

PRODUCCIÓN DE PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.) EN CICLOS CORTOS

BELL PEPPER PRODUCTION (*Capsicum annuum* L.) IN SHORT CYCLES

Felipe Sánchez del Castillo¹, Esaú C. Moreno-Pérez^{1*}, R. Clemente Reséndiz-Melgar²,
M. Teresa Colinas-León¹, J. Enrique Rodríguez Pérez¹

¹Fitotecnía. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. ²CBTA
No. 76, km 115. Carretera México-Tellixtlahuaca. 68590. Santa María Tecmovaca, Oaxaca
(esaump10@yahoo.com.mx).

RESUMEN

En México la producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en invernadero y con hidroponía se inició hace unos 20 años. Los productores del país han adoptado sistemas de producción desarrollados en otros países, principalmente en Europa con condiciones climáticas y socioeconómicas diferentes. El propósito de este estudio fue evaluar el rendimiento de las variedades de pimiento morrón Orión y Triple Star, establecidas en tres densidades de población (5, 6.5 y 8 plantas m⁻²) en invernadero. Las plantas se despuntaron a la altura de la tercera o cuarta ramificación para obtener ciclos cortos de cultivo desde el trasplante y cosecha menores a cuatro meses. El cultivo hidropónico incluyó arena de tezontle como sustrato. El diseño experimental fue de bloques al azar en arreglo factorial con cuatro repeticiones. Los caracteres morfológicos y variables del rendimiento fueron evaluados. Excepto el porcentaje de amarre de fruto (%AF), las variables morfológicas y del rendimiento fueron superiores en las plantas despuntadas en la cuarta ramificación respecto a las despuntadas en la tercera. Aunque no hubo diferencias significativas en %AF y número de frutos entre variedades, el rendimiento por planta y por unidad de superficie fue mayor en la variedad Orión. Con la densidad de 8 plantas m⁻² el rendimiento se redujo debido a la disminución significativa de %AF. Con plantas despuntadas a la cuarta ramificación se obtuvieron 6.4 kg m⁻², equivalentes a 192 t ha⁻¹ año⁻¹, en un ciclo de cuatro meses de trasplante al final de la cosecha.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., poda, densidad de población, hidroponía, sistemas de producción, pimiento dulce.

ABSTRACT

Hydroponic production of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) in greenhouses began in Mexico twenty years ago. Mexican producers have adopted production systems developed in other countries, principally those in Europe with different climatic and socioeconomic conditions. The purpose of this study was to evaluate the yield of the Orion and Triple star bell pepper varieties, in three established population densities (5, 6.5, and 8 plants m⁻²) in greenhouse conditions. The plants were trimmed at the height of the third or fourth branch in order to obtain short cultivation cycles from the transplant and a harvest of less than four months. The hydroponic cultivation included the use of volcanic tuff (*tezontle*, for its name in Spanish) as a substrate. The experimental design was random block in factorial arrangement with four repetitions. The morphological characters and yield variables were evaluated. With the exception of the fruit set percentage (%FS), the morphological and yield variables were greater in the plants that were trimmed at the fourth branch than those trimmed at the third. Even though there were no significant differences in the %FS and the number of fruits between varieties, the yield per plant and per unit of area was greater in the Orion variety. With a density of 8 plants per m⁻², the yield decreased, a consequence of the significant reduction of %FS. In regards to the plants trimmed at the fourth branch, a result of 6.4 kg m⁻² was obtained, equivalent to 192 t ha⁻¹ año⁻¹, in a cycle of four months from the transplant to the end of the harvest.

Key words: *Capsicum annuum* L., pruning, population density, hydroponics, production systems, bell peppers.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: septiembre, 2016. Aprobado: enero, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 437-446. 2017.

INTRODUCCIÓN

La producción de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) en invernadero con hidroponía, en México, se inició hace cerca de 20 años. Los productores del país han adoptado sistemas de producción desarrollados en otros países, principalmente en Europa con condiciones climáticas y socioeconómicas diferentes. Las plantas de pimiento morrón cultivadas en invernadero muestran crecimiento indeterminado (Jovicich *et al.*, 2004) y ramificación de sus tallos, por lo que el tallo principal se divide en dos o más ramas. Cada una desarrolla una a tres hojas, se ramifica de nuevo, y este crecimiento se repite sucesivamente; en cada ramificación se forma un fruto. Dos sistemas de producción de pimiento se manejan convencionalmente con base en este crecimiento. Uno consiste de podas, para mantener cada planta con dos tallos (poda en V o sistema holandés). En este sistema se establecen densidades de población de 2 o 3 plantas m^{-2} (Heuvelink *et al.*, 2004). En el otro sistema la planta crece libre en forma arbustiva (sistema español) y con 3 plantas m^{-2} (Jovicich *et al.*, 2004). En ambos sistemas, el ciclo de cultivo dura de 8 a 10 meses del trasplante a la cosecha, más 45 a 60 d que la plántula se desarrolla en el semillero; en este sistema se obtiene solo un ciclo de cultivo al año (Heuvelink *et al.*, 2004).

En el sistema español, los primeros frutos desarrollados ejercen competencia mayor por fotoasimilados con el crecimiento vegetativo y reproductivo que continúa en el hábito indeterminado. La consecuencia principal es un número elevado de frutos abortivos al inicio de su desarrollo. Después de cosechar los primeros frutos, los frutos nuevos dejan de abortar. Esto ocasiona que durante el ciclo de cultivo se obtenga la producción en flujos de cosecha separados en el tiempo, por dos a tres meses. En este sistema hay dos flujos de cosecha y rendimientos alrededor de 100 t ha^{-1} (Cantliffe y Vansickle 2001; Jovicich *et al.*, 2004).

Con la poda tipo holandés se busca la distribución equilibrada de los azúcares de la fotosíntesis entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo, y producir solo un fruto en cada nudo donde se bifurcan los tallos. Así, los frutos abortivos se evitan casi completamente y la cosecha es continua durante el año. Pero la acumulación de la producción en el tiempo es lenta y dificulta programar la producción

INTRODUCTION

Hydroponic production of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) in greenhouses began in Mexico twenty years ago. Mexican producers have adopted production systems developed in other countries, principally those in Europe with different climatic and socioeconomic conditions. Bell pepper plants that are cultivated in greenhouses show indeterminate growth (Jovicich *et al.*, 2004) and branching in their stems, therefore dividing the principal stem in two or more branches. Each branch develops one to three leaves, it then branches again, and this growth repeats successively; normally in each branching, a fruit is formed. Conventionally, two production systems are used based on this growth. One consists of pruning to maintain each plant with two stems (prune in a V shape, also called the Dutch system). In this system population densities are established in 2 or 3 plants m^{-2} (Heuvelink *et al.*, 2004). In the other system, the plant grows freely in a bush-like form (Spanish System) and has 3 plants m^{-2} (Jovicich *et al.*, 2004). In both systems, the growing cycle lasts eight to ten months from transplant to harvest, in addition to 45 to 60 more d for the seedling to develop in the seedbed: In this system, it is possible to obtain only one growing cycle per year (Heuvelink *et al.*, 2004).

In the Spanish system, the first fruits developed exert greater competition for photoassimilates with the vegetative and reproductive growth that continues in the indeterminate fashion. The main consequence is an elevated number of aborted fruits at the beginning of its development. After harvesting the first fruits, the new fruits stop aborting. This causes the production to be obtained in cultivation flows separated by a two to three-month time period during the growing cycle; In this system, there are two harvesting flows and a yield around 100 t ha^{-1} (Cantliffe y Vansickle 2001; Jovicich *et al.*, 2004).

Two-stem pruning method, the balanced distribution of the sugars from the photosynthesis between the vegetative and reproductive growth is sought, along with producing only one fruit in each joint where the stems branch. This way, the abortive fruits almost completely avoid one another and the harvest is continuous throughout the year. However, the accumulation of production time is slow and it is difficult programming the production for markets

para mercados con periodos cortos de precios favorables para el productor. En invernaderos tecnificados los rendimientos son hasta 250 t ha⁻¹ (Cantliffe y Vansickle, 2001; Heuvelink *et al.*, 2004), aunque los costos de producción son muy elevados.

El cultivo del pimiento morrón, del inicio al fin de la cosecha, es largo. La cosecha generalmente, se obtiene cuando el valor del producto oscila fuertemente en el mercado y los mejores precios se obtienen en ventanas específicas, generalmente bien definidas y breves. Así, para los productores de esta hortaliza sería deseable disponer de sistemas de producción que permitan concentrar la cosecha cuando los precios son mayores.

Hay regiones con climas extremos, que dificultan el cultivo del pimiento, en varios meses del año, aun en invernadero. Un sistema para producción en ciclo de cultivo corto, con densidad de población alta, podría permitir concentrar la cosecha y evitar esas condiciones adversas, con costos menores de producción; además, podría disminuirse el riesgo de enfermedades por lo corto del ciclo (Reséndiz *et al.*, 2010). Eventualmente, en sistema como el descrito, en climas templados, pueden obtenerse varios ciclos de cultivo por año, con rendimientos similares a los del norte de Europa, pero con costos de producción menores (Cruz *et al.*, 2009).

El ciclo de cultivo de pimiento puede acortarse a tres o cuatro meses después del trasplante con plántulas de 60 d de edad, cuando se despuntan las yemas terminales de todas las ramas arriba de la tercera o cuarta ramificación (Cruz *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2010). La densidad de población se incrementa para compensar el rendimiento menor por planta, por el área foliar menor por planta.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de dos variedades de pimiento morrón despuntadas arriba de la tercera y cuarta ramificación del tallo, establecidas en tres densidades de población y ciclos de cultivo de trasplante para igualar o disminuir a cuatro meses la cosecha e incrementar la productividad anual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en un invernadero de 50, 11 y 4 m de longitud, anchura y altura, en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O y 2250 m de altitud).

with short time frames of price favorable for the producer. In high-tech greenhouses, yields of up to 250 t ha⁻¹ are achieved (Cantliffe y Vansickle, 2001; Heuvelink *et al.*, 2004), although the costs of production are very elevated.

Bell pepper cultivation, from beginning to end of the harvest is long. Generally, the harvest is obtained when the value of the product greatly fluctuates in the market and the best prices are obtained in specific windows, normally well-defined and in a short time frame. Thus, for the producers of this crop, it would be desirable to dispose of production systems that allow the harvest to be concentrated when the prices are highest.

There are regions with extreme climates that hamper the cultivation of the pepper for various months of the year, even in a greenhouse. Having a production system with a short growing cycle and high population density, could enable the concentration of the harvest, thus avoiding these adverse conditions with lower production costs; furthermore, the risk of crop disease could be reduced due to the short cycle (Reséndiz *et al.*, 2010). Occasionally, a system like the one just described, could, in temperate climates, obtain various growing cycles per year, with yields similar to those in the north of Europe, but with lower production costs (Cruz *et al.*, 2009).

The growing cycle of the pepper could be cut three or four months after the transplant with seedlings 60 d old, when the terminal buds are trimmed from all the branches above the third or fourth branch (Cruz *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2010). The population density increases to compensate for the lower yield of the plant because of the smaller leaf area per plant.

Based on this, the objective of this study was to evaluate the yields of two bell pepper varieties, budding above the third or fourth branch of the stem, established in three population densities and with transplant growing cycles in order to equal or reduce the four months of harvest, thus increasing annual production.

MATERIALS AND METHODS

The study took place in a greenhouse with the dimensions of: 50 m in length, 11 m in width, and 4 m in height in the experimental field of the Autonomous University of Chapingo, State of Mexico (19° 29' N, 98° 53' O y 2250 m above sea level).

Orión y Triple Star son las variedades que se evaluaron. Las plántulas crecieron en macetas de 700 cm³, con arena de tezontle, con partícula de 1 a 3 mm de diámetro, como sustrato. Los primeros 8 d el riego se hizo con agua, una semana después de la emergencia y hasta el trasplante se utilizó una solución nutritiva con (mg·L⁻¹): N 100; P 30; K 125; Ca 125; Mg 30; S 110; Fe 1.5; B 0.3; Mn 0.3; Cu 0.05; Zn 0.05. Después del trasplante y hasta el final del ciclo, la solución nutritiva contenía el doble de lo utilizado en la etapa de plántula, conductividad eléctrica de 2.5 dS m⁻¹ y pH entre 6 y 6.5.

El trasplante se efectuó con plántulas de 60 d de edad en un sistema hidropónico abierto de camas de cultivo (1.2 m de anchura y 0.3 m de profundidad), rellenas con arena de tezontle rojo (partículas de 3 a 5 mm de diámetro) y un sistema de riego por goteo (en cintillas con emisores a cada 20 cm). Las plantas se sostuvieron con hilo de rafia en la base del tallo, fijado a alambres a lo largo del invernadero.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y arreglo factorial de tratamientos. Los factores y niveles fueron:

Despunte (ND): eliminación de yemas apicales en la tercera o cuarta ramificación, densidades de población (DP): 5, 6.5 y 8 plantas m⁻² de invernadero, variedad (V): Orión y Triple Star. Con la combinación de los factores y niveles se tuvieron 12 tratamientos. La unidad experimental fue 1.5 m².

Las evaluaciones incluyeron:

Índice de área foliar (IAF). El área foliar medida con un integrador (LICOR® 300 Lincoln, Nebraska) se dividió entre la superficie por planta en cada densidad.

Amarre de frutos (% AF). Al número de flores en antesis se restó el número de frutos por planta y se expresó en porcentaje.

Peso seco total de planta (PST). Las hojas, el tallo, la raíz y los frutos de dos plantas por cada unidad experimental se secaron a 70 °C; el peso seco se expresó en gramos.

Peso medio de fruto fresco (PMF) se expresó en gramos.

Además se calculó el número de frutos por planta (NFP), número de frutos por m² (NFA), rendimiento (kg) por planta (RP) y rendimiento por área (RA) en kg·m⁻².

El análisis de los datos incluyó ANDEVA y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$).

Orion and Triple Star are the varieties that were evaluated. The seedlings grew in pots that had 700 cm³ and with volcanic tuff (*tezontle*, for its name in Spanish) and particles of 1 to 3 mm in diameter that were used as substrate. For the first eight days, they were irrigated with water; a week after their emergence and until their transplant, a nutritive solution with (mg·L⁻¹): N 100; P 30; K 125; Ca 125; Mg 30; S 110; Fe 1.5; B 0.3; Mn 0.3; Cu 0.05; Zn 0.05, was used. After the transplant and until the end of the cycle, the nutritive solution contained double of what was used for the seedling, with an electrical conductivity of 2.5 dS m⁻¹ and pH between 6 and 6.5.

The transplant was carried out with 60-day-old seedlings in an open hydroponic system of cultivation beds (1.2 m wide and 0.3 m deep), filled with red volcanic tuff (particles of 3 to 5 mm in diameter) and a drip irrigation system (in strips with transmitters every 20 cm). The plants were supported by a strand of raffia at the base of the stem, fixed to wires along the greenhouse.

The experimental design was a complete random block design with four repetitions and factorial arrangement of treatments. The factors and levels were:

Trimming (TL): elimination of apical buds in the third or fourth branch; Population density (PD): 5, 6.5, and 8 plants per m⁻² of greenhouse; Variety (V): Orion and Triple Star. With the combination of the factors and levels, 12 treatments were carried out. The experimental unit was 1.5 m².

The evaluations included:

Index of leaf area. Leaf area, which was measured with an integrator (LICOR® 300 Lincoln, Nebraska), was divided between the plant surface per plant in each density.

Fruit set (%FS). The number of fruits per plant was subtracted from the number of flowers in anthesis and was expressed in percent.

Total dry weight of the plant (TDW). The leaves, the stem, the root, and the fruit of two plants for each experimental unit were dried at; the dry weight was expressed in grams.

Median weight of fresh fruit (MFW) was expressed in grams.

Furthermore, the number of fruit per plant (NFP); the number of fruit per m² (NFA), yield (kg) per plant (YP) and yield per area (YA) in kg·m⁻².

The analysis of the data included a variance analysis (ANOVA) and comparison of means (Tukey, $p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró efectos altamente significativos de cada factor en la mayoría de las variables, y solo en algunos casos la interacción fue significativa. La interacción entre los niveles de despunte (ND) y la densidad de población (DP) fue altamente significativa para el número de frutos por planta y por unidad de área, y la de ND con variedad (V) fue altamente significativa para el porcentaje de amarre de frutos y el número de frutos por área (Cuadro 1). Las demás interacciones no fueron significativas. Esas interacciones explican porque con la densidad menor, el número de frutos por planta fue mayor con despunte en la cuarta ramificación que en la tercera (7.2 y 4.4 frutos). Al aumentar la densidad de 5 a 6.5 planta m^{-2} , con despunte en la tercera ramificación no se afectó el número de frutos por planta, pero con el despunte en la cuarta ramificación sí disminuyó (7.18 contra 5.75 frutos por planta); al aumentar la densidad de 6.5 a 8 plantas m^{-2} disminuyó el número de frutos por planta en ambos niveles de despunte. Una explicación de estos resultados es que con la poda en la tercera ramificación las plantas formaron poca área foliar por lo que al pasar de 5 a 6.5 plantas m^{-2} la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) por planta no se afectó y el número de frutos por planta se mantuvo. En contraste, con la poda en la cuarta

RESULTS AND DISCUSSION

The variance analysis (Table 1) showed highly significant effects for each factor in the majority of the variables, and only in some cases was the interaction significant. The interaction between trimming levels (TL) and the population density (PD) resulted highly significant for the number of fruits per plant and unit of area, whereas the SL with variety (V) resulted highly significant for the percentage of fruit set and the number of fruits per area (Table 1). All the other interactions were not significant. These interactions allow us to explain why with less density, the number of fruits per plant was greater with trimming at the fourth branch than with the third (7.2 and 4.4, respectively). By increasing the density from 5 to 6.5 plants per m^{-2} , there was a reduction in the number of fruits per plant at both levels of trimming. An explication of these results is that with the pruning at the third branch, the plants formed little leaf area; consequently, upon passing from 5 to 6.5 plants m^{-2} , the interception of the active photosynthetic radiation (APR) per plant was not notably affected and the number of fruits per plant stayed the same. Contrastingly, with the pruning at the fourth branch, the leaf area per plant was greater than with the pruning at the third branch; for which the competition for the APR certainly increased. There was less photoassimilates per plant and with

Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza de plantas de chile morrón, variedades Orión y Triple Star, despuntadas en la tercera y cuarta ramificación, en tres densidades de población.

Table 1. Mean squares of the variance analysis of bell pepper plants; Orion and Triple Star varieties, trimmed at the third and fourth branch in three population densities.

F.V.	G.L.	IAF	%AF	PST	PMF	RP	RA	NFP	NFA
ND	1	65.6*	12 420*	36 181*	0.01	2.11*	208.4*	12 420*	7280*
DP	2	5.2*	1554*	8930*	0.02*	1.78*	22.3*	1554*	244*
V	1	6.3*	0.4	30 271*	0.07*	1.51*	138.3*	0.4	60
ND*DP	2	0.2	164	137	0.01	0.001	1.8	164*	141*
ND*V	1	0.4	311*	912	0.00	0.002	0.2	311	337*
V*DP	2	0.02	5.9	482	0.01	0.05	0.6	5.9	1.2
ND*V*DP	2	0.05	1.2	53	0.00	0.00	0.1	1.2	4.5
Modelo	11	3.66*	754*	4008*	0.01*	0.33*	18.8*	754*	386*
Error	36	0.03	43.2	253.4	0.01	0.02	1.9	43.2	31.9

F.V.: fuente de variación, GL: grados de libertad, IAF: índice de área foliar, %AF: porcentaje de amarre de fruto, PST: peso seco total, PMF: peso medio de fruto, RP: rendimiento por planta, RA: rendimientos por área (m^2), NFP: número de frutos por planta y NFA: número de frutos por m^2 . ♦ SV: Source of variation, DL: degrees of liberty; LAI: leaf area index, %FS: percentage of fruit set, TDW: Total dry weight; MFW: Median Fruit weight; YP: yield per plant; YA: yield per area (m^2), NFP: number of fruits per plant; and NFA: number of fruits per m^2 .

ramificación el área foliar por planta fue mayor que con poda en la tercera, por lo que la competencia por la RFA aumentó, hubo menos fotoasimilados por planta y con ello aborción mayor. Con el incremento de la densidad, de 6.5 a 8 plantas m^{-2} , la presión de densidad afectó la intercepción de RFA en ambos niveles de despunte. Reséndiz *et al.* (2010) evaluaron 17 variedades de pimiento morrón, con 4 y 6 plantas m^{-2} , podadas en la cuarta ramificación, y también observaron que el número de frutos por planta se redujo con la densidad alta, aunque por unidad de superficie no hubo diferencias.

El despunte en la tercera ramificación, con la densidad de 5 a 6.5 plantas m^{-2} , el número de frutos incrementó de 35 a 44; con el despunte en la cuarta bifurcación el número de frutos fue el mismo (58). Al aumentar de 6.5 a 8 plantas m^{-2} en los dos niveles de despunte no hubo aumento.

El efecto significativo mayor de las variables se observó en los factores principales. Entonces, se analizaron las variables por factor de estudio.

Nivel de despunte

El despunte arriba de la cuarta ramificación incrementó IAF, el peso seco total (PST), el rendimiento por planta (RP), el rendimiento por área (RA), el número de frutos por planta (NFP) y de frutos por áreas (NFA), pero disminuyó el porcentaje de amarre de frutos (% AF), respecto al despunte en la tercera ramificación (Cuadro 2).

El IAF de las plantas podadas en la cuarta ramificación estuvo entre los valores señalados como óptimos para pimiento (Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009), lo que incrementó la intercepción de radiación solar por el dosel, aumentó el peso seco por

it, greater abortion. With the increase in density, from 6.5 to 8 plants m^{-2} , the pressure of the density affected the interception of the APR at both levels of trimming. Reséndiz *et al.* (2010) evaluated 17 varieties of bell pepper, with 4 and 6 plants m^{-2} and pruning at the fourth branch; and they also observed that with the high density, the number of fruits per plant decreased, although per unit of area there were no differences.

For the trimming at the third branch, with the density of 5 to 6.5 plants m^{-2} , the number of fruit increased from 35 to 44; with the trimming at the fourth bifurcation, the number of fruit was the same (58). Upon increasing from 6.5 to 8 plants m^{-2} , there was no increase at any level of trimming.

The main significant effect of the variables was observed in the main factors. Therefore, the variables were analyzed per study factor.

Levels of trimming

Trimming above the fourth branch increased LAI, total dry weight (TDW), yield per plant (YP), yield per area (YA), the number of fruits per plant (NFP) and fruits per area (NFA); however, there was a decrease in the percentage of fruit set (%FS) with regards to the trimming at the third branch (Table 2).

The LAI of the plants pruned at the fourth branch was between the values signaled as optimum for the pepper (Cruz *et al.*, 2005; Cruz *et al.*, 2009), which increased the interception of solar radiation per canopy, increased the dry weight per plant and the yield per plant and per area (Table 2).

The greatest yield (6.4 kg m^{-2}) with the pruning at the fourth branch was also due to the greater

Cuadro 2. Comparación de medias de variables en plantas de pimiento morrón despuntadas a la 3ra y 4ta ramificación.
Table 2. Comparison of variables means in bell pepper plants trimmed at the third and fourth branch.

Nivel de despunte	IAF	%AF	PST (g)	PMF (g)	RP (kg.planta ⁻¹)	RA (kg.m ⁻²)	NFP	NFA (m ²)
3ª ramificación	2.1b	64.04a	100.97b	150a	0.62b	4.15b	4.15b	27.6b
4ª ramificación	3.8a	41.29b	139.80a	160a	0.96a	6.43a	5.98a	40.1a
DMSH	0.06	2.68	6.48	10	0.06	0.56	0.23	1.5

IAF: índice de área foliar, %AF: porcentaje de amarre de frutos, PST: peso seco total, PMF: peso promedio del fruto, RP: rendimiento por planta, RA: rendimiento por área, NFP: número de frutos por planta y NFA: número de frutos por área. ♦ LAI: leaf area index; %SF: percent of fruit set; TDW: total Dry weight; MFW: median fruit weight; YP: yield per plant; YA: yield per area; NFP: number of fruit per plant; and NFA: number of fruit per area.

planta y el rendimiento por planta y por área (Cuadro 2).

El rendimiento mayor (6.4 kg m^{-2}) con la poda en la cuarta ramificación también se debió al número mayor de frutos por planta y por unidad de superficie, sin afectar el peso medio de fruto. Este número mayor de frutos con la poda en la cuarta ramificación fue 15 (equivalentes a uno por horqueta), y con la poda en la tercera ramificación sólo se obtendrían siete frutos por planta. El número frutos por planta con la poda en la cuarta ramificación en este estudio fue similar a lo reportado por Reséndiz *et al.* (2010).

La temperatura, la humedad relativa y las hormonas afectan las relaciones fuente-demanda y el amarre de frutos (Heuvelink *et al.*, 2004; Marcelis *et al.*, 2004; Peil y Galvez, 2005). En particular, las citocininas tienen una función importante en la división celular y en la demanda de azúcares (Lambers *et al.*, 2008), pueden tener efectos en el amarre y crecimiento de los frutos y en el rendimiento final. Pero el porcentaje bajo de frutos en este estudio puede atribuirse a la cantidad alta de días nublados durante el desarrollo de los frutos. Este efecto lo documentaron Marcelis *et al.* (2004), Urrestarazu (2004) y Reséndiz *et al.* (2010). Con base en datos meteorológicos de la Universidad Autónoma Chapingo (datos no mostrados), 75 % de los días del ciclo de cultivo fueron nublados o parcialmente nublados; por lo que, probablemente los fotoasimilados fueron insuficientes para mantener los frutos en la planta y su desarrollo, pues el pimiento requiere irradiancia alta (Turnes y Wien, 1994; Urrestarazu, 2004), al menos $700 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el día durante la floración y fructificación (Guenkov, 1983). Este flujo fotónico no se alcanzó en los días nublados en nuestro estudio.

Densidad de población

Con el aumento en la densidad de población de 5 a 8 plantas m^{-2} se esperaría que el rendimiento por área también incrementara. Este efecto no se observó; al contrario, disminuyó significativamente (Cuadro 3). Con esta densidad de población también PST, PMF, RP, RA y NFP se redujeron significativamente, posiblemente por efecto de irradiancia menor (Jovicich *et al.*, 2004) por la densidad alta de población y los días nublados durante la floración. Los azúcares producto de la fotosíntesis, podrían ser insuficientes para asegurar el amarre de los frutos cuando la

number of fruits per plant and per unit of area, without affecting the median weight of the fruit. This higher number of fruits pruned at the fourth branch was 15 (equal to one per bifurcation), while the pruning at the third branch would only obtain seven fruits per plant. The number of fruit per plant with the pruning at the fourth branch in this study is similar to that reported by Reséndiz *et al.* (2010).

The temperature, the relative humidity and the hormones affect the source-demand relations and the fruit set (Heuvelink *et al.*, 2004; Marcelis *et al.*, 2004; Peil y Galvez, 2005). Particularly, the cytokinins play an important role in cellular division and the demand of sugars (Lambers *et al.*, 2008); they can have effects on the fruit set, growth of the fruit and in the final yield. However, the low percentage fruits in this study can be attributed to the high quantity of cloudy days during the development of the fruits. This effect was documented by Marcelis *et al.* (2004), Urrestarazu (2004) and Reséndiz *et al.* (2010). Based on meteorological data from the Autonomous University of Chapingo (data not shown), 75 % of the days of the growing cycle were cloudy or partially cloudy; as such, the photoassimilates were probably insufficient to maintain the fruit on the plant, along with its subsequent development, as the pepper requires high irradiance (Turnes y Wien, 1994; Urrestarazu, 2004), at least $700 \mu\text{m m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in the day during flowering and fruition (Guenkov, 1983). This photon flow was not reached on the cloudy days of our study.

Population density

With the increase in the population density from 5 to 6 plants m^{-2} , we would expect to see an increase in the yield per area as well. This effect was not observed, and quite the contrary, it significantly decreased (Table 3). With this population density, TDW, MFW, YP, YA, and NFP also significantly decreased, probably because of the low irradiance (Jovicich *et al.*, 2004) for the high population density and the cloudy days during flowering. The sugars, product of the photosynthesis, could be insufficient to ensure the fruit set when the density increases, for when the contribution of sugars decreases in bell peppers, the absorption of flowers and fruits increase linearly (Marcelis *et al.*, 2004). The decrease in the dry weight of the plant as well as the increase in

Cuadro 3. Comparación de medias de variables en plantas de pimiento morrón establecidas en tres densidades de población.
Table 3. Comparison of variable means in bell pepper plants for three population densities.

Densidad (Plantas m ⁻²)	IAF	%AF	PST (g)	PMF (g)	RP (kg por planta)	RA (kg m ⁻²)	NFP	NFA (m ²)
5	2.62c	59.15a	136.84a	180a	1.05a	5.57a	5.81a	31.0b
6.5	2.92b	53.54b	120.88b	160b	0.81b	5.43a	5.06b	33.8a
8	3.42a	45.30c	103.44c	130c	0.56c	4.42b	4.31c	34.5a
DMSH	0.10	3.93	9.52	19	0.08	0.83	0.33	2.2

IAF: índice de área foliar, %AF: porcentaje de amarre de frutos, PST: peso seco total, PMF: peso medio del fruto, RP: rendimiento por planta, RA: rendimiento por área, NFP: número de frutos por planta, NFA: número de frutos por área y DMSH: diferencia mínima significativa honesta. ♦ LAI: leaf area index; %SF: percent of fruit set; TDW: total Dry weight; MFW: median fruit weight; YP: yield per plant; YA: yield per area; NFP: number of fruit per plant; NFA: number of fruit per area; MHSD: minimum honest significant difference.

densidad se aumenta, pues en Chile morrón cuando disminuye el aporte de azúcares, la absorción de flores y frutos incrementa linealmente (Marcelis *et al.*, 2004). La disminución del peso seco de planta con el incremento de la densidad de población también lo documentaron Cruz *et al.* (2005) y Agarwal *et al.* (2007).

Dado que no hubo diferencias significativas en el peso medio de fruto entre ambos sistemas de despunte, se deduce que en las condiciones ambientales durante el desarrollo del cultivo, con poda en la tercera y cuarta ramificación, la densidad adecuada fue 6.5 y 5 plantas m⁻². Con esta última se obtuvieron más frutos por unidad de superficie, aunque el rendimiento por m² fue el mismo en ambas densidades. Para un fruto tipo blocky, con buena textura y forma, como los de este estudio, y con el peso medio en ambas densidades son aceptables para el mercado nacional y para exportación.

Variedades

El RA fue mayor en la variedad Orión respecto a Triple Star (Cuadro 4). El número de frutos por área fue igual en ambas variedades, por lo que la diferencia se debió a que el peso medio del fruto en Orión fue 50 g por fruto mayor que en Triple Star. Orión también mostró PST mayor. Aunque IAF de Triple Star fue estadísticamente mayor, ambos valores son cercanos a tres, lo que es adecuado para el porcentaje alto de intercepción de RFA (Gardner *et al.*, 1995).

Cuando el despunte se hizo en la tercera ramificación, las dos variedades mostraron porcentajes de amarre de frutos altos (62 % en Orión y 66 % en Triple Star), pero cuando se despuntó en la cuarta

population density was also documented by Cruz *et al.* (2005) and Agarwal *et al.* (2007).

Given that there were no significant differences in the mean weight of the fruit between both trimming systems, it can be deduced that in the environmental conditions during the development of growth, with pruning at the third and fourth branch, the appropriate density was 6.5 and 5 plants m⁻². With the latter density, more fruit per unit area was obtained, even though the yield per m² was the same in both densities. For a blocky-type fruit, with good texture and form, like those in the study, and with mean weight in both densities, these are acceptable for the national market and for export.

Varieties

The YA was greater in the Orion variety than in the Triple Star (Table 4). The number of fruits per area was the same in both varieties, for which the difference was due to the fact that the mean weight of the Orion fruit was 50 g per fruit, more than that of Triple Star. Orion also exhibited a greater TDW. Even though the LAI of Triple Star was statistically greater, both values are close to three, which is adequate for the high interception percentage of APR (Gardner *et al.*, 1995).

When the trimming occurred at the third branch, the two varieties showed high fruit set percentages (62 % in Orion and 66 % in Triple Star), but when the trimming occurred at the fourth branch, both varieties decreased in %SF, but the great effect was observed in Triple Star (50 % compared to 39 %). That means that only close to half of the fruits that could potentially be developed were obtained.

Cuadro 4. Comparación de medias de plantas despuntadas en la tercera y cuarta ramificación en pimiento morrón en tres densidades de población.**Table 4. Comparison of the means of bell pepper plants trimmed at the third and fourth branch in three population densities.**

Variedad	IAF	%AF	PST (g)	PMF (g)	RP (kg.planta ⁻¹)	RA (kg.m ⁻²)	NFP	NFA (m ²)
Triple star	3.24a	52.73a	102.63b	130b	0.67b	4.49b	5.15a	34.5a
Orión	2.73b	52.60a	138.14a	180a	0.90a	6.03a	4.98a	33.3a
DMSH	0.06	2.68	6.48	10	0.06	0.56	0.23	1.5

IAF: índice de área foliar; %AF: porcentaje de amarre de frutos; PST: peso seco total, PMF: peso medio del fruto, RP: rendimiento por planta, RA: rendimiento por área, NFP: número de frutos por planta, NFA: número de frutos por área y DMSH: diferencia mínima significativa honesta. ♦ LAI: leaf area index; %SF: percent of fruit set; TDW: total Dry weight; MFW: median fruit weight; YP: yield per plant; YA: yield per area; NFP: number of fruit per plant; NFA: number of fruit per area; MHSD: minimum honest significant difference.

ramificación, ambas variedades disminuyó %AF, pero el efecto mayor se observó en Triple Star (50 % comparado con 39 %). Es decir, que solo se obtuvo cerca de la mitad de los frutos que potencialmente podrían desarrollarse. Reséndiz *et al.* (2010) también obtuvieron porcentaje alto de frutos abortados, y fue mayor a la de nuestro estudio. Con el despunte en la tercera ramificación, NFA fue similar en ambas variedades, pero con el despunte en la cuarta ramificación la variedad Orión tuvo NFA mayor que Triple Star, lo que dependió del porcentaje de amarre de frutos.

Un ciclo de cultivo dura cuatro meses, si el fruto se cosecha con su color final, a partir del trasplante de plántulas de 60 d y con despunte en la cuarta ramificación, y tres meses si se cosecha verde (Reséndiz *et al.*, 2010). Esto ocasiona que un ambiente favorable, como en un invernadero bien diseñado y equipado, se podría obtener tres y cuatro ciclos por año. Si se considera un rendimiento por ciclo (6.4 kg m⁻²), como en nuestro estudio, con plantas podadas en la cuarta ramificación, en tres ciclos de cultivo al año podrían obtenerse 200 t ha⁻¹ al año⁻¹. Este sería similar al rendimiento en invernaderos altamente tecnificados que usan sistemas de ciclo largo (Paschold y Zengerle, 2000; Jovicich *et al.*, 2004).

Estos sistemas de ciclo corto también pueden permitir la producción en invernadero en lugares con clima extremo la mayor parte del año, porque se puede programar un ciclo de cultivo que coincida con la época del año con un clima local más favorable. Con ello podría evitarse el gasto en calefacción o enfriamiento de los invernaderos, se reduciría el costo de producción, se obtendrían frutos más inocuos al disminuir plagas y enfermedades y disminuiría el uso de productos químicos que se aplican. Además,

Reséndiz *et al.* (2010) also obtained high percentages of aborted fruit, in his case, it was higher than the present study. With the trimming at the third branch, NFA was also similar in both varieties, but with the trimming at the fourth branch, the Orion variety had a greater NFA than Triple star, which depended on the percent of fruit sets.

A growing cycle lasts four months from the transplanting of the seedlings at 60 d and with the trimming at the fourth branch if the fruit is harvested at its final color, and only three months if it is harvested unripe (Reséndiz *et al.*, 2010). As such, a favorable environment, like that achieved in a well-designed and equipped greenhouse, could potentially obtain three and four cycles per year. If a yield per cycle is considered (6.4 kg m⁻²), like in our study, the plants pruned at the fourth branch, in three cycles per year, 200 t ha⁻¹ could be obtained per year. This is similar to the yield recorded in high-tech greenhouses that use long-cycle (Paschold y Zengerle, 2000; Jovicich *et al.*, 2004).

These short-cycle systems can also allow greenhouse production in places that have extreme climates most of the year, for a growing cycle can be programmed to coincide with the season of the year when the climate is most favorable. Thus, heating or cooling costs for the greenhouse could be avoided and the cost of production would decrease, while at the same time obtaining more innocuous fruits due to reducing pests and diseases as well as reducing the use of chemicals that are applied. Additionally, with the plants pruned in this manner, lower greenhouses can be used, like the one in this study, with lower cost than the greenhouses are normally used when the plant is grown conventionally higher.

con plantas podadas así pueden utilizarse invernaderos de altura menor, como el del este estudio, menos costosos que los usados para cultivos manejados en forma convencional, con más altura.

CONCLUSIONES

El sistema de despunte en la cuarta ramificación generó un rendimiento mayor por unidad de superficie, respecto al despunte a la tercera bifurcación sin afectar el peso medio de fruto.

Con el despunte en la tercera ramificación la densidad de población adecuada es 6.5 plantas m^{-2} y con poda en la cuarta ramificación es 5 plantas m^{-2} .

Ambos niveles de despunte y densidades de población de la variedad Orión mostraron rendimiento mayor por unidad de superficie respecto a la variedad Triple Star.

LITERATURA CITADA

- Agarwal, A., Gupta S, and Z. Ahmed. 2007. Influence of plant densities on productivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under greenhouse in high altitude cold desert of Ladakh. *Acta Horticulturae* 756: 309-314.
- Cantliffe, D. J., and J. J. Vansickle. 2001. Competitiveness of the Spanish and Dutch greenhouse industries with the Florida fresh vegetable industry. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 114: 283-287.
- Cruz H. N., J. Ortiz, C., F. Sánchez C., y M. C. Mendoza, C. 2005. Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivados en altas densidades. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 287-293.
- Cruz H. N., F. Sánchez C., J. Ortiz, C., y M. C. Mendoza, C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México* 35: 70-77.
- Gardner, P. F., B. Pearce R., and L. Mitchel R. 1995. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Iowa, USA. 327 p.
- Guenkov, G. 1983. *Fundamentos de la Horticultura Cubana*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 256 p.
- Heuvelink, E., Marcelis L. F. M., and O. Körner, 2004. How to reduce yield fluctuations in sweet pepper. *Acta Horticulturae* 633: 349-355.

CONCLUSIONS

The pruning system at the fourth branch produced a greater yield per area, without affecting the mean weight of the fruit, when compared to the trimming at the third branch

With the trimming at the third branch, the appropriate population density is 6.5 plants m^{-2} and with the pruning at the fourth branch, it is 5 plants m^{-2} .

Both levels of trimming and population densities for the Orion variety showed greater yield per unit of area than the Triple Star variety.

—End of the English version—



- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., and P. J. Stoffella. 2004. Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *HorTechnology* 14: 507-513.
- Lambers, H., Chapin, F. S., and T. J. Pons. 2008. *Plant Physiological Ecology*. 2nd Edition. Springer. N.Y. USA. 604 p.
- Marcelis, L. F. M., Heuvelink, E., Hofman-eijer, L. R. B., Bakker, J. D., and L. B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *J. Exp. Bot.* 55: 2261-2268.
- Paschold, P. J., and K. H. Zengerle. 2000. Sweet pepper production in a closed system in mound culture with special consideration to irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 554: 329-333.
- Peil R. M., y L. Gálvez, J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Agrociencia* 11: 5-11.
- Reséndiz M. R. C., E. del C. Moreno P., F. Sánchez Del C., J. E. Rodríguez P., y A. Peña L. 2010. Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16: 223-229.
- Turnes, A. D., and H. C. Wien. 1994. Dry matter assimilation and partitioning in pepper cultivars differing in susceptibility to stress-induced bud and flower abscission. *Ann. Bot.* 73: 617-622.
- Urrestarazu, G. M. 2004. *Tratado de Cultivo sin Suelo*. Tercera edición. Editorial Mundi-Prensa. España. 914 p.