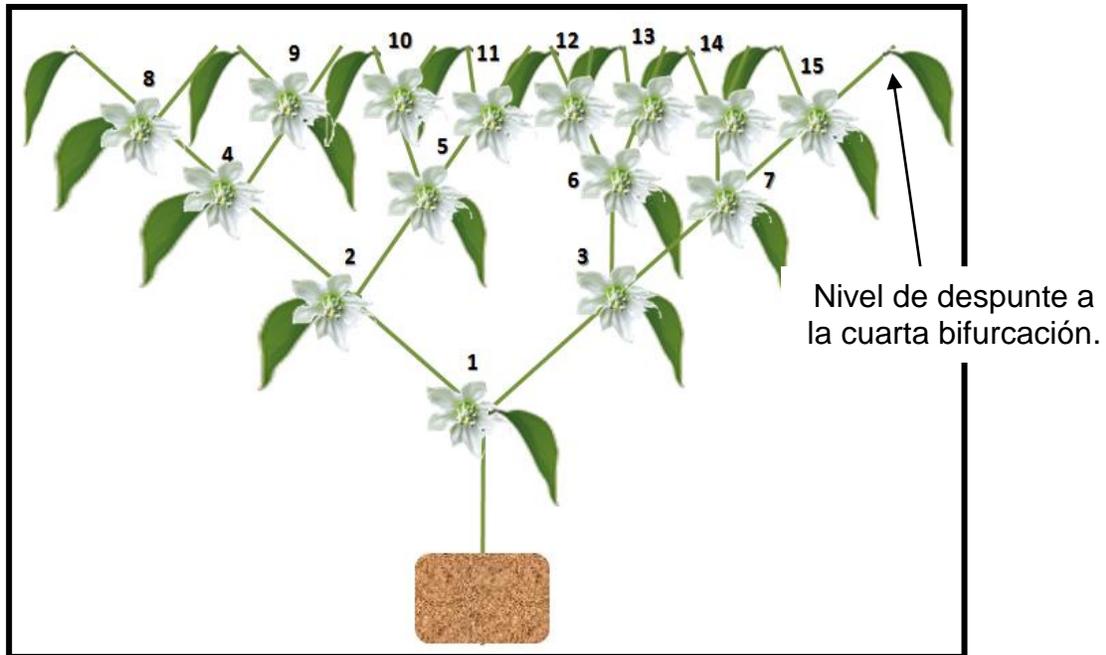


Figura 3. Testigo sin poda.

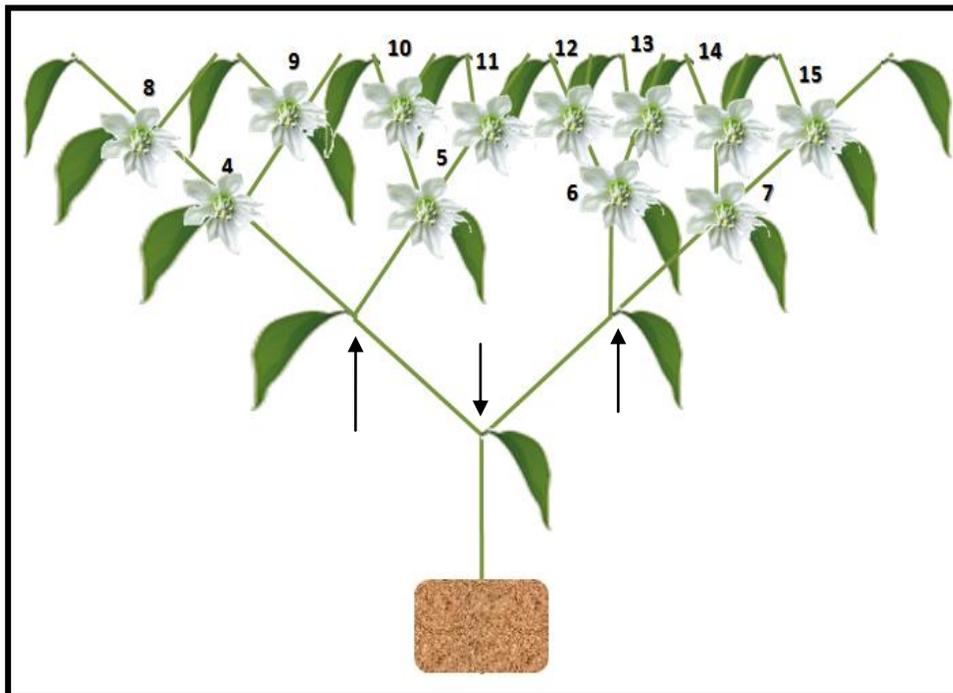


Figura 4. Remoción de flores 1, 2 y 3. Señalada por las flechas.

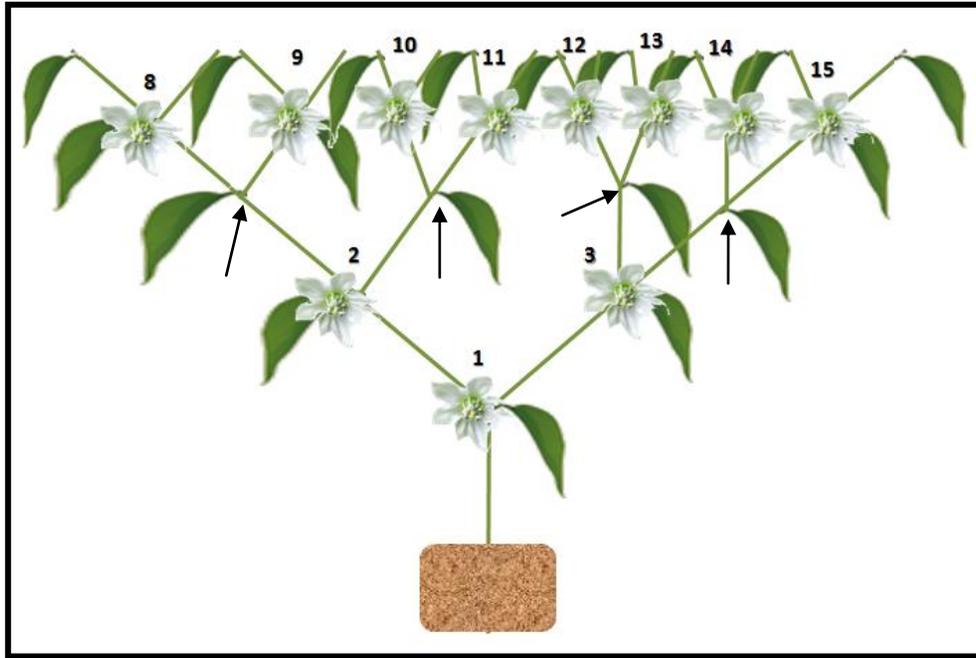


Figura 5. Remoción de flores 4, 5, 6 y 7. Señalada por las flechas.

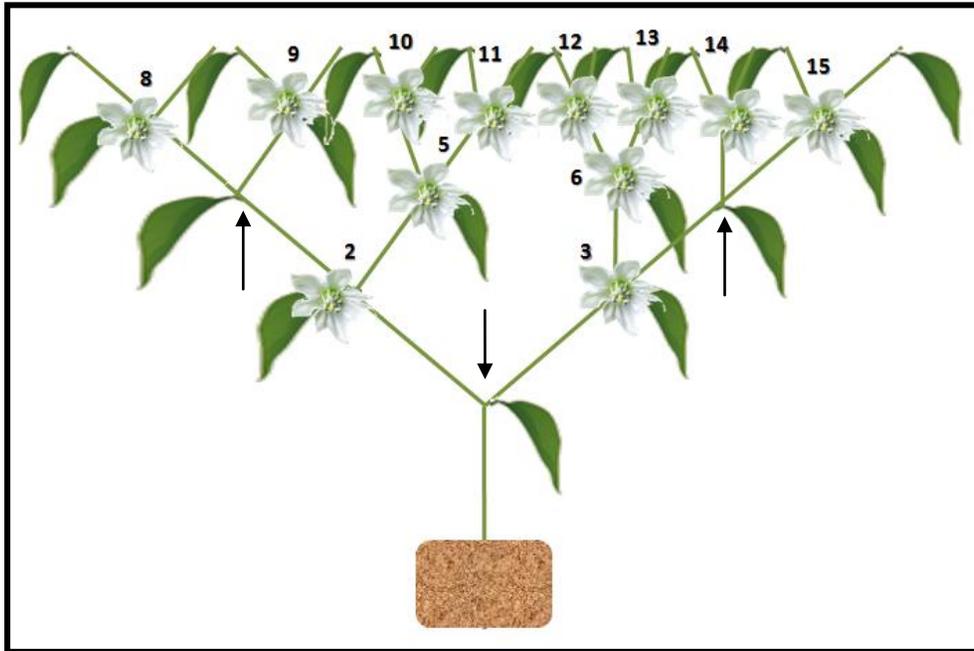
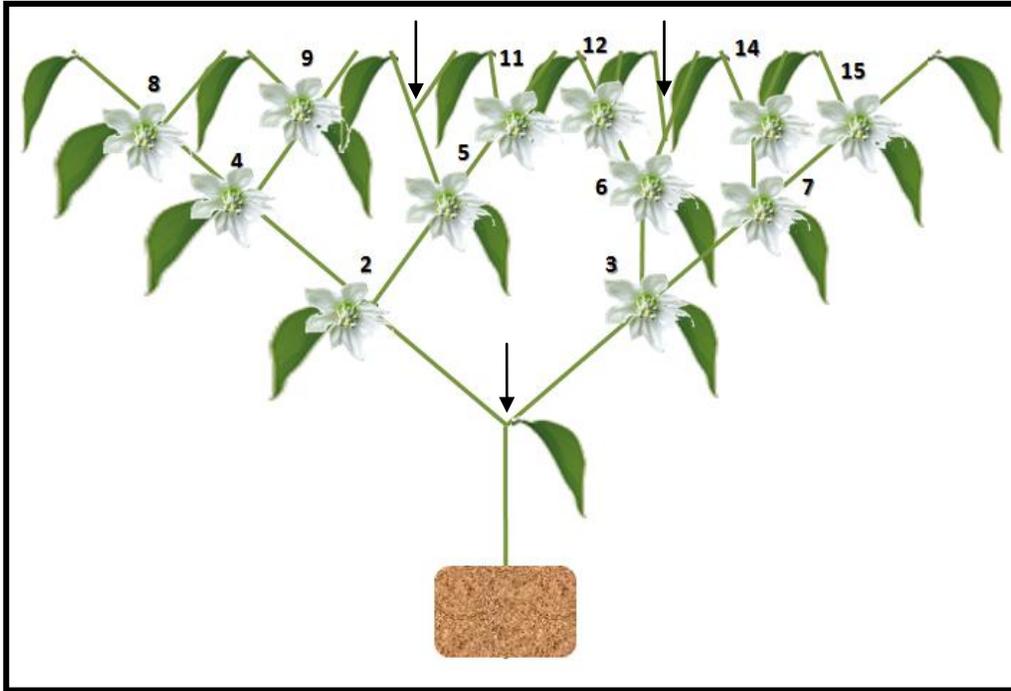


Figura 6. Remoción de flores 1, 4 y 7. Señalada por las flechas.



**Figura 7. Remoción de flores 1, 10 y 13 señalada por las flechas.**

La información obtenida se analizó mediante el paquete *Statistical Analysis System*, ver. 9.0 (SAS, 2002), se realizaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para cada uno de los parámetros evaluados.

**Las variables evaluadas fueron las siguientes:**

- 1) Altura de la planta (AP) en cm desde el inicio del tallo al extremo apical al final del ciclo de cultivo a los 120 días después de trasplante (ddt).
- 2) Grosor del tallo (GT) en cm medido a 3 cm de altura de la planta a los 120 ddt.
- 3) Peso seco total por planta (g) a los 120 ddt. Se tomó una planta por tratamiento y repetición y se usó una estufa de secado a 70°C durante 72 horas para obtener peso constante.
- 4) Rendimiento total (kg planta<sup>-1</sup>).
- 5) Número de frutos cosechados (frutos planta<sup>-1</sup>).
- 6) Peso medio por fruto (g).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Cuadros 1 y 2 se muestran los resultados del análisis de varianza. Se observan diferencias altamente significativas entre tratamientos de poda selectiva de flores para altura de planta, peso de fruto y número de frutos por planta y significativas para grosor del tallo (GT); para la variable de peso seco total por planta no se encontraron diferencias significativas. Entre variedades se encontraron diferencias altamente significativas para GT, peso medio de fruto y rendimiento por planta. La interacción (variedad\*poda) no mostró efectos significativos para ninguna de las variables.

**Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables indicadoras de crecimiento en cuatro variedades de pimiento morrón con cinco tratamientos de poda de flores.**

F.V. <sup>z</sup>	G.L.	Altura de planta	Grosor de tallo	Peso seco total
Variedad	3	10.9	0.27**	888.7
Bloques	4	30.9	0.07	1163.2
Error $\alpha$	12	8.0	0.01	705.5
Poda	4	138.9**	0.04*	18.3
Variedad*Poda	12	8.1	0.03	22.3
Error $\beta$	64	8.4	0.01	20.6
CV %		4.1	5.2	2.2
Media		70.8	1.9	198.2

<sup>z</sup> FV= Fuentes de variación, GL= grados de libertad, CV= Coeficiente de variación.  
\*, \*\*, significativo a una ( $P \leq 0.05$  y  $0.01$ ) respectivamente.

**Cuadro 2. Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables de rendimiento en cuatro variedades de pimiento con cinco tratamientos de poda de flores.**

F.V. <sup>z</sup>	G.L.	Rendimiento	Frutos por planta	Peso medio de fruto
Variedad	3	0.74**	0.13	11307**
Bloques	4	0.03	0.37	326.9
Error α	12	0.01	0.10	358.7
Poda	4	0.05	1.71**	1362.3**
Variedad*Poda	12	0.01	0.09	304.2
Error β	64	0.08	0.10	155.5
CV %		6.7	4.1	7.0
Media		1.3	7.8	175.8

<sup>z</sup>FV= Fuentes de variación, GL= grados de libertad, CV= Coeficiente de variación.

\*, \*\*, significativo a una ( $P \leq 0.05$  y  $0.01$ ) respectivamente.

En el Cuadro 3, se observa que en altura de planta y peso seco total hubo poca variabilidad y no se encontraron diferencias significativas entre variedades. Respecto a grosor sobresalió la variedad 'Godzilla', la cual fue estadísticamente superior a las demás variedades evaluadas, esto seguramente fue consecuencia de una característica propia de la variedad de pimiento utilizado.

**Cuadro 3. Comparación de medias de cuatro variedades de pimiento morrón para variables indicadoras de crecimiento.**

VARIEDAD	Altura de planta (cm)	Grosor de tallo (cm)	Peso seco total (g)
Cannon	71.6 a <sup>z</sup>	1.9 b	195.2 a
Godzilla	71.0 a	2.1 a	206.2 a
Dicaprio	70.5 a	1.9 b	192.4 a
Magno	70.0 a	1.9 b	199.1 a
DMSH	3.1	0.1	29.2

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada factor en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ( $P \leq 0.05$ ). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

En el Cuadro 4, se observa que también fue ‘Godzilla’ quien tuvo significativamente un mayor rendimiento por planta respecto a las demás variedades estudiadas y que ello se debió, no a un mayor número de frutos sino a un mayor peso medio de fruto (206 g por fruto), 32 g más que ‘Cannon’ y 44 g más que las otras dos variedades.

Un resultado similar se obtuvo en un experimento con 17 variedades de jitomate despuntadas para dejar un racimo por planta, donde Sánchez *et al.*, (1999), encontraron correlaciones significativas entre grosor del tallo y el peso medio de fruto y esto lo atribuyeron a que un tallo más grueso presenta mayor área transversal de floema que se manifiesta incluso en el pedicelo de los frutos, lo que facilita el transporte de asimilados a los frutos incrementando su peso y el rendimiento final por planta.

El tamaño o peso de fruto es una de las cualidades más apreciadas en el mercado de los pimientos (Milla, 1996), por lo que este resultado es importante para la selección de variedades para el sistema de producción propuesto, ya que estas pequeñas diferencias en peso de fruto representan un incremento mayor a  $2 \text{ kg m}^{-2}$  en la variedad 'Godzilla' respecto a 'Magno' ( $9.72$  contra  $7.44 \text{ kg m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$  respectivamente). Este resultado se produjo en un ciclo de 120 días del trasplante al final de la cosecha; como se pueden obtener tres ciclos por año, en una escala comercial la diferencia puede ser de  $291$  contra  $223 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , es decir  $68$  toneladas más de fruto por hectárea por año a favor de 'Godzilla'.

**Cuadro 4. Comparación de medias de cuatro variedades de pimiento morrón para variables de rendimiento.**

VARIEDAD	Variables de rendimiento		
	Rendimiento ( $\text{kg planta}^{-1}$ )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)
Cannon	1.37 b <sup>z</sup>	7.9 a	174 b
Godzilla	1.62 a	7.8 a	206 a
Dicaprio	1.27 b	7.8 a	162 b
Magno	1.24 b	7.7 a	160 b
DMSH	0.15	0.3	20.8

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada factor en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ( $P \leq 0.05$ ). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

En el Cuadro 5, se observa que las plantas de los tratamientos donde se eliminaron las tres primeras flores formadas (tratamiento 2) o las cuatro flores pertenecientes a la tercera bifurcación (tratamiento 3) fueron estadísticamente superiores en altura de planta.

Estos datos sugieren que la eliminación de las primeras flores formadas, dejaron más fotoasimilados disponibles para el crecimiento en longitud de los entrenudos ocasionando una mayor altura, pero parece que no se afectó la tasa de fotosíntesis ya que el grosor del tallo, y sobre todo el peso seco final por planta fueron similares en todos los tratamientos. Es decir la remoción de frutos no afectó la capacidad de la fuente pero cambió el patrón de distribución de fotoasimilados. En pimiento es una práctica común la poda de las primeras flores para estimular el crecimiento vegetativo que ayude a soportar una mayor carga de frutos posteriormente (Challinor, 1996; Nuez *et al.*, 1996; Wien, 1999).

**Cuadro 5. Comparación de medias de cinco tipos de poda selectiva de flores para variables indicadoras de crecimiento de pimiento.**

PODA	Altura de planta (cm)	Grosor de tallo (cm)	Peso seco total (g)
Testigo	66.8 c <sup>z</sup>	2.0 a	198.1 a
1	70.1 b	2.0 a	196.7 a
2	73.1 ab	2.0 a	199.4 a
3	73.2 a	2.0 a	198.3 a
4	70.7 b	1.9 a	198.5 a
DMSH	2.5	0.11	4.0

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada factor en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ( $P \leq 0.05$ ). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

En el Cuadro 6, se observa que el rendimiento por planta fue estadísticamente igual para todos los tratamientos incluyendo al testigo; sin embargo, es de destacar que el testigo al que no se le removieron flores, tuvo un mayor peso medio de fruto, pero un menor número de frutos por planta respecto a los tratamientos de poda de flores.

Como las plantas fueron despuntadas por encima de la cuarta bifurcación el número potencial de frutos por planta en el testigo es de 15 (uno por horqueta), pero sólo amarró el 50 % ( $7.4 \text{ frutos planta}^{-1}$ ), en cambio el tratamiento de poda 3, en el que se removieron las cuatro flores de la tercera bifurcación el número de frutos potenciales por planta era de 11, de los cuales amarraron 8.1 es decir el 73.6 %.

También el tratamiento de poda 2 en el que se removieron las tres primeras flores formadas tuvo 8.1 frutos amarrados por planta, pero el número potencial de frutos a lograr era de 12 por lo que el porcentaje de amarre fue un poco menor (67.5 %).

El mayor peso medio de fruto en el testigo sin remoción de flores se podría explicar considerando primero que la producción de asimilados y también el porcentaje que de éstos derivó a los frutos (índice de cosecha) fue similar en todos los tratamientos, ya que su peso seco final por planta fue similar y que, por lo tanto, el menor número de frutos que se amarraron por planta, dio por resultado un mayor peso unitario. De manera similar cuando amarraron más frutos por planta como en el caso de los tratamientos 2 y 3, una cantidad similar de asimilados se distribuyeron en más frutos, lo que ocasionó un menor peso unitario.

Maaiké *et al.* (2009) señalan que para una misma capacidad de la fuente, el desarrollo de los frutos depende primordialmente de la fuerza de su demanda y ésta si puede estar influenciada por el genotipo, como fue el caso de 'Godzilla' que tuvo mayor rendimiento de fruto en el presente experimento (Cuadro 4). La ausencia de efectos de interacción entre cultivares y tipos de poda de flores, apunta a que los cultivares tuvieron un comportamiento similar en cuanto al porcentaje de translocación de asimilados a los frutos con independencia del tipo de poda o remoción de flores.

Rylsky y Spigelman (1986) mencionan que generalmente, en los nudos más bajos es mayor el amarre de frutos que en los nudos superiores por efecto de la mayor fuerza de demanda de los frutos en los nudos inferiores y que en ausencia de frutos en esta

posición, se incrementa el porcentaje de amarre y el crecimiento de los mismos en las ramificaciones superiores, situación similar a la que ocurrió en el presente experimento.

Marcelis *et al.* (2004), encontraron en plantas con la misma capacidad de la fuente para producir asimilados, que la tasa de aborto de flores tuvo una estrecha relación con la tasa de crecimiento de los primeros frutos formados y proponen que ello se debe a su elevada fuerza de demanda. Aloni *et al.*, (1996) sugieren que, además de que esos primeros frutos en crecimiento generan una elevada fuerza de demanda, también producen cambios hormonales que pueden exacerbar el aborto de flores o pequeños frutos que crecen posteriormente.

**Cuadro 6. Comparación de medias de cinco tipos de poda selectiva de flores para variables de rendimiento de pimiento.**

PODA	Variables de rendimiento		
	Rendimiento (kg planta <sup>-1</sup> )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)
Testigo	1.40 a <sup>z</sup>	7.4 c	189 a
1	1.38 a	7.7 b	177 b
2	1.36 a	8.1 a	168 b
3	1.38 a	8.1 a	170 b
4	1.36 a	7.8 b	173 b
DMSH	0.08	0.2	11.0

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada factor en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ( $P \leq 0.05$ ). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Se sabe que ocurren situaciones de estrés que pueden provocar el aborto de flores, tales como disminuciones en la intensidad de la radiación, condiciones de alta temperatura, altos déficits de presión de vapor o competencia por asimilados y relaciones de dominancia entre frutos debido a efectos hormonales. Marcelis *et al.* (2004), destacan que estos factores no afectan por separado, sino que frecuentemente pueden actuar conjuntamente y en poco tiempo provocar la disminución en el número de frutos.

## **CONCLUSIONES**

Las cuatro variedades tuvieron un comportamiento similar respecto al número de frutos por planta independientemente del tipo poda de flores al que fueron sometidos; sin embargo, 'Godzilla' fue la que tuvo el mayor rendimiento por planta debido a que sus frutos fueron más grandes y pesados.

El rendimiento por planta no se vio afectado por los diferentes tratamientos de remoción de flores, pero los tratamientos donde se eliminaron las tres primeras flores o las cuatro flores de la tercera bifurcación tuvieron un mayor número y porcentaje de frutos amarrados.

El testigo sin remoción de flores presentó el menor número y porcentaje de frutos amarrados, pero su rendimiento fue similar a los demás tratamientos debido a que sus frutos fueron de mayor peso.

## V. EXPERIMENTO II: EFECTO DE LA DISPOSICIÓN DE HILERAS DE PLANTAS EN LOS COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE PIMIENTO MORRÓN

### RESUMEN

Una alternativa a la producción de pimiento morrón bajo invernadero consiste en el manejo de las plantas en alta densidad de población y despuntes por encima de la cuarta ramificación para lograr ciclos cortos en alta densidad de población. El objetivo del presente estudio fue comparar el rendimiento y sus componentes con este sistema de producción bajo una disposición de las hileras de plantas para formar un dosel en escalera contra un arreglo normal de dosel uniforme, bajo dos densidades de población (6 y 8 plantas  $m^{-2}$ ). Se utilizó el cultivar 'Cannon'. El diseño fue parcelas divididas en bloques al azar con cuatro repeticiones. En las parcelas grandes se ubicaron los arreglos de las hileras de plantas y en las subparcelas, las densidades. Se encontró que con el arreglo de plantas con dosel escaleriforme hubo mayor rendimiento por unidad de superficie que el testigo uniforme debido a un mayor número de frutos amarrados por planta, sin disminución de su peso. Bajo esta disposición de plantas, el aumento de densidad de 6 a 8 plantas  $m^{-2}$  ya no incrementó el rendimiento debido a que hubo una disminución en el número de frutos amarrados por planta. El mayor rendimiento obtenido fue de 12 kg  $m^{-2}$  con una densidad de 6 plantas  $m^{-2}$  de invernadero en un periodo de cuatro meses de trasplante a fin de cosecha, que significa la posibilidad de tres ciclos por año con un rendimiento potencial anual superior al de los sistemas de producción que se manejan actualmente en invernadero.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum* L., arreglos de plantación, dosel escaleriforme, invernadero, hidroponía.

## ABSTRACT

An alternative to conventional greenhouse production systems of sweet pepper is the management of plants with high population density and by removing terminal buds above the fourth fork of the stems to achieve short-time cultivation cycles. The aim of this study was to compare yield and its components with this production system under a distribution of the plant rows to form a canopy with a ladder shape, against a normal arrangement of uniform canopy, both under two population densities (6 and 8 plants m<sup>-2</sup>). 'Cannon' cultivar was used. The experiment was set under a split plot design in randomized blocks with four replications. The arrangements of plants rows were located in the large plots and plant densities in the subplots. It was found that the yield per surface unit obtained under the arrangement of plants with stair-like canopy was higher than that in the uniform canopy control due to a larger number of fruits per plant, without a significant decrease in their mean weight. Under this star-like canopy arrangement, the increase in plant density to 8 plants m<sup>-2</sup> did not increased yield per unit area because there was a decrease in the number of fruits set per plant. The highest yield obtained was 12 kg m<sup>-2</sup> with a plant density of 6 plants m<sup>-2</sup> in just four months from transplant to final harvest, which means the possibility of three crops per year with a higher potential annual yield than the production systems currently being handled in protected agriculture.

**Keywords:** *Capsicum annuum* L., plant arrangements, stair-like canopy, greenhouse, soilless culture.

## INTRODUCCIÓN

Para el periodo 2009-2013, México ocupó el segundo lugar como productor de chiles a nivel mundial con 2'216,600 toneladas (FAOSTAT, 2013). El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) es uno de los tipos de chiles importantes que se producen, no sólo por la superficie cultivada y su volumen de producción en el mercado nacional, sino también por ser un fuerte generador de divisas por su exportación. En el año 2014 el valor de la exportación de Chile pimiento hacia los Estados Unidos alcanzó 929 millones de dólares (SAGARPA, 2016). De acuerdo con datos reportados por la SAGARPA (2012) la superficie sembrada con pimiento morrón en condiciones de agricultura protegida representa el 16 %, solo superado por el cultivo de tomate el cual se cultiva en un 70 %.

Los invernaderos para producción de pimiento, por lo general son de alta tecnología y, en consecuencia de costo elevado, por lo que la inversión se justifica cuando el rendimiento por unidad de superficie y/o el precio del producto son altos. El pimiento se caracteriza por ser de hábito de crecimiento indeterminado, con alturas de planta superiores a los 2 m (Jovicich *et al.*, 2004a). Los rendimientos en invernaderos con tecnología intermedia pueden alcanzar hasta 130 t ha<sup>-1</sup> y con alta tecnología se logran hasta 250 t ha<sup>-1</sup> (FUMIAF, 2005).

Se utilizan principalmente dos tipos de sistemas de producción: El primero es el preferido en el sur de Europa y consiste en que las plantas se dejan crecer con todos sus tallos, los cuales tienen un crecimiento simpódico y en cada bifurcación producen flores, generalmente solitarias.

Las plantas se dejan crecer libremente y las primeras seis a 12 flores amarran fruto, pero la alta demanda de asimilados para su rápido crecimiento ocasiona aborción de un alto porcentaje de las flores generadas subsecuentemente. Una vez que estos frutos finalizan su crecimiento y se cosechan, la disponibilidad de asimilados aumenta y permite continuar el crecimiento vegetativo y eventualmente, el amarre y crecimiento de cuatro a ocho frutos más, que a su vez, ocasionarán el aborto de flores que se forman posteriormente. Entre la cosecha del primer y segundo flujo de frutos, puede haber un intervalo de dos meses (Marcelis *et al.*, 2004; Cruz *et al.*, 2009) lo que causa que en un ciclo de cultivo completo transcurran de 8 a 10 meses después del trasplante, con rendimientos que oscilan entre 50 y 80 t ha<sup>-1</sup> (Jurado, 2003).

Un segundo sistema de producción es el utilizado en la mayoría de invernaderos que producen pimiento en México, estos siguen el sistema de cultivo desarrollado en países del Norte de Europa y de América, los cuales han alcanzado un alto grado de desarrollo en este rubro. Consiste en conducir a la planta con dos tallos en forma de “V”, lo que se consigue con podar una de las ramas de cada bifurcación, dejando la flor formada en la horqueta. De esta manera en cada nudo de los dos tallos crece un fruto (dos frutos por cada nivel). Al limitar el número de frutos que crecen simultáneamente, este sistema modifica las relaciones fuente-demanda, de tal forma que es posible lograr un crecimiento con una producción continua que permite mantener el cultivo durante casi todo el año a una densidad de dos a tres plantas m<sup>-2</sup> (cuatro a seis tallos m<sup>-2</sup>) con crecimiento de más de 2 m de altura (Jovicich *et al.*, 2004b). El sistema es delicado en su manejo, generalmente se requiere de invernaderos con alto grado de control

ambiental y aunque los rendimientos anuales pueden superar las 150 t ha<sup>1</sup>, el costo de producción por kilogramo es elevado (Paschold, 2000).

Recientemente se ha estado realizando investigación para desarrollar un sistema de producción bajo invernadero, consistente en realizar trasplantes más tardíos y despunte temprano en el ciclo, para detener el crecimiento de las plantas por encima de la cuarta ramificación de sus tallos. La finalidad es acortar el ciclo de trasplante a fin de cosecha a menos de cuatro meses y así lograr tres ciclos de cultivo al año en vez de sólo uno, que es lo que se logra con los sistemas convencionales en invernadero (Cruz *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2010). El menor rendimiento que se obtiene por planta es compensado parcialmente por el manejo de una mayor densidad de población (seis plantas m<sup>-2</sup> en vez de las dos ó tres del sistema convencional), lo cual es posible por la menor área foliar que demanda cada planta, de tal manera que el rendimiento por unidad de superficie que se logra por ciclo es menor al sistema convencional anual, pero por año es mayor, ya que involucra la producción de tres ciclos (Cruz *et al.*, 2005). Reséndiz *et al.* (2010) de manera experimental probaron este sistema comparando agrónomicamente 17 variedades en dos densidades de población. La variedad más sobresaliente en rendimiento fue Orión, con 7.61 kg m<sup>-2</sup> y 5.5 frutos amarrados por planta de un total de 15 posibles en las cuatro primeras bifurcaciones. Cruz *et al.* (2005, 2009) estudiaron este sistema con el cultivar Ariane y señalan que potencialmente, por la obtención de tres ciclos de cultivo al año, podría lograrse una productividad anual igual o mayor al sistema de producción que se desarrolla en países europeos, pero con tecnología más sencilla y con menores costos de producción.

La limitación para producir aún más en cada ciclo con este sistema de producción, ha sido un porcentaje relativamente alto de aborción de frutos por planta, atribuido a la competencia entre las plantas para interceptar la RFA incidente más homogéneamente en todo el dosel, junto con el crecimiento simultáneo de varios frutos por planta que provocan una alta demanda de fotoasimilados que no puede ser satisfecha totalmente (Cruz *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2010). Se busca optimizar la cantidad de radiación solar incidente y la forma en que ésta es interceptada por el dosel de las plantas (Jovicich *et al.*, 2004a). Una manera de controlar la cantidad y distribución de RFA y obtener mayor rendimiento de frutos por unidad de área, es el manejo de la densidad del cultivo (Papadopoulos, 1997); otra es lograr una disposición de las plantas en el espacio tridimensional del invernadero para interceptar de manera más uniforme la RFA incidente en las hojas de cada planta; por ejemplo, arreglando las hileras de plantas a distinta altura a modo de formar doseles en forma de escalera (Sánchez *et al.*, 2014).

En jitomate se han realizado varios experimentos que comprueban que es posible distribuir más homogéneamente la radiación solar sobre las hileras de plantas en alta densidad despuntadas para dejar tres racimos por planta, mediante su acomodo a diferentes niveles o alturas. Los resultados obtenidos muestran que los sistemas de producción basados en doseles escaleriformes han superado el rendimiento de los testigos de dosel uniforme de 20 a 50 %, con potenciales de rendimiento anual cercanos a los 100 kg m<sup>-2</sup> (Sánchez *et al.*, 2012), muy superiores al rendimiento que se ha logrado con sistemas convencionales en invernadero (Resh, 2001; Sánchez *et al.*, 2012).

Con base en lo anterior, se planteó como hipótesis que es posible incrementar el rendimiento por unidad de superficie en el cultivo de pimiento a partir del manejo de hileras de plantas despuntadas a la cuarta bifurcación mediante la formación de doseles en forma de escalera para que las plantas puedan interceptar la RFA incidente más homogéneamente en todo el dosel (Figuras 1 y 2) y en consecuencia, incrementar el número de frutos amarrados por planta y por unidad de superficie.

El objetivo principal fue, comparar el rendimiento y sus componentes (número de frutos y peso medio de fruto) entre un sistema de producción con arreglo del dosel en forma de escalera (dosel escaleriforme) contra un arreglo de dosel uniforme. Un segundo objetivo fue, definir la densidad de población más adecuada para lograr el máximo rendimiento sin afectar significativamente el tamaño o peso del fruto bajo el dosel escaleriforme.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó de marzo a septiembre de 2015, en un invernadero tipo capilla de estructura metálica y cubierta de polietileno con 80 % de transmisión de luz, ubicado en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en el municipio de Texcoco en el Estado de México (2 251 m, 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste). El invernadero contaba con un sistema de muro húmedo y extractores, así como, con un sistema de calefacción que permitían un adecuado control de la temperatura, además de ventanas protegidas con malla antiáfidos y cortinas enrollables; con la finalidad de tener una mejor difusión de la luz, el piso de los pasillos se cubrió con tela blanca de polipropileno (Ground-cover).

Se utilizó el cultivar 'Cannon', el cual es de hábito de crecimiento indeterminado con frutos tipo blocky y peso medio de 150 a 200 g por fruto, es apreciado en el mercado por su pared gruesa, calibre grande y buen sabor.

La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 60 cavidades colocando una semilla por cavidad. Como sustrato se utilizó una mezcla de turba vegetal (peat moss) con perlita, en proporción de 1:1 (v:v). Los primeros riegos fueron con agua sola, una vez emergidas las plantas se iniciaron los riegos con una solución nutritiva diluida al 50 % de su concentración normal durante un periodo de 10 días y posteriormente hasta el fin del cultivo se regaron con la solución al 100 %. La solución nutritiva que se utilizó, contenía los siguientes elementos y concentraciones en ppm ( $\text{mg L}^{-1}$ ): N=200, P=50, K= 200, Ca=235, Mg=40, S=217, Fe=3, B=0.5, Mn=0.5, Cu=0.1 y Zn=0.1, resultando en

una conductividad eléctrica de 2.5 dS/m y un pH entre 6 a 6.5, como lo sugieren Sánchez y Escalante (1989).

Para proporcionar los riegos con la solución nutritiva, se utilizó una cinta de riego por goteo (con emisores a cada 20 cm) por hilera de planta. El gasto promedio de solución osciló entre 3 y 6 litros  $\text{m}^{-2} \text{día}^{-1}$ .

El trasplante se realizó a los 50 días después de la siembra (dds). El ciclo de trasplante a fin de cosecha duró 120 días, para lo cual, se utilizó un sistema hidropónico que consistió en camas de cultivo construidas con tela blanca de polipropileno (Ground-cover) de 1 m de ancho y 30 cm de altura a nivel del piso para dosel uniforme y un juego de dos camas inferiores y una central superior (40 cm de altura respecto a las inferiores) de 30 cm de ancho para formar un dosel escaleriforme (Figura 1). El sustrato con el que se rellenaron fue arena de tezontle rojo con la mayoría de sus partículas de 1 a 4 mm de diámetro. La tina central estuvo a una altura de 40 cm por encima de las otras; para lo cual, se armó una estructura con cajas de plástico sostenidas por tabicones como se aprecia en la Figura 8.

Se evaluaron dos arreglos o disposiciones de plantas y dos densidades de población. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas. Se tuvieron cuatro repeticiones. En las parcelas grandes se tuvieron los dos tipos de arreglo del dosel: escaleriforme y uniforme; mientras que en las subparcelas se probaron dos densidades de población: 6 y 8 plantas  $\text{m}^{-2}$  para cada tipo de arreglo.

La unidad experimental en parcela chica constó de 9 plantas. Los arreglos o disposiciones de plantas en combinación con las densidades probadas se describen a continuación:

1. Arreglo escaleriforme en baja densidad (Figura 8). Se dispusieron las plantas para formar doseles en forma de escalera a una densidad de 6 plantas  $m^{-2}$  de superficie de invernadero (juegos de tres hileras de plantas, 33 cm entre plantas y 33 cm entre hileras separadas por pasillos de 50 cm; la hilera central colocada 40 cm por encima de las dos exteriores).



**Figura 8. Disposición de tres hileras de plantas de pimiento en forma de escalera.**

2. Arreglo escaleriforme en alta densidad (Figura 9). Se dispusieron las plantas para formar doseles en forma de escalera a una densidad 8 plantas  $m^{-2}$  de superficie de invernadero. Fue similar al escaleriforme de baja densidad baja, excepto que se añadió una hilera de plantas en la cama central superior (33 cm entre plantas y 25 cm entre hileras).



**Figura 9. Disposición de cuatro hileras de plantas de pimiento en forma de escalera.**

3. Arreglo uniforme en baja densidad (Figura 10). Formado con tres hileras de plantas a la misma altura, colocadas en camas separadas por pasillos de 50 cm de ancho. Fueron manejadas a una distancia de 33 cm entre plantas y 33 cm entre hileras, con lo que se tuvo una densidad de 6 plantas  $m^{-2}$  de superficie de invernadero.



**Figura10. Disposición de tres hileras de plantas de pimiento a una misma altura.**

4. Dosel uniforme en alta densidad (Figura 11). Formado con cuatro hileras de plantas a la misma altura. Fueron manejadas a 33 cm entre plantas y 25 cm entre hileras para obtener una densidad de 8 plantas  $m^{-2}$  de superficie de invernadero.



**Figura 11. Disposición de cuatro hileras de plantas de pimiento a una misma altura.**

Las plantas se desarrollaron libremente hasta alcanzar la cuarta bifurcación, momento en que se realizó la eliminación de los ápices de crecimiento (despunte); esta práctica se efectuó entre los 50 y 55 días después de transplante (ddt). A todas las plantas se les eliminó la floración de la primera bifurcación. El tutorado realizado consistió en sostener a la planta con hilos de polipropileno (rafia) amarrados a alambres que corrían a lo largo de la estructura del invernadero a una altura de 2 m.

**Las variables evaluadas fueron las siguientes:**

- 1) Rendimiento por planta (g) y por unidad de área ( $\text{kg m}^{-2}$ ).
- 2) Frutos por planta ( $\text{frutos planta}^{-1}$ ) y por unidad de área ( $\text{frutos m}^{-2}$ ).
- 3) Peso promedio por fruto (g).
- 4) Peso seco total por planta (g) al final del ciclo de cultivo, 120 días después de trasplante (ddt), para lo cual se colocó una planta de cada hilera de cada tratamiento y repetición en una estufa de secado a  $70^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas hasta obtener peso constante.
- 5) Rendimiento de cada hilera de plantas dentro de cada combinación de arreglo y densidad ( $\text{kg m}^{-1}$  de hilera).
- 6) Número de frutos por cada hilera de plantas dentro de cada combinación de arreglo y densidad ( $\text{frutos m}^{-1}$  de hilera).
- 7) Peso promedio del fruto (g) por cada hilera de plantas dentro de cada combinación de arreglo y densidad.

Las mediciones por hilera dentro de cada combinación de arreglo y densidad de población se realizaron para observar el efecto diferencial de los efectos de competencia entre las distintas hileras de plantas, ya que la distancia entre plantas era la misma.

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete *Statistical Analysis System*, ver. 9.0 (SAS, 2002), se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza realizados (Cuadro 7), para las variables de rendimiento y sus componentes, indican que hubo diferencias significativas entre los arreglos de dosel para todas las variables excepto para el peso medio de fruto. En cambio, no hubo diferencias significativas entre densidades para ninguna de las variables. Se encontró que la interacción entre arreglos de dosel y densidades de población fue significativa para (PMF) peso medio de fruto.

**Cuadro7. Cuadrados medios de los análisis de varianza para variables de rendimiento y sus componentes, estudiadas en pimiento morrón en función de la disposición de las plantas.**

F.V. <sup>z</sup>	G.L.	Variables de rendimiento					
		Rendimiento por área	Frutos por área	Rendimiento por planta	FP	PMF	PSF
Arreglo	1	58.36**	1929.40**	126855.63**	41.28**	0.50	7832.25**
Bloques	3	3.47	153.53	78020.35	3.36	61.80	361.16
Error α	3	4.56	207.30	112650.59	4.64	71.61	613.75
Densidad	1	0.28	13.87	56170.18	2.17	95.30	196.00
A*D	1	0.01	86.02	713910.93	11.39	941.72*	5256.25
Error β	6	1.75	39.17	48100.47	1.01	72.39	212.79
CV %		13.39	10.83	15.17	12.03	4.93	10.30
Media		9.91	57.7	1445.12	8.3	172.31	141.50

<sup>z</sup> FV= Fuentes de variación, GL= grados de libertad, CV= Coeficiente de variación.

A=arreglo, D=densidad, FP= frutos por planta, PMF= peso medio de fruto, PSF= peso seco final.

\*, \*\*, significativo a una ( $P \leq 0.05$  y  $0.01$ ) respectivamente.

## Rendimiento y sus componentes en función del arreglo

En el cuadro 8, se observa que el rendimiento por planta y por unidad de superficie fueron estadísticamente menores para el arreglo de dosel uniforme, por lo que con los doseles en escalera el rendimiento por unidad de superficie aumenta un 32 %. Resultados similares encontraron en jitomate (Vázquez *et al.* 2007; Sánchez *et al.* 2009; Sánchez *et al.* 2010; Bastida 2012), al observar que los doseles en forma de escalera obtuvieron mayor rendimiento por unidad de superficie que el tratamiento de dosel uniforme.

**Cuadro 8. Comparación de medias para las variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón en función de la disposición de plantas.**

ARREGLO	Variables de rendimiento					
	Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )	Frutos por m <sup>-2</sup>	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	PSF (g)
Escalera	11.8 a <sup>z</sup>	68.7 a	1726.4 a	9.9 a	172.1 a	163.6 a
Uniforme	8.0 b	46.8 a	1163.9 b	6.7 a	172.4 a	119.3 b
DMSH	3.4	22.9	534.0	3.4	13.4	39.4

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).  
PSF= peso seco final, DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

## Rendimiento y sus componentes en dos densidades

En el cuadro 9, se observa que el rendimiento por unidad de superficie fue igual en ambas densidades; sin embargo, el arreglo con menor densidad dio significativamente un mayor rendimiento por planta para la densidad de 6 plantas  $m^{-2}$ , producto a su vez, de un mayor número de frutos amarrados por planta y un mayor peso medio por fruto, indicando que se puede utilizar comercialmente la densidad baja para incrementar el rendimiento. También el peso seco por planta fue significativamente mayor con la menor densidad.

**Cuadro 9. Comparación de medias de las densidades, para las variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón.**

DENSIDAD (plantas $m^{-2}$ )	Variables de rendimiento					
	Rendimiento ( $kg\ m^{-2}$ )	Frutos por $m^{-2}$	Rendimiento ( $g\ planta^{-1}$ )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	PSF (g)
6	9.90 a <sup>z</sup>	54.9 a	1651 a	9.2 a	180 a	160 a
8	9.84 a	60.0 a	1230b	7.5b	164b	123 b
DMSH	1.6	7.6	268.3	1.2	10.4	17.8

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).  
PSF= peso seco final, DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

## **Rendimiento y sus componentes en función del arreglo y densidad**

Al realizar un análisis por unidad de superficie, en el Cuadro 10 se observa que los tratamientos con arreglo en forma de escalera, tanto con 6 como 8 plantas  $m^{-2}$ , tuvieron rendimientos significativamente mayores a los de disposición en dosel uniforme con las mismas densidades. El mayor número de frutos por unidad de área también lo obtuvieron los arreglos de dosel escaleriforme. Los arreglos de escalera dieron un promedio de 68 frutos  $m^{-2}$ , en tanto que los de dosel uniforme sólo 47; es decir, casi 30 % menos frutos  $m^{-2}$ .

Cuando el análisis se efectuó por planta, se observó que el arreglo de escalera con baja densidad de población dio significativamente mayor rendimiento que el de alta densidad y también que los arreglos de dosel uniforme en ambas densidades. Esto se explica porque con el primer tratamiento mencionado se obtuvo un incremento significativo en el número de frutos por planta con un peso de fruto similar al de los demás tratamientos. También el peso seco por planta al final del ciclo fue superior con dicho tratamiento y estadísticamente difiere del escaleriforme de alta densidad.

En el caso de los arreglos de dosel uniforme el peso medio del fruto mostró una tendencia a disminuir con el aumento de la densidad de población de seis a ocho plantas  $m^{-2}$ ; mientras que en el caso de los escaleriformes el incremento de la densidad afectó negativamente el número de frutos amarrados por planta, pero no tanto el peso de los mismos.

Los resultados de rendimiento y número de frutos por planta y por unidad de superficie obtenidos con el arreglo de dosel uniforme, son similares a los reportados por Reséndiz *et al.* 2010, con el mismo sistema de producción de chile pimiento en alta densidad y despuntes por encima de la cuarta bifurcación, quienes obtuvieron rendimientos de hasta 7 kg m<sup>-2</sup> en ciclos de cuatro meses de trasplante a fin de cosecha. Ellos señalan que la limitante para incrementar más el rendimiento por unidad de superficie fue un alto porcentaje de aborción de frutos por planta (aproximadamente 50 %). También Cruz *et al.*, (2009) reportan porcentajes de aborción de frutos similares con el manejo de altas densidades de población, ya sea realizando el despunte después de la tercera o de la cuarta bifurcación. En ambos trabajos lo atribuyen a una alta demanda de asimilados por los primeros frutos en crecimiento, sumado a limitaciones en la intercepción y distribución homogénea de la RFA en el dosel ocasionado por la competencia entre plantas en altas densidades de población. La radiación solar es el principal recurso por el cual las plantas de cultivo compiten dentro de un ambiente no restrictivo como lo es el cultivo en invernadero e hidroponía, por ello varias prácticas culturales que se realizan en estas condiciones buscan incrementar su intercepción y mejorar su distribución entre las hojas del dosel (Papadopoulos, 1997; Jovicich *et al.*, 2004a).

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con otros autores (Cebula, 1995; Jolliffe y Gaye, 1995), quienes señalan que, dentro de cierto rango, las plantas manejadas en alta densidad en ambiente favorable como el de un invernadero, incrementan o al menos mantienen su rendimiento por unidad de superficie.

Cuando el rendimiento ya no aumenta con el incremento de la densidad de población se debe a que el sombreado mutuo entre plantas afecta negativamente la producción de fotoasimilados, al grado de que el número de frutos por planta o el peso medio de cada fruto disminuyen de manera importante (Heuvelink, 1995; Villegas *et al.*, 2004).

Con la disposición de plantas en forma de escalera a una densidad de seis plantas  $m^{-2}$ , se logró incrementar significativamente el número de frutos por planta y el rendimiento por unidad de superficie respecto a los tratamientos de dosel uniforme, lo que apunta a que efectivamente, con el arreglo escaleriforme se logró incrementar la cantidad de RFA interceptada por planta y, sobre todo, mejorar su distribución entre las hojas del dosel. El aumento de densidad de seis a ocho plantas en arreglo escaleriforme ya no produjo un mayor rendimiento por unidad de superficie debido a una disminución significativa en el número de frutos amarrados por planta, lo que indica que la densidad baja es la más adecuada para un manejo comercial.

**Cuadro 10. Comparación de medias para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón en función de la disposición de las plantas y su densidad de población.**

ARREGLO	Densidad (plantas $m^{-2}$ )	Rendimiento (kg $m^{-2}$ )	Frutos por $m^{-2}$	Rendimiento (g planta $^{-1}$ )	FP	PMF (g)	PSF (g)
Escalera	6	11.9 a <sup>z</sup>	67.2 a	1986 a	11.2 a	177 ab	185 a
Escalera	8	11.6 a	69.6 a	1453 b	8.7 b	166 ab	142 b
Uniforme	6	7.8 b	43.2 b	1315 b	7.1 bc	184 a	134 bc
Uniforme	8	8.1 b	50.4 b	1023 b	6.3 c	162 b	105 c
	DMSH	3.2	15.3	531	2.3	21	36

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).  
 FP= frutos por planta, PMF= peso medio de fruto, PSF= peso seco final, DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Numerosos estudios realizados en jitomate con plantas despuntadas a tres racimos en arreglos de dosel escaleriforme (Méndez *et al.*, 2005; Vázquez *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2014), también han reportado aumentos significativos en el rendimiento por unidad de superficie, debido a que dicha disposición ha permitido incrementar la densidad de población respecto a doseles uniformes sin una disminución significativa del tamaño o del peso promedio de fruto. Se realizó un análisis del comportamiento de cada hilera de plantas dentro de cada tratamiento (Cuadros 11 al 14).

## **Rendimiento y sus componentes por hilera de plantas**

La prueba de comparación de medias para las variables de rendimiento y sus componentes dentro del tratamiento de escalera con seis plantas  $m^{-2}$  (Cuadro 11), muestra que la hilera central superior tuvo un mayor número de frutos por planta (11.9) respecto a las hileras en el nivel inferior, lo cual se puede explicar debido a que estas plantas no tuvieron sombreado por las hileras contiguas que estaban ubicadas a una menor altura, mientras que estas últimas, por su posición, sí recibían sombra parcial del lado contrario a los pasillos por la presencia de la hilera central superior, de tal manera que la hilera orientada hacia el poniente recibía menos RFA por las mañanas y la hilera orientada hacia el oriente por las tardes. En esas condiciones las plantas de la hilera superior capturaron mayor cantidad de RFA incidente al día que las de las hileras inferiores, lo que se reflejó en una mayor producción de fotoasimilados a lo largo del ciclo y por lo tanto, en un mayor número de frutos amarrados, y aunque el peso medio de fruto tendió a ser más bajo en la hilera central, no hubo diferencias significativas respecto a las hileras inferiores. También el rendimiento y el peso seco final por planta fueron estadísticamente iguales entre las tres hileras.

**Cuadro 11. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel en forma de escalera a 6 plantas m<sup>-2</sup>.**

HILERA	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Peso seco final (g)
Inferior oriente	1968 a <sup>z</sup>	10.7 a	184 a	191 a
Superior central	2029 a	11.9 a	171 a	184 a
Inferior poniente	1966 a	11.1 a	178 a	180 a
DMSH	516	2.8	18	38

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).  
DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

El comportamiento de las hileras de plantas dentro del tratamiento de escalera con ocho plantas m<sup>-2</sup> fue similar al de seis plantas m<sup>-2</sup>, al colocar cuatro hileras de plantas en vez de tres (Cuadro 12), fue diferente. Se observa que el rendimiento por planta fue un 33 % menor en las dos hileras que ocupaban el nivel inferior respecto a las del nivel superior y que esto fue ocasionado por un menor número de frutos por planta, dado que el peso medio de fruto fue similar en todas las hileras. El peso seco por planta también disminuyó en las dos hileras inferiores.

Al aumentar la densidad de población en una misma superficie, la RFA interceptada por unidad de superficie se reparte entre más plantas con la correspondiente disminución para cada una de ellas, lo que afecta su producción de materia seca y su rendimiento final y, en el caso particular del pimiento, incide en el número de frutos que cada planta puede mantener creciendo (Heuvelink, 1995; Gamayo, 1996; Wien, 1999).

Estos resultados concuerdan con lo señalado por McAvoy *et al.* (1989), en el sentido de que existe relación estrecha entre el rendimiento de frutos y la densidad de flujo fotónico total interceptado por el dosel y su distribución en cada planta, sobre todo en el periodo de antesis a cosecha, donde la presión de densidad es mayor por el crecimiento del área foliar.

Las plantas que quedaron en el nivel inferior tuvieron un mayor efecto de sombra al acercarse más la distancia horizontal con respecto a las hileras de plantas en el nivel superior y por lo tanto, fueron las que se vieron más afectadas en su intercepción de RFA por día ya que la recibían del lado contrario a los pasillos por la presencia de la hilera central superior adyacente, de tal manera que la hilera inferior orientada hacia el poniente recibía menos RFA por las mañanas y la hilera oriente por las tardes.

**Cuadro 12. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel en forma de escalera a 8 plantas m<sup>-2</sup>.**

HILERA	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Peso seco final (g)
Inferior oriente	1142 b <sup>z</sup>	6.9 ab	166 a	116 b
Superior oriente	1658 a	9.9 ab	168 a	161 a
Superior poniente	1720 a	10.1 a	170 a	175 a
Inferior poniente	1113 b	6.7 b	166 a	115 b
DMSH	463.9	3.3	37.0	49.0

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).  
DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

La comparación de hileras de plantas con disposición en dosel uniforme y seis plantas  $\text{m}^{-2}$  (Cuadro 13), muestra que las tres hileras de plantas tuvieron un comportamiento similar para todas las variables, lo que se atribuye a que la distancia entre hileras (33 cm) es suficiente para lograr una intercepción y distribución similar de la RFA en cada hilera de plantas del dosel, incluyendo la hilera del centro.

Varios autores (Gardner *et al.*, 1990; Heuvelink, 1995; Sánchez *et al.*, 2014), señalan que para una misma intercepción de RFA la distribución más uniforme de la misma entre las hojas de las plantas que conforman el dosel trae como consecuencia un aumento de la tasa de fotosíntesis. La disminución en rendimiento por planta y en número de frutos por unidad de superficie con respecto a las hileras de plantas dispuestas en forma de escalera a la misma densidad, que se indicó en el Cuadro 10, se puede explicar debido a que, aunque en ambos doseles la intercepción de RFA por planta pudo ser similar, la disposición de las hileras de plantas en forma de escalera permitió una distribución más homogénea de la misma entre las hojas del dosel respecto al arreglo de las hileras de plantas con un dosel uniforme, donde la RFA incidió más en las hojas superiores que en las inferiores, haciendo menos eficiente la tasa de fotosíntesis.

**Cuadro 13. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel uniforme a 6 plantas m<sup>-2</sup>.**

HILERA	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Peso seco final (g)
Exterior oriente	1409 a <sup>z</sup>	8.0 a	182 a	147 a
Interior central	1401 a	7.1 a	198 a	138 a
Exterior poniente	1137 a	6.4 a	179 a	116 a
DMSH	301	2.0	24	40

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

La prueba de comparación de medias del tratamiento con arreglo de dosel uniforme y densidad de ocho plantas m<sup>-2</sup> (Cuadro 14), tampoco muestra diferencias significativas entre hileras para ninguna de las variables estudiadas. De tal manera, que es la menor intercepción de RFA por planta debida al aumento de la densidad lo que impide un aumento de rendimiento por unidad de superficie en relación al tratamiento de arreglo uniforme de dosel con menor densidad (Cuadro 10).

Si se comparan las hileras de este tratamiento de alta densidad y dosel uniforme (Cuadro 14) con las de la misma densidad en disposición escaleriforme (Cuadro 12), se observa que son las dos hileras centrales de este último tratamiento las que producen un mayor rendimiento y número de frutos por planta (aproximadamente 70 % más rendimiento y 85 % más frutos por planta) que las mismas hileras del arreglo uniforme. Este resultado apoya la argumentación a favor de que esto se debe a una mayor intercepción y distribución más homogénea de la RFA por las plantas ubicadas en las

hileras superiores, en relación a la ubicación de las cuatro hileras de plantas en un mismo nivel, caso del dosel uniforme.

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto que, mediante una disposición escalonada de las plantas, es posible para productores de pimiento en invernaderos con un buen control climático, incrementar el rendimiento anual por unidad de superficie, incluso a niveles superiores al de productores del norte de Europa y norte de América que manejan el sistema convencional de alta tecnología y que obtienen del orden de 200 t ha<sup>-1</sup>, pero con muy altos costos de producción (Heuvelink, 1995; Wien, 1999).

Dado que se obtuvieron 12 kg m<sup>-2</sup> (equivalente a 120 t h<sup>-1</sup>) en un ciclo de producción de cuatro meses de trasplante a fin de cosecha, se ve factible obtener tres ciclos por año con rendimientos que pueden rebasar las 300 t ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 14. Comparación de medias por hilera de plantas para variables de rendimiento y sus componentes en pimiento morrón, para el dosel uniforme a 8 plantas m<sup>-2</sup>.**

HILERA	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )	Frutos por planta	Peso medio de fruto (g)	Peso seco final (g)
Exterior oriente	1028 a <sup>z</sup>	6.3 a	163 a	106 a
Interior oriente	926 a	5.2 a	178 a	99 a
Interior poniente	928 a	5.5 a	169 a	97 a
Exterior poniente	1199 a	7.9 a	152 a	117 a
DMSH	455	3.6	46	44

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de columnas, no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).  
DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se realizó el experimento, las plantas con disposición en forma de escalera, rindieron significativamente más por unidad de superficie que las plantas que forman un dosel uniforme y ello se debió a la cosecha de un mayor número de frutos por planta, sin una disminución significativa del peso medio de los frutos.

El aumento de la densidad de seis a ocho plantas  $m^{-2}$  de invernadero para los tratamientos de dosel en forma de escalera no incrementó el rendimiento por unidad de superficie, ya que tuvo efectos negativos sobre el porcentaje de frutos amarrados por planta, por lo que para un manejo comercial se considera más adecuado el manejo de tres hileras de plantas despuntadas a la cuarta bifurcación en una disposición escaleriforme y a una densidad de seis plantas  $m^{-2}$ .

## **VI. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN FUNCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE PLANTAS Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN PIMIENTO MORRÓN**

### **INTRODUCCIÓN**

Como complemento del experimento de comparación de las plantas de chile pimiento bajo dos disposiciones del dosel (uniforme y escaleriforme) y dos densidades de población (6 y 8 plantas m<sup>-2</sup>) se realizó un seguimiento de varias características del crecimiento de las plantas, desde el trasplante hasta el fin de cosecha para cada uno de los cuatro tratamientos resultantes de las combinaciones de las dos disposiciones del dosel con las dos densidades de población.

El análisis del crecimiento es una herramienta ecofisiológica que contribuye al estudio de distintos indicadores de la eficiencia de las plantas para obtener recursos del ambiente que permiten su crecimiento, desarrollo y rendimiento final. Las ventajas de este análisis es que ayuda a entender las relaciones entre producción de fotoasimilados y la tasa de crecimiento de las plantas en materia seca; a estudiar aspectos de competencia y a predecir y explicar los efectos de las prácticas o manipulaciones agronómicas sobre los cultivos (Beadle, 1988; Dhopte y Patil, 1989).

En diversos estudios se ha buscado disponer hileras de plantas de jitomate despuntadas para dejar sólo tres racimos por planta a diferentes alturas o niveles, con la idea de distribuir más homogéneamente la radiación solar formando doseles en forma de escalera (Méndez *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2009; Sánchez *et al.*, 2010; Bastida, 2012).

Con ello se espera lograr un aumento de la tasa de asimilación neta (TAN), es decir de la cantidad de materia seca (g) que se forma por cada metro cuadrado de hoja al día, para un índice de área foliar (IAF) dado o bien incrementar el IAF aumentando la densidad de población sin disminución de la TAN, situación que puede conducir a un incremento en el rendimiento por unidad de superficie (Sánchez *et al.*, 2009). 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 este trabajo se hizo un análisis gráfico y estadístico del crecimiento del pimiento morrón despuntado por arriba de la cuarta bifurcación, desde el trasplante al fin de la cosecha. El objetivo fue comparar la dinámica del crecimiento del cultivo en cada condición de disposición de las plantas y evaluar el efecto de la densidad de población para cada una de las condiciones anteriores.

Con los resultados obtenidos de este análisis se buscó obtener de manera gráfica una visión que aportará elementos para explicar el porqué de los resultados del rendimiento y sus componentes que se obtuvieron en ese experimento y ayudar a darle soporte a las hipótesis planteadas al respecto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y métodos utilizados en general ya fueron mencionados en el capítulo anterior ya que lo que aquí se presenta es complemento del experimento de disposiciones de plantas y densidades de población con el cultivar 'Cannon'. En particular para el estudio de la dinámica de crecimiento se siguió el siguiente procedimiento.

Se trabajó con cuatro tratamientos resultado de la combinación de dos disposiciones de plantas (dosel escaleriforme y dosel uniforme) y dos densidades de población para cada disposición de plantas (6 y 8 plantas  $m^{-2}$ ). El trasplante se realizó el 29 de abril de 2015, a los 50 días después de la siembra (dds). El ciclo de trasplante a fin de cosecha duró 120 días.

A partir del trasplante y hasta el fin de la cosecha se realizaron ocho muestreos con intervalos de 15 días entre cada uno de ellos. Cada muestreo consistió en tomar dos plantas de cada tratamiento en cada una de las cuatro repeticiones y en laboratorio medir las siguientes variables:

- 1. Altura de planta (AP).** Se midió con cinta métrica en cm, desde la base del tallo hasta el punto de crecimiento más alto.
- 2. Grosor del tallo (GT).** Se midió en mm inmediatamente por debajo de la primera bifurcación con ayuda de un vernier.
- 3. Área foliar por planta (AF).** Se midió con un integrador de área foliar (LICOR-3000, Lincoln, NE). Se reporta en  $cm^2$ .

**4. Índice de área foliar (IAF).** Se obtuvo multiplicando el área foliar por planta por la densidad de población de cada tratamiento. Se reporta en m<sup>2</sup> de hoja por m<sup>2</sup> de invernadero (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>).

**5. Peso seco de planta (PS).** Se obtuvo al secar las plantas con todos sus órganos en bolsas de papel colocadas en una estufa a 70°C durante 48 horas, posteriormente se procedió a tomar los pesos con ayuda de una balanza de precisión. Se reporta en gramos por planta.

**6. Tasa media de crecimiento del cultivo (TCC).** Se obtuvo como la ganancia media diaria de peso seco del dosel por m<sup>2</sup> de invernadero por día (g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) en los siguientes intervalos: 1 a 15, 16 a 30, 31 a 45, 46 a 60, 61 a 75, 76 a 90, 91 a 105 y 106 a 120 días después del trasplante (ddt), respectivamente. Se obtuvo mediante la fórmula:

$$(PS_f - PS_i)(D) / (T_f - T_i)$$

Donde:

PS<sub>f</sub> = peso seco por planta al final de cada periodo considerado

PS<sub>i</sub> = peso seco por planta al inicio de cada periodo considerado

D = densidad de plantas por m<sup>2</sup> de invernadero

(T<sub>f</sub>-T<sub>i</sub>) = intervalo de tiempo entre dos muestreos sucesivos (15 días en el presente experimento).

**7. Tasa media de Asimilación Neta (TAN).** Se expresa como la ganancia media de peso seco producida por día por cada m<sup>2</sup> de superficie de hoja (g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>).

Se obtuvo para los siguientes intervalos: 1 a 15, 16 a 30, 31 a 45, 46 a 60, 61 a 75, 76 a 90, 91 a 105 y 106 a 120 ddt, respectivamente.

Se estimó con la siguiente fórmula:

$$\text{TAN} = \text{TCC} / \text{IAFm}$$

Donde:

IAFm = Índice de área foliar medio ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) en el periodo considerado.

**8. Índice de Cosecha (IC).** Se obtuvo en el último muestreo (120 ddt) al dividir el rendimiento agronómico (peso seco de los frutos por planta) entre el rendimiento biológico (peso seco total por planta) ambos obtenidos en gramos. Como complemento se calculó también el peso seco de los órganos vegetativos por planta.

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones de dos plantas por unidad experimental. Para el análisis estadístico se utilizó el paquete *Statistical Analysis System*, ver. 9.0 (SAS, 2002), se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Para observar el crecimiento a lo largo del ciclo con más detalle a los datos de AP, GT, AF, IAF y PS de cada tratamiento se les ajustaron curvas de regresión lineal simple.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

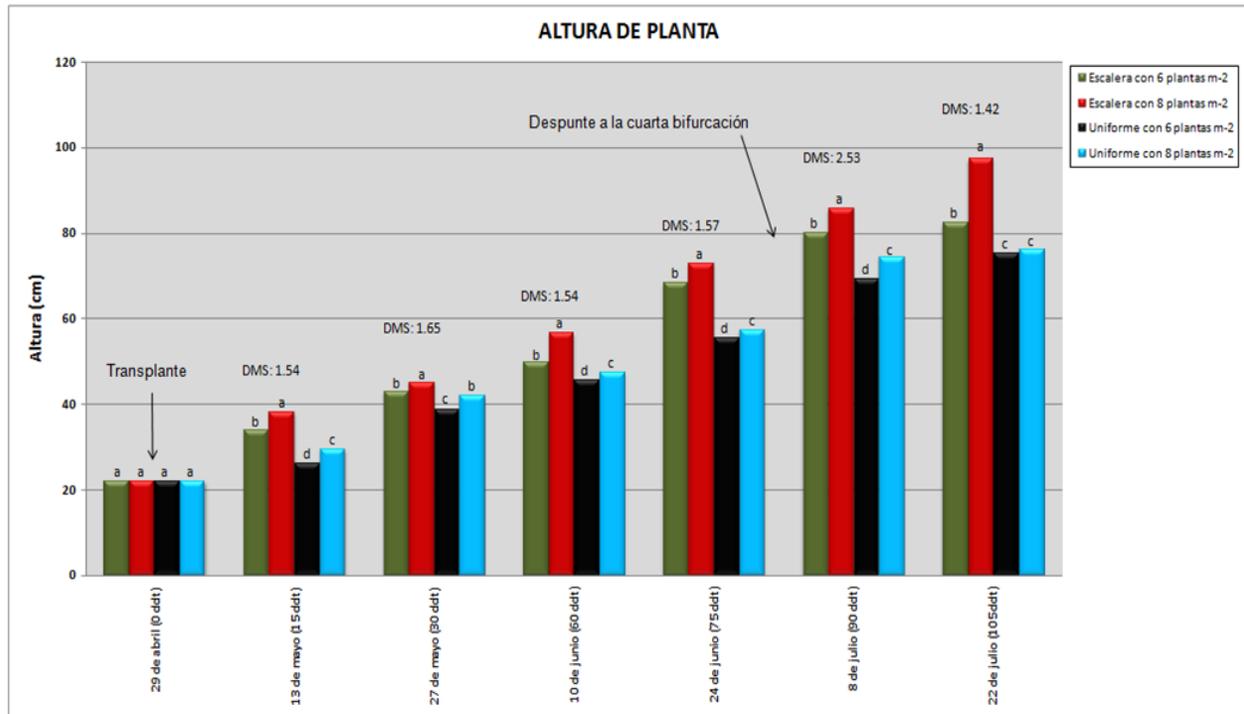
Altura de planta.

En la Figura 12 se observa que el tratamiento de plantas dispuestas en dosel escaleriforme y alta densidad fue el que alcanzó mayor AP en todos los muestreos posteriores al trasplante, seguido del escaleriforme de baja densidad. Pasó de 20 cm en el trasplante a casi 100 cm a los 105 ddt; es decir, creció a una velocidad media de  $1.31 \text{ mm día}^{-1}$ , en tanto que el tratamiento con disposición escaleriforme y 6 plantas  $\text{m}^{-2}$  llegó sólo a 80 cm en el mismo periodo; es decir 20 cm menos en 105 días. Los tratamientos de dosel uniforme crecieron significativamente menos que los escaleriformes y también el tratamiento uniforme de baja densidad creció significativamente más que el uniforme en baja densidad exceptuando el último donde ya se había realizado el despunte.

Cabe aclarar que la AP se midió en los primeros siete primeros muestreos, ya no se midió en el octavo considerando que ya no hubo incrementos en esta variable después de realizado el despunte por encima de la cuarta bifurcación.

Las diferencias en altura entre tratamientos con la misma disposición de plantas se puede explicar porque la presión de densidad influyó sobre la intercepción y distribución de RFA por planta induciendo cambios hormonales (síntesis de auxinas) que promueven la elongación celular en las plantas más sombreadas (Weaver, 1982; Bidwell, 1993). Sin embargo, la mayor altura de las plantas en disposición escaleriforme respecto a la uniforme a la misma densidad de población, se puede explicar cómo una

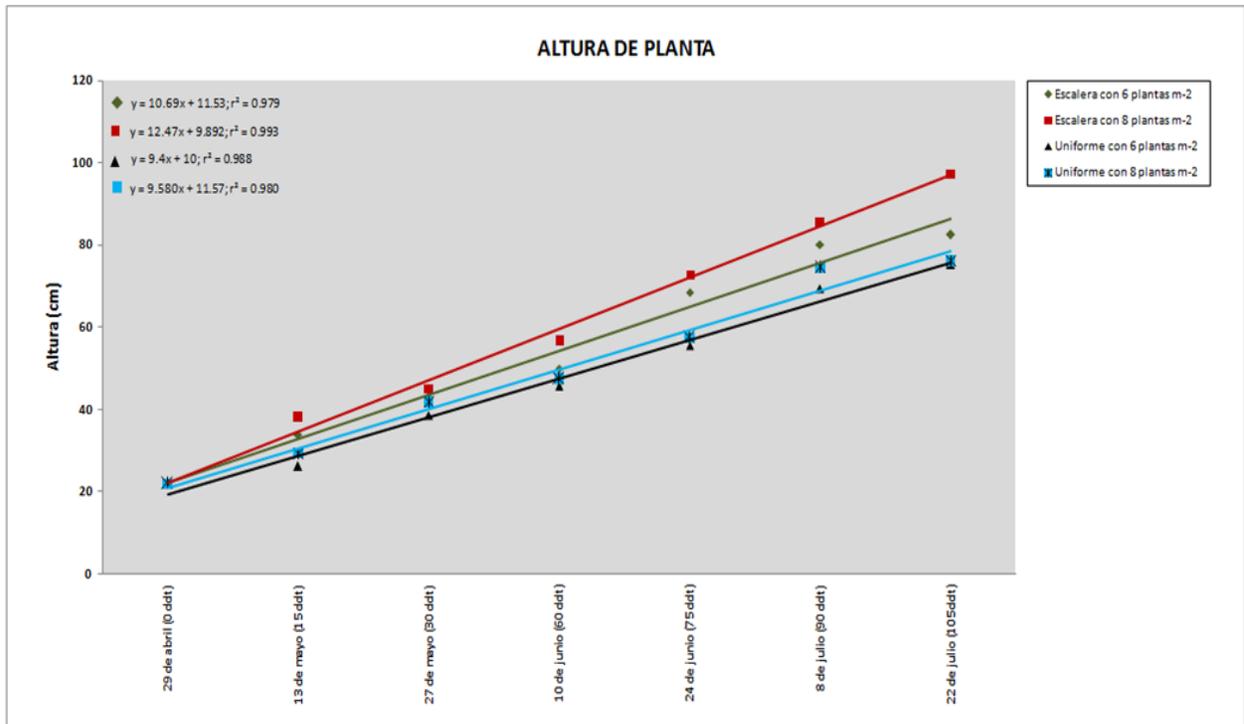
respuesta a una mejor distribución de la RFA entre todas las hojas del dosel que provoca mayor producción de asimilados y con ello un crecimiento más vigoroso en todos los aspectos incluyendo la altura (Taiz y Zeiger, 2002).



**Figura 12. Dinámica de crecimiento en altura de plantas a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos.

Los datos se ajustaron a una recta de regresión lineal simple con una  $r^2$  mayor a 0.98 (Figura 13), lo que indica que la velocidad crecimiento en altura fue constante a lo largo del periodo de trasplante a cosecha en todos los tratamientos.



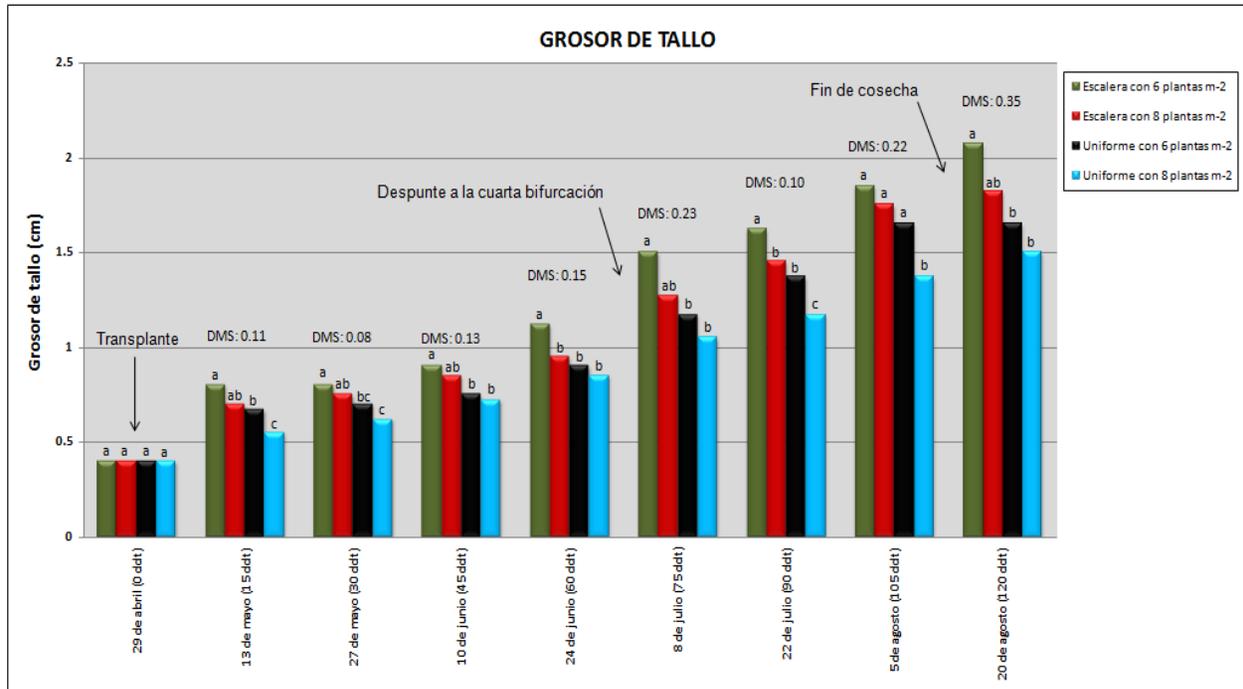
**Figura 13. Ajuste de los datos de altura de planta a rectas de regresión lineal a lo largo del ciclo desde el trasplante hasta 105 días en los diferentes tratamientos.**

Grosor del tallo.

En la Figura 14 se observa que para el grosor del tallo el tratamiento de dosel escaleriforme en baja densidad fue estadísticamente mayor en casi todos los muestreos considerados excepto al momento del trasplante, cuando aún no se daba el efecto de tratamientos.

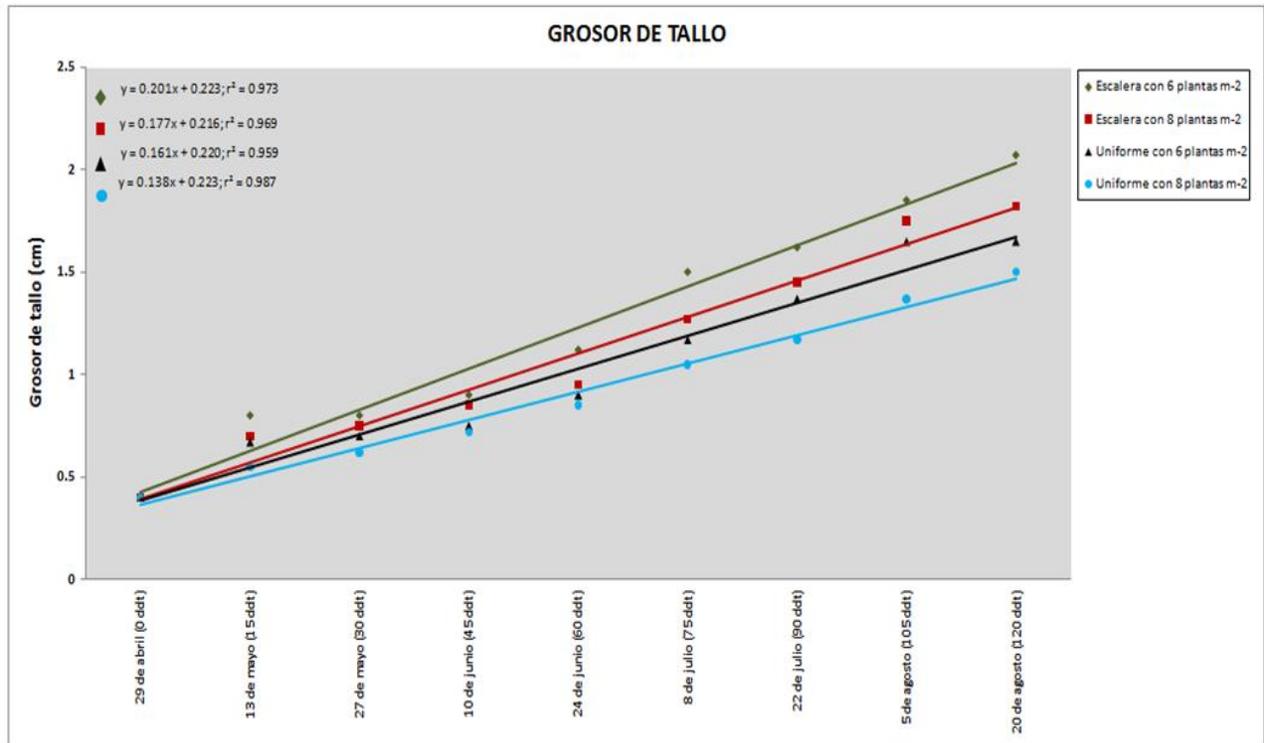
Como se puede apreciar en la Figura 15 el grosor también se ajusta a una regresión lineal a lo largo del ciclo con coeficientes de  $r^2$  mayores a 0.94. El crecimiento en grosor del tallo en el tratamiento de dosel escaleriforme y baja densidad de población de trasplante a fin de cosecha fue de 4 a 22 mm en un periodo de 120 días; es decir tuvo una tasa media  $0.15 \text{ mm día}^{-1}$ , mientras que en el tratamiento uniforme con alta densidad, que fue el de menor crecimiento, el GT pasó de 4 a 15 mm en el mismo periodo; es decir creció a un ritmo medio de  $0.0916 \text{ mm día}^{-1}$ .

Trabajando con 17 variedades de jitomate (Sánchez *et al.* 1999), encuentran correlaciones positivas y altamente significativas del diámetro del tallo con el rendimiento de frutos por planta. Hacen cortes transversales de los tallos y encuentran que a mayor diámetro hay más área de floema y xilema, lo que seguramente hacen más eficiente la conducción del agua y nutrientes, así como el flujo y distribución de asimilados. Concluyen que esto pudo traducirse en un crecimiento más eficiente que puede conducir a un mayor rendimiento. Una situación muy similar se da con los resultados del presente experimento, en donde el mayor rendimiento por planta lo tuvo el tratamiento escaleriforme de baja densidad (Cuadro 10 del Experimento II) en el cual también se tuvo el mayor grosor de tallo.



**Figura 14. Dinámica de crecimiento en grosor del tallo a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos

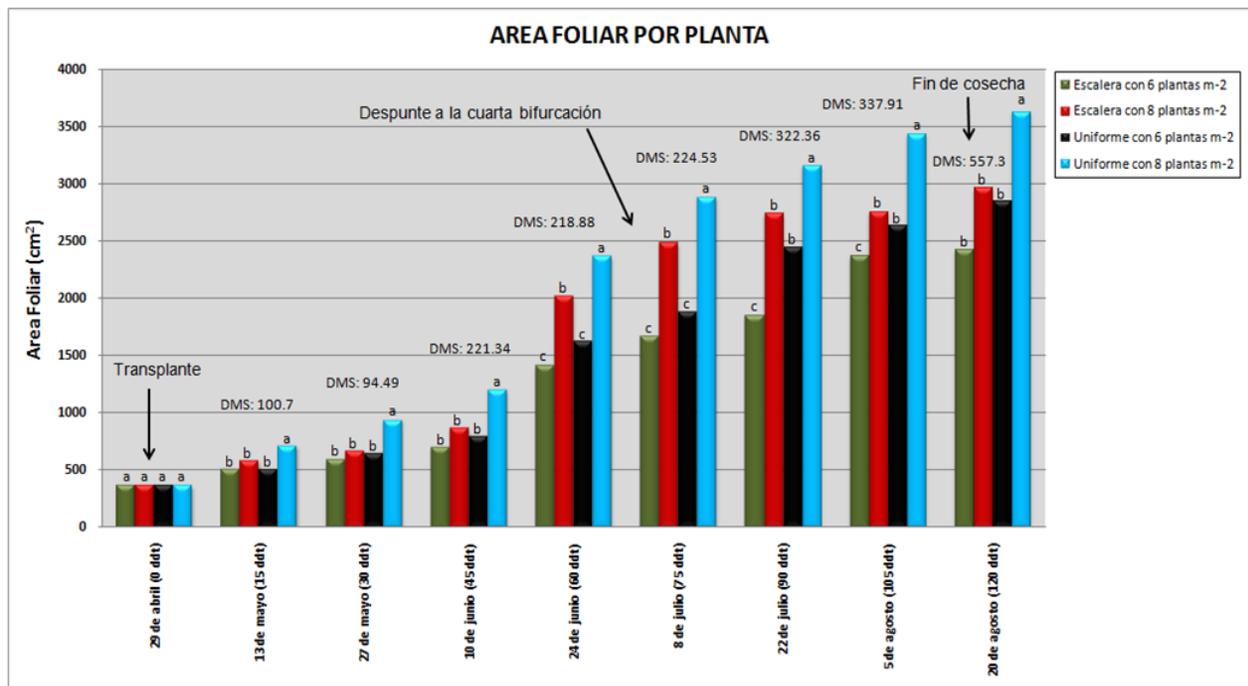


**Figura 15. Ajuste de los datos de grosor del tallo a rectas de regresión lineal a lo largo del ciclo desde el trasplante hasta fin de cosecha en los diferentes tratamientos.**

Área foliar por planta.

En la Figura 16 se observa que en todos los muestreos realizados después del trasplante la mayor área foliar por planta se obtuvo en el tratamiento uniforme de alta densidad, seguido del escaleriforme de alta densidad mientras que la menor área se dio en el tratamiento de dosel escaleriforme y baja densidad. Se explica porque, como lo señalan Taiz y Zeiger (2002), las hojas que crecen en condiciones de menos incidencia de RFA tienden a crecer más en área pero presentan el limbo con menos grosor (menos capas de células), en tanto que las que reciben más RFA son más gruesas pero de menor superficie; es decir tienen mayor peso foliar específico. Según Björkman (1981), un mayor peso foliar específico resulta en mayor tasa de fotosíntesis por unidad de área, lo cual a nivel de cultivo para una misma densidad de población, se refleja en una distribución más uniforme de la RFA en el dosel por la menor área foliar formada por planta y al final en mayor producción, como fue el caso del tratamiento escaleriforme de baja densidad en el presente trabajo (Cuadro 10 del Experimento II).

En la Figura 17 se aprecia que el crecimiento del área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin de cosecha en los diferentes tratamientos se puede ajustar a líneas sigmoides con  $r^2$  mayores a 0.96, lo cual se explica porque el despunte realizado a los 75 ddt ralentizó notablemente la expansión de dicha área. Para el caso de plantas en condiciones de dosel uniforme y alta densidad el crecimiento máximo superó los  $3500 \text{ cm}^2$  por planta, en tanto que las del tratamiento de dosel escaleriforme de baja densidad alcanzaron sólo  $2500 \text{ cm}^2$  por planta.



**Figura 16. Dinámica de crecimiento del área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos

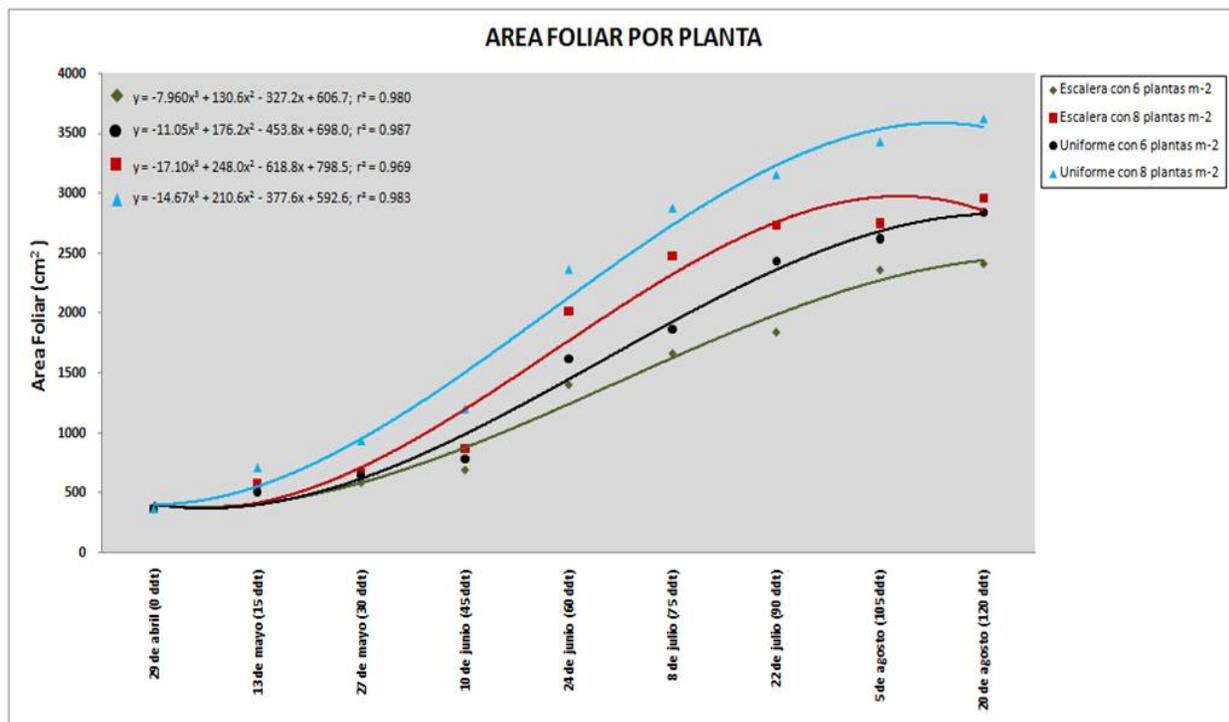
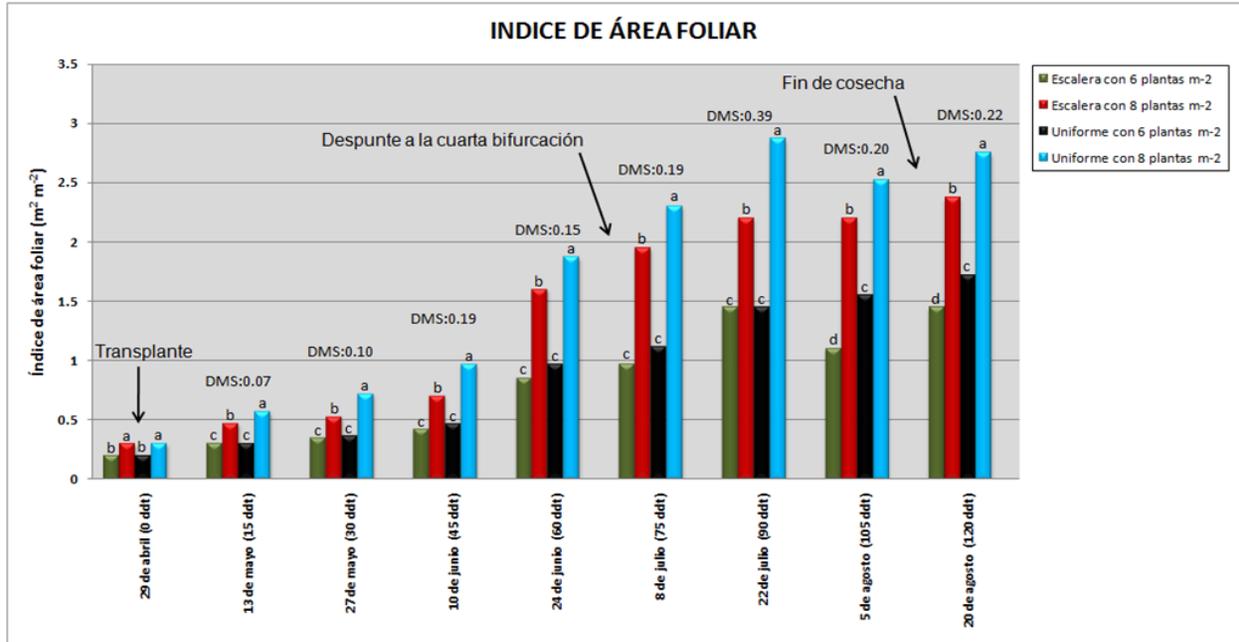


Figura 17. Ajuste de los datos de crecimiento del área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante hasta fin de cosecha a líneas sigmoides en los diferentes tratamientos.

Índice de área foliar.

Respecto a la velocidad de crecimiento del índice de área foliar se observa que fue mayor en los tratamientos de alta densidad respecto a los de baja densidad. El tratamiento de dosel uniforme en alta densidad fue significativamente mayor en todos los muestreos realizados después del trasplante, seguido del tratamiento de dosel escaleriforme en alta densidad (Figura 18). La explicación del por qué el crecimiento del IAF disminuye notablemente después de los 75 dds es por el despunte a la cuarta bifurcación, de manera similar a lo discutido en relación al crecimiento del área foliar por planta.

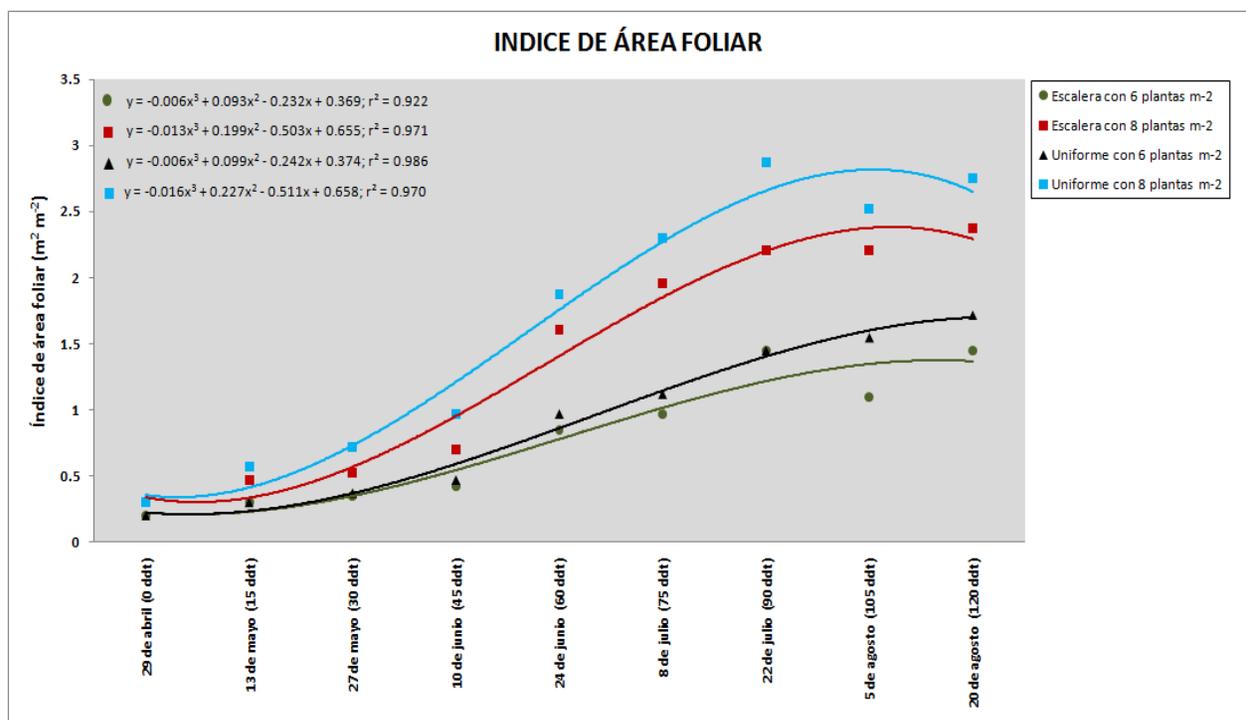
Cabe aclarar que los IAF aquí reportados parecen un poco bajos en relación a los 3 a 4 que varios autores como Charles-Edwards *et al.*, (1986) y Gardner *et al.*, (1990) reportan como óptimos para varios cultivos. Sin embargo, hay que señalar que en el presente trabajo los cultivos se manejaron, no con una distribución uniforme en todo el invernadero, sino que las hileras de plantas quedaron agrupadas de tres en tres, dejando espacios grandes, que conformaron los pasillos. Si se hubiera considerado la densidad por  $m^{-2}$  útil sin considerar los pasillos, los índices de área foliar o mejor dicho, la densidad de follaje hubiera sido un 50 % mayor (alrededor de 4 para el tratamiento de dosel uniforme de alta densidad).



**Figura 18. Dinámica de crecimiento del índice de área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos

En la Figura 19 se destaca el ajuste significativo del crecimiento del área foliar a líneas sigmoides con  $r^2$  superiores a 0.92. El tratamiento de dosel uniforme en alta densidad quien tuvo el mayor ritmo de crecimiento del IAF entre los 30 y 90 ddt, periodo en el que creció a un ritmo de casi  $367 \text{ cm}^{-2} \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  desde el trasplante hasta el final de la cosecha, en tanto que el de dosel escaleriforme de baja densidad lo hizo a un ritmo de  $200 \text{ cm}^{-2} \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en ese mismo periodo.

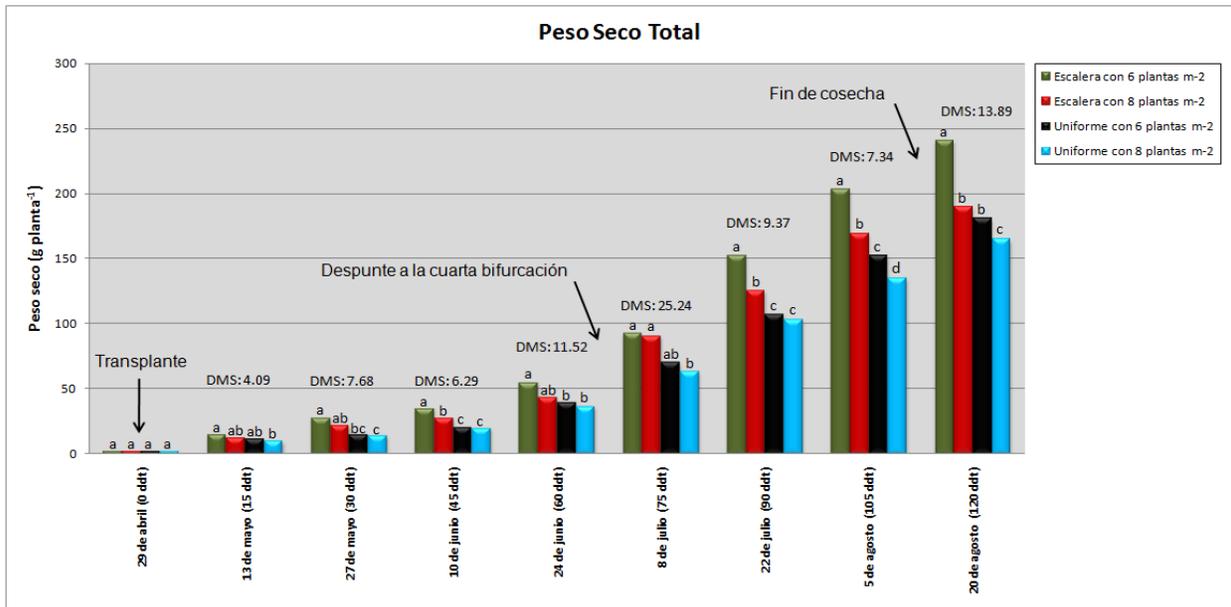


**Figura 19. Ajuste de los datos de crecimiento del índice de área foliar por planta a lo largo del ciclo de trasplante hasta fin de cosecha a líneas sigmoides en los diferentes tratamientos.**

Peso seco total por planta.

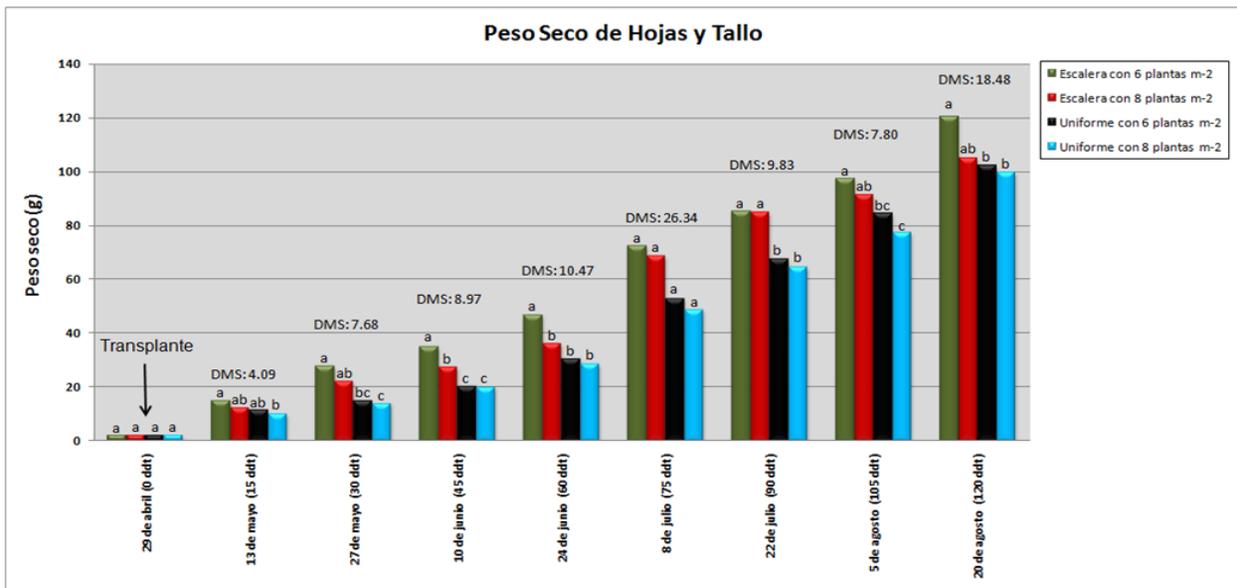
El peso seco total por planta creció de manera exponencial, acelerando su crecimiento a partir de los 60 ddt, momento en el que empezaron a crecer los frutos, en tanto el peso seco de tallo y hojas continuaba con una tendencia de crecimiento lineal (Figuras 20 y 21).

El tratamiento de dosel escaleriforme manejado a una densidad de 6 plantas presentó un peso por planta significativamente mayor a los demás tratamientos en casi todos los muestreos realizados alcanzando una tasa de crecimiento de 3.17 g diarios entre los 60 y 120 ddt después del trasplante; en tanto el tratamiento con menor crecimiento fue el de dosel uniforme y 8 plantas  $m^{-2}$  que tuvo un crecimiento diario de 2 g por planta en ese mismo periodo (Figura 19). Esto seguramente se debe a la mayor captura de RFA por planta al tener menor densidad y a la distribución más uniforme en el dosel por la disposición en forma de escalera en el caso del primer tratamiento señalado.



**Figura 20. Dinámica de crecimiento del peso seco por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

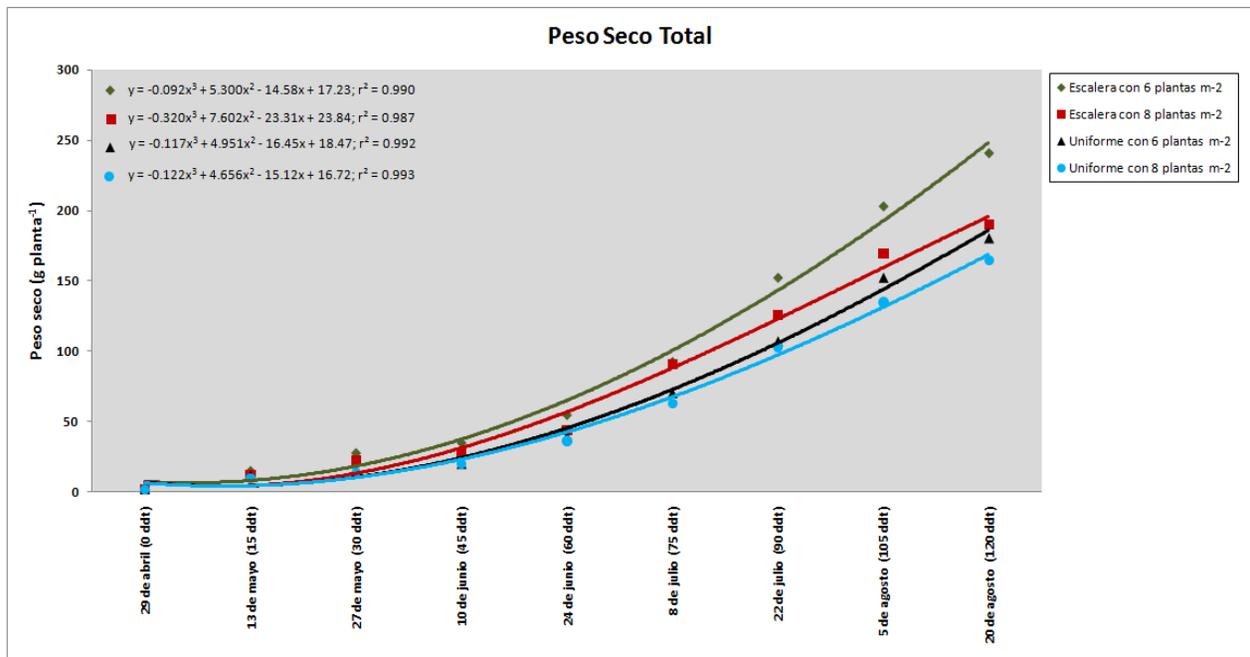
Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos



**Figura 21. Dinámica de crecimiento del peso seco por planta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos

El crecimiento del peso seco total por planta en los distintos tratamientos se ajustó muy bien a curvas polinómicas de tercer grado con  $r^2$  superiores a 0.98 (Figura 22), en tanto que el de peso seco de tallo y hojas lo hizo con tendencias de línea recta (datos no mostrados).



**Figura 22. Ajuste de los datos de crecimiento del peso seco por planta a lo largo del ciclo de trasplante hasta fin de cosecha a curvas polinómicas de tercer grado en los diferentes tratamientos.**

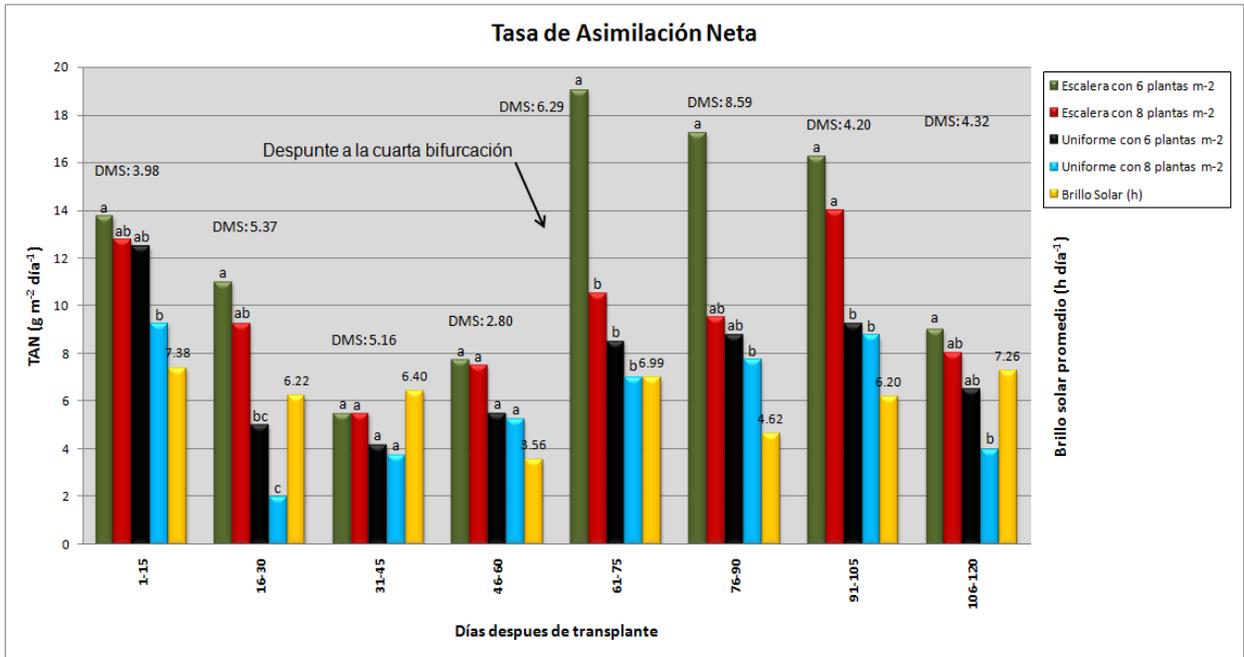
Tasa media de asimilación neta.

En la Figura 23 se observa el comportamiento de la tasa media de asimilación neta medida en gramos producidos por cada  $m^2$  de hoja por día para cada uno de los tratamientos considerados en diferentes periodos a lo largo de su ciclo de cultivo. Las barras en color naranja representan el brillo solar medio en horas por día en cada uno de los periodos considerados.

El tratamiento de dosel escaleriforme y baja densidad fue el que tuvo las tasas medias de asimilación neta más altas, alcanzando diferencias significativas con respecto a los doseles uniformes en varios de los periodos considerados. Los mayores valores se dieron entre los 60 y 105 días después del trasplante (de 16 a  $19 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ), coincidiendo con la etapa de crecimiento rápido de los frutos.

Estos valores fueron muy altos, consecuencia de que los IAF de este tratamiento fueron muy bajos en esa etapa, oscilando entre 1 y 1.4 (Figura 18), además el dosel en forma de escalera favoreció una distribución más uniforme de la RFA por lo que las hojas prácticamente no se sombreaban unas con otras. Seguramente también contribuyó la circunstancia de que los días fueron en su mayoría despejados.

La tasa de asimilación neta es un indicador de la fotosíntesis a largo plazo (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Taiz y Zeiger, 2002), lo que ayuda a explicar por qué fue precisamente este tratamiento el que más rendimiento y número de frutos alcanzó por unidad de superficie (Cuadro 10 del Experimento II).



**Figura 23. Comportamiento de la tasa media de asimilación neta a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

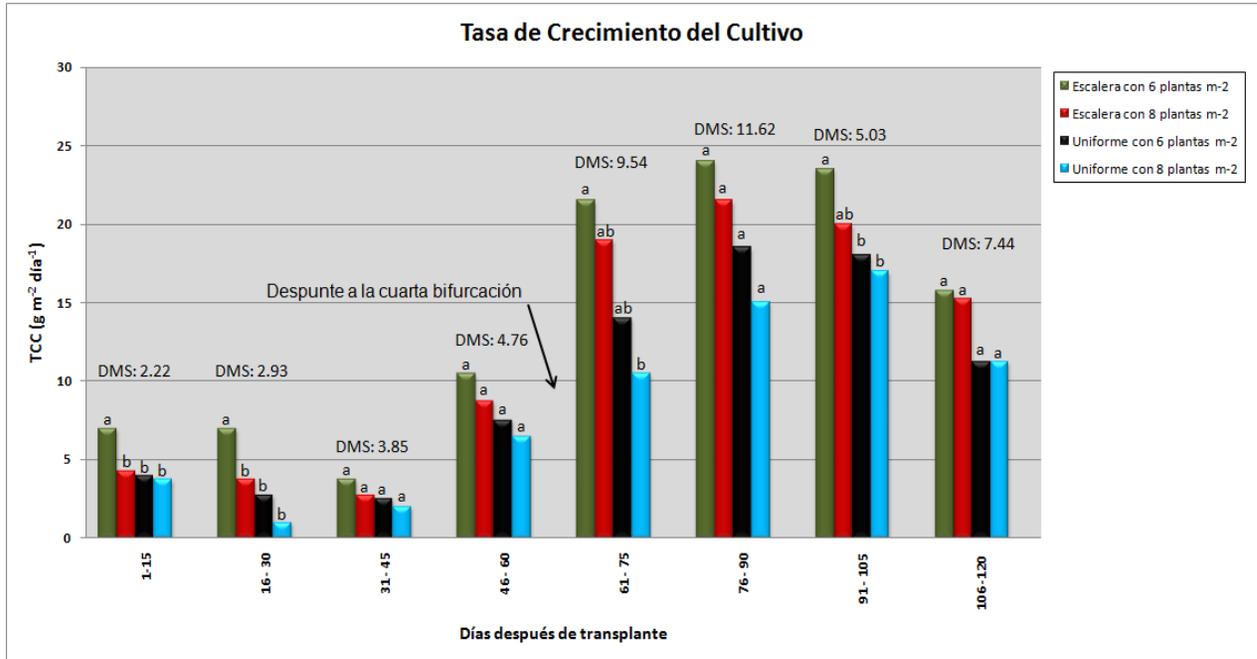
Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos

## Tasa media de crecimiento del cultivo

En la Figura 24 se observa el comportamiento de la tasa media de crecimiento del cultivo medida en gramos producidos por cada  $\text{m}^2$  de suelo por día para cada uno de los tratamientos considerados en diferentes periodos a lo largo de su ciclo de cultivo.

El tratamiento de dosel escaleriforme mantuvo las tasas más altas; sin embargo las diferencias entre tratamientos observadas con la TAN disminuyeron debido a que los IAF de los demás tratamientos eran mayores y la TCC se obtiene como el producto de la TAN por el IAF.

También aquí los mayores valores de TCC se dieron entre los 60 y 105 días después del trasplante en el tratamiento escaleriforme de baja densidad alcanzando de 22 a  $24 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  factor que junto con el índice de cosecha (Figura 25) también ayudan a explicar el mayor rendimiento por planta de este tratamiento.

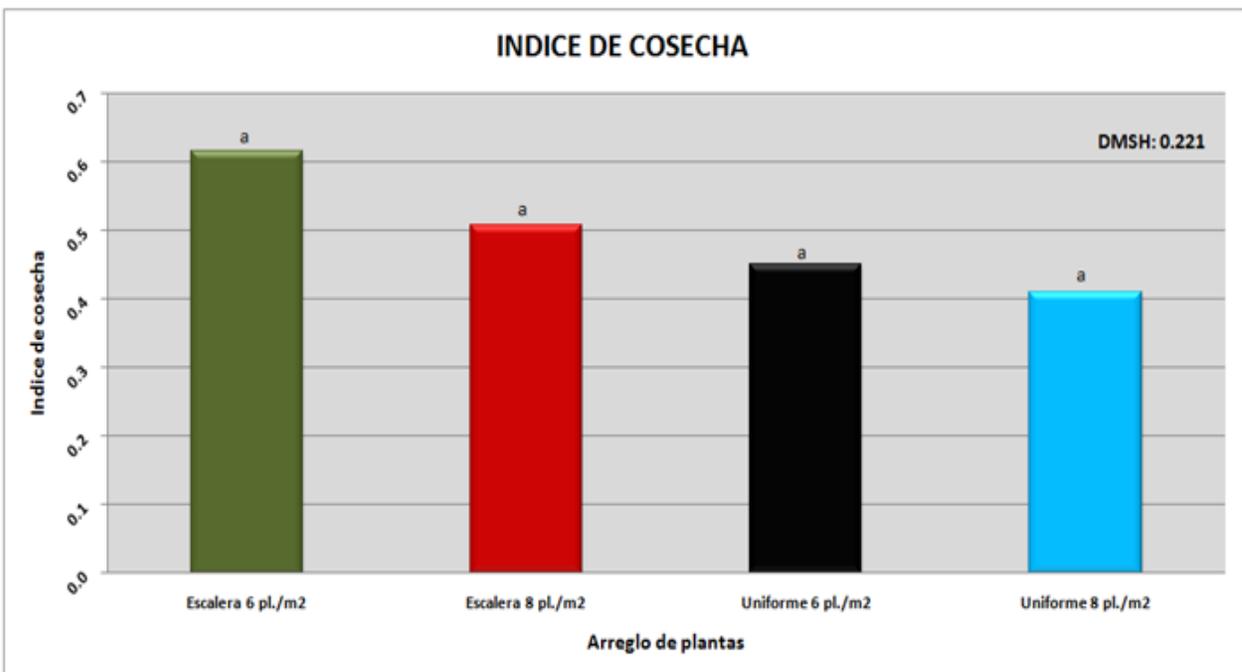


**Figura 24. Comportamiento de la tasa media de crecimiento del cultivo a lo largo del ciclo de trasplante a fin cosecha bajo dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

Letras diferentes dentro de cada juego de barras indica diferencias significativas entre tratamientos

## Índice de cosecha

En la Figura 25 se aprecia una fuerte tendencia de mayor índice de cosecha en el tratamiento de dosel escaleriforme de baja densidad respecto al uniforme de alta densidad. Una prueba de contrastes ortogonales entre doseles escaleriformes contra uniformes muestra que los primeros tienen un índice de cosecha significativamente mayor (datos no mostrados). La mejor distribución de RFA entre todas las hojas proporcionada por el dosel escaleriforme incrementa la tasa de fotosíntesis y con ello la capacidad de la fuente para translocar asimilados hacia los frutos en crecimiento (Sánchez, 1997).



**Figura 25. Comportamiento del índice de cosecha en dos arreglos de dosel y dos densidades de población.**

Letras diferentes entre barras indica diferencias significativas entre tratamientos

## VII. CONCLUSIONES GENERALES

De los resultados obtenidos en los experimentos y tomando en cuenta las hipótesis y objetivos generales planteados en este trabajo se pueden mencionar las siguientes conclusiones generales:

1. La poda de las tres primeras flores o la poda de las cuatro flores de la cuarta bifurcación, promovieron mayor número de frutos, lo que apoya la hipótesis planteada en el sentido de que al aminorar la fuerza de la demanda se puede lograr un mayor amarre de los frutos restantes; sin embargo esto no se tradujo en mayor rendimiento ya que los frutos amarrados fueron de menor peso medio.
2. No se encontraron diferencias en el amarre de fruto entre las variedades evaluadas pero 'Godzilla' dio más rendimiento por tener frutos con mayor peso.
3. Las plantas con disposición en forma de escalera, rindieron significativamente más por unidad de superficie que las plantas que forman un dosel uniforme y ello se debió a la cosecha de un mayor número de frutos por planta sin una disminución significativa del peso medio de los frutos. La TAN y la TCC también fueron más altas. Lo anterior ayuda a sustentar la hipótesis de que la disposición de las plantas en forma de escalera permite una distribución más uniforme de la RFA incidente y eso incrementa la capacidad de la fuente para producir asimilados, lo que se traduce en mayor amarre de frutos y mayor rendimiento.
4. Aunque el rendimiento fue similar para las dos densidades de población bajo dosel escaleriforme, agronómicamente es más conveniente la densidad de 6 plantas  $m^{-2}$ , dado que la semilla tiene un precio alto pero los frutos son de mayor tamaño, esto representa un factor de calidad que se paga con un mejor precio en el mercado.

## LITERATURA CITADA

- Aloni, B.; Karni, L.; Zaidman, Z.; Schaffer, A. A. 1996. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) flowers in relation to their abscission under different shading regimes. *Annals of Botany* 78, 163–168.
- Bakker, J. C. 1989. The effects of temperature on flowering, fruit set and fruit development of glasshouse sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticultural Science* 64: 313-320.
- Bastida C., O. A. 2012. Métodos de cultivo hidropónico de jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.) bajo invernadero basados en doseles escaleriformes. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 115 p.
- Beadle, C. L. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. en: Coombs, J.; Hall, D. O.; Long, S. P.; Scurlock, J. M. O. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. UNEP-CP. Chapingo, México. pp. 17-21.
- Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. AGT editor. México, D. F. 784 pp.
- Björkman, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. In: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B.; Ziegler, H. *Physiological Plant Ecology* 1. Responses to Physical Plant Environment. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 57-107.
- Cantliffe, D. J.; Vansickle, J. J. 2001. U.S. imports of colored bell peppers and the opportunity for greenhouse production of peppers in Florida. *Acta Horticulturae* 659: 81-85.
- Cebula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Horticulturae*, 412: 321-329.

- Challinor, P. F. 1996. Producción de pimiento en climas fríos. En: (Namesny, A. (Coordinador). Pimientos. Compendios de Horticultura 9. Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España. pp. 73-79.
- Charles-Edwards, D. A.; Doley, D.; Rimmington, J. R. 1986. Modeling Plant Growth and Development. Academic Press. Sídney, Australia. 235 p.
- Cruz, H. N.; Ortiz, C. J.; Sánchez, C. F.; Mendoza, C. M. C. 2005. Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivados en altas densidades. Revista Fitotecnia Mexicana 28: 287-293.
- Cruz, H. N.; Sánchez, C. F.; Ortiz, C. J.; Mendoza, C. M. C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. Agricultura Técnica en México 35: 70-77.
- Dophte, A. M.; Patil, B. N. 1989. Basic equations for growth studies. *In*: Dhopte, A. M. and Livera, M. M. (editors). Useful Techniques for Plant Scientists. Publication of Forum for Plant Physiologists. Akola, India. pp. 213- 218.
- FAOSTAT. 2013. Estadísticas de países productores y comercializadores de productos agrícola. Disponible en: <http://faostat.fao.org/>. Fecha de consulta (Octubre de 2015).
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. Informe Estadístico. Consultado 15-09-2015 en <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- FUMIAF (Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal). 2005. Cultivo de Pimiento en Invernaderos de Alta Tecnología en México. Consultado 01 de octubre de 2015. Página electrónica: [www.fumiaf.sagarpa.com.mx](http://www.fumiaf.sagarpa.com.mx)
- Gamayo, D. J. 1996. El cultivo protegido de pimiento. En: Namesny, V. A. (coordinadora). Pimientos. Compendios de Horticultura 9. Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España. pp. 33-39.

- Gardner, F. P., Pearce, R. B., Mitchell, R. L. 1990. Physiology of crop plants. Iowa State University Press. USA. 327 pp.
- Heuvelink, E. 1995. Effect of plant density on biomass allocation to the fruits in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Scientia Horticulturae*, 64(3):193-201.
- Heuvelink E.; Marcelis, L. F. M.; Körner, O. 2004. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper. *Acta Horticulturae* 633: 349-355.
- Jolliffe, P. A., Gaye, M. M. 1995. Dynamics of growth and yield components of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) to row covers and population density. *Scientia Horticulturae*, 62(3): 153-164.
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., Stoffella, P. J. 2004a. Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *HorTechnology*, 14: 507-513.
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., Vansickle, J. J. 2004b. U.S. imports of colored bell peppers and the opportunity for greenhouse production of peppers in Florida. *Acta Horticulturae*, 659: 81-85.
- Jurado, R., Nieto, N. M. 2003. El Cultivo de Pimiento Bajo Invernadero, pp. 541-568. In: Técnicas de Producción en Cultivos Protegidos. CAMACHO, F. Cajamar. Almería, España.
- Julián, C. O. 2005. Evaluación de sistemas de poda en pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivado en hidroponía bajo invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. 70 p.
- Lucero-Flores, J.M.; Sánchez-Verdugo, C. 2012. Inteligencia de mercado de pimiento morrón verde. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 83 p.

- Maaiké, A.; Yuntao, M.; Hemerik, L.; Heuvelink, E. 2009. Fruit set and yield patterns in six *Capsicum* cultivars. *HortScience*44(5):1296-1301.
- Marcelis, L.F.M.; Hofman-Eijer, L.R.B. 1997. Effects of seed number on competition and dominance among fruits in *Capsicum annuum* L. *Annals of Botany* 79, 687–93.
- Marcelis, L. F. M.; Heuvelink, E.; Hofman-Eijer, L.R.B.; Bakker, J. D.; Xue, L. B. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany*55: 2261-2268.
- McAvoy, R. J.; Janes, H. W.; Godfriaux, B. L.; Secks, M.; Duchai, D.; Wittman, W. K. 1989. The effect of total available photosynthetic photon flux on single truss tomato growth and production. *Journal of Horticultural Science*, 64(3): 331- 338.
- Méndez, G. T., Sánchez-del C. F., Sahagún, C. J., Contreras, M. E. 2005. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1): 185-192.
- Milla, A. 1996. Evolución del mercado de exportación del pimiento. En: (Namesny, A. (Coordinador). *Pimientos. Compendios de Horticultura* 9. Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España. pp. 73-79.
- Nuez V. F.; O. Gil O. R.; Costa G. J. 1996. *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Papadopoulos, A.P. 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Horticulturae*, 69: 1-29.
- Paschold, P.; Zengerle, K. H. 2000. Sweet pepper production in a closed system in mound culture with special consideration to irrigation scheduling. *Acta Horticulturae*, 554: 329-333.

- Reséndiz, M. R. C. 2010. Evaluación agronómica de variedades de chile morrón manejadas con diferentes tipos de poda y densidades de población. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Horticultura. Chapingo, México. 90 p.
- Reséndiz, M. R. C.; Moreno, P. E.; Sánchez-del C. F.; Rodríguez, P. J. E.; Peña, L. A. 2010. Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3): 223-229.
- Resh, M. H. 2001. *Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción*. Quinta edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.
- Rylsky, I.; Spigelman, M. 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *ScientiaHort.* 29: 31–35.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. *Agricultura Protegida 2012*. Disponible en la página web. (<http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/AgriculturaProtegida2012.aspx>). Fecha de consulta (Agosto de 2015).
- SAGARPA, 2016. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Fecha de consulta (Septiembre de 2016). Página electrónica: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Sánchez del C. F.; Escalante, R. E. 1989. *Hidroponía: Un sistema de producción*. UACH. Chapingo, México (tercera edición) 194 p.
- Sánchez del C., F. 1997. Valoración de características para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 189 p.

- Sánchez del C., F.; Ortiz C. J.; Mendoza C. C.; Hernández, G. V. M.; Colinas, L. M. 1999. Valoración de características morfológicas para la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33(1): 21-30.
- Sánchez del C., F.; Moreno P., E. del C.; Cruz A., E. 2009. Producción de jitomate hidropónica 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.; Coatzin, R. R.; Colinas, L. T.; Peña, L. A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(3): 207-214.
- Sánchez del C, F.; Moreno, P. E.; Contreras, M. E. 2012. Development of alternative commercial soilless systems I: Tomato. *Acta Horticulturae*, 947: 179-187.
- Sánchez del C. F.; Bastida, C. O. A.; Moreno, P. E.; Contreras, M. E.; Sahagún, C. J. 2014. Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(3):239-251.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Agricultura Protegida 2012. Consultado 12-08-2015 en <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Paginas/AgriculturaProtegida2012.aspx>.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2016. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Consultado 15-09- 2016 en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Serrano C. Z. 2011. Prontuario del cultivo de pimiento. Disponible en línea: <http://www.zoiloserrano.com/wpcontent/uploads/2012/03/Tr%C3%A1iler%20del%20libro%20Prontuario%20del%20cultivo%20de%20pimiento.pdf>. Fecha de consulta (Mayo 2016).

SIAP. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola 2014. Disponible en: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). Fecha de consulta (Octubre 2015).

Statistical Analysis System (SAS Institute). 2002. SAS/STAT 9.1 user's guide. Cary, NC, USA: Autor. Obtenido de <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug-introduction/61750/PDF/default/statugintroduction.pdf>

Taiz, L; Zeiger, E. 2002. Plant Physiology (Third Edition). Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA. 623 pp.

Vázquez-Rodríguez, J. C.; Sánchez-del Castillo, F.; Moreno-Pérez, E. C. 2007. Producción de jitomate en doseles escaleriformes bajo invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura, 13(1): 55-62.

Villegas, C.R.; González, H. V.; Livera, M. M.; Sánchez-del Castillo, F.; Osuna, E. T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. Revista Fitotecnia Mexicana, 27(4): 333-338.

Weaver, R. J. 1982. Reguladores de Crecimiento de las Plantas en la Agricultura. Trillas, México, D. F. México. 622 p.

Wien, H. C. 1999. Peppers. In: Wien, H. C. (editor). The physiology of vegetable crops. CABI Publishing. Oxon, UK. 259-293pp.