



Rendimiento, características morfológicas y calidad del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) bajo dos densidades de siembra y tipos de podas¹

Yield, morphological characteristics, and quality of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) under two planting densities and pruning methods

Kevin Carrillo-Montoya², Jorge Claudio Vargas-Rojas³

- ¹ Recepción: 10 de enero, 2023. Aceptación: 17 de abril, 2023. Esta investigación formó parte de la tesis de licenciatura del primer autor, bajo el marco de la actividad con código HT08PC201-1-15 registrada en la Unidad de Gestión de información técnica del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).
- ² Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Departamento de Investigación e Innovación, Sabana Sur Antiguo Colegio La Salle, P.O Box 382-1007, Centro Colón, Costa Rica. kcarrillo@inta.go.cr (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-0794-690X>)
- ³ Universidad de Costa Rica, Sede Regional de Guanacaste. Liberia, Costa Rica. jorgeclaudio.vargas@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-1139-2148>).

Resumen

Introducción. El chile dulce tipo Bell es uno de los vegetales de mayor consumo, sin embargo, en las zonas de clima cálido se necesita más investigación en prácticas de manejo agronómico para aumentar la producción y calidad de fruta. **Objetivo.** Evaluar el efecto de dos densidades de siembra y dos tipos de poda sobre el rendimiento, características morfológicas y calidad de frutos del chile dulce tipo Bell. **Materiales y métodos.** La investigación se realizó en un invernadero en Guanacaste, Costa Rica, entre julio de 2015 a marzo de 2016. Se evaluaron dos densidades de siembra: 20 800 y 41 700 plantas/ha, y dos sistemas de poda (holandesa y española), más un testigo sin poda. Se cuantificó el peso de frutos, los grados brix, la altura de planta, el índice de área foliar, el rendimiento total y por categoría de calidad. Los datos obtenidos de cada variable se estudiaron con un análisis de varianza con estructura factorial de tratamientos. **Resultados.** La poda no afectó el rendimiento de primera calidad, mientras que la densidad de siembra más alta logró un mayor rendimiento en esta categoría. La poda española generó frutos de mayor longitud de primera calidad, pero no tuvo efecto sobre las demás variables (ancho, peso y grados brix). Al utilizar cualquier sistema de poda y una alta densidad de siembra, se obtuvo el mismo rendimiento total ($p>0,05$) que las plantas sin poda sembradas en baja densidad. **Conclusión.** El aumento de la densidad de siembra incrementó el rendimiento de frutos de primera calidad, mientras que la poda no tuvo efecto en el rendimiento.

Palabras clave: estructura de la planta, producción, superficie foliar.

Abstract

Introduction. Sweet Bell pepper is one of the most consumed vegetables, but in warm climate areas, there is a need for more research on agronomic management practices to increase fruit production and quality. **Objective.** To evaluate the effect of two planting densities and two pruning methods on the yield, morphological characteristics, and fruit quality



of Sweet Bell peppers. Materials and methods. The research was conducted in a greenhouse in Guanacaste, Costa Rica, from July 2015 to March 2016. Two planting densities were evaluated: 20 800 and 41 700 plants/ha, along with two pruning systems (Dutch and Spanish) and a control without pruning. Fruit weight, Brix degrees, plant height, leaf area index, total yield, and quality category yield were quantified. The data from each variable were subjected to an analysis of variance with factorial treatment structure. **Results.** Pruning did not affect the yield first-quality fruit, while the higher planting density achieved a higher yield in this category. Spanish pruning produced longer first-quality fruits but had no effect on other variables (width, weight, and Brix degrees). When using any pruning system and a high planting density, the total yield ($p>0,05$) was similar to non-pruned plants planted at a low density. **Conclusion.** Increasing planting density increased the yield of first-quality fruits, while pruning had no effect on yield.

Keywords: plant structure, production, leaf area.

Introducción

El chile dulce (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo, su fruto se destaca por un alto valor nutritivo y multiplicidad de usos, por ejemplo, en productos industriales, congelados, pastas, deshidratados, salsas y consumo en fresco (Samaniego Sánchez, 2006). Existen diversos genotipos de chile dulce, uno de ellos es el tipo Bell o chile morrón, que se puede diferenciar por su tamaño, forma y color de maduración (Lucero Flores & Sánchez Verdugo, 2012).

En el año 2020, el consumo per cápita de chile dulce tipo Bell en Estados Unidos, uno de los principales mercados de exportación de Costa Rica, alcanzó los 5 kg (Shahbandeh, 2023); este mismo año, se evidenció un crecimiento a nivel mundial de un 6 % en el consumo de productos frescos, donde los consumidores han apostado por preferir alimentos ricos en vitaminas y antioxidantes (Ulloa Leitón, 2020).

El chile dulce se cultiva en ambiente protegido, para modificar las condiciones ambientales del entorno, mediante la optimización de los factores que el cultivo requiere, con la finalidad de que se exprese el potencial de producción de cada genotipo utilizado (Ramírez Matarrita et al., 2018). No obstante, las ganancias económicas en este tipo de ambientes, dependen de un alto rendimiento y calidad del cultivo, así como de una apropiada biomasa por planta, factores que pueden optimarse con prácticas de manejo agronómico, como la densidad de siembra y las podas (Ponce Valerio et al., 2012).

La poda de formación procura mantener el cultivo con la vegetación suficiente, para ello, se eliminan órganos que dificulten el desarrollo fenológico o bien se modifica la estructura de la planta, con la finalidad de alcanzar precocidad, un mayor rendimiento, así como una mejor calidad de fruta (Arévalo-Madrigal et al., 2018). Esta práctica puede favorecer la aireación e iluminación en el interior de la planta de diversos cultivos hortícolas, además de facilitar los tratamientos fitosanitarios, lo que genera una disminución en la incidencia de plagas y enfermedades (Urrestarazu et al., 2002).

La densidad de siembra es uno de los principales factores que influyen en la producción, la calidad y, en algunos casos, en la precocidad de los cultivos (Agarwal et al., 2007). Debido a que el chile dulce posee un crecimiento dicotómico, una alta densidad de siembra puede ejercer un efecto sobre el desarrollo de la planta, sin embargo, esa variación puede ser manipulada por cambios en la estructura de la plantación (Valles-Rigío et al., 2009).

En investigaciones realizadas en México bajo condiciones de invernadero, Grijalva Contreras et al. (2008) reportaron un rendimiento de 93 t ha⁻¹, con el uso de una densidad de 25 000 plantas/ha y con poda holandesa. En la Universidad de Mashhad en Irán, Seifi et al. (2012) obtuvieron 108 t ha⁻¹, con una densidad de siembra de 35 000 plantas/ha, mientras que el menor rendimiento lo obtuvieron con una densidad de 25 000 plantas/ha, con la cual se produjo 70 t ha⁻¹.

La optimización de las técnicas de producción en horticultura protegida, permite aprovechar al máximo las áreas de producción, debido a la influencia de la frontera agrícola, ocasionada por el incremento en la urbanización, el turismo, entre otros. En el caso del chile dulce tipo Bell, existe poca información referente a prácticas de manejo de cultivo en ambiente protegido para la Región Chorotega de Costa Rica. No obstante, ante la alternativa de diversificar la producción agropecuaria, es necesario investigar en prácticas de manejo agronómico para este tipo de chile, el cual posee un gran potencial de exportación.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos densidades de siembra y dos tipos de poda de formación, sobre el rendimiento, características morfológicas y calidad de frutos del chile dulce tipo Bell.

Materiales y métodos

Descripción del sitio

La investigación se realizó en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en Cañas, Guanacaste, en las coordenadas 10,34437 (norte) y -85,13573 (este). El estudio se efectuó entre julio del 2015 y marzo del 2016. El sitio posee promedios de temperatura y precipitación de 28 °C y 1600 mm, respectivamente; se encuentra ubicada a 14 m s. n. m., dentro de la zona de vida bosque húmedo premontano (Ministerio de Ambiente y Energía, s.f.).

El suelo en el sitio del experimento está clasificado como orden Mollisol, de textura franco-arcillosa, pH óptimo, con concentraciones disponibles de Ca, Mg, K, P, Fe y Cu, sin problemas de acidez o salinidad, y mostró valores de Zn y Mn cercanos al nivel crítico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de nutrientes en suelo del invernadero utilizado para evaluar el efecto de dos densidades de siembra y tres tipos de poda en chile dulce (*Capsicum annuum* L.). Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 2016.

Table 1. Soil nutrient content in the greenhouse used to evaluate the effect of two planting densities and three pruning methods on sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 2016.

KCl-Olsen modificado	pH H ₂ O	Acidez	cmol(+) L ⁻¹			%		mg L ⁻¹					mS cm ⁻¹
			Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE
Nivel crítico	5,50	0,50	4,00	1,00	0,20	5,00		10,00	3,00	1,00	10,00	5,00	1,50
Suelo	6,00	0,45	18,15	6,57	0,92	26,09	2,00	43,00	3,10	6,00	17,00	6,00	1,00

Manejo agronómico

Los almácigos se prepararon con sustrato de peat moss y se trasplantaron 27 días después de la siembra (dds). La investigación se realizó en un invernadero multicapilla cubierto con plástico transparente de polietileno de 150 micras de espesor; se protegió al cultivo de alta radiación con una cobertura de tejido plástico a un 30 % de sombra, para evitar el daño por quema de sol. Se utilizó un tipo de tutorado con gancho de descuelgue, para facilitar el amarre y conducción de cada tallo, además del sostén de la planta y la carga de frutos. El manejo fitosanitario se realizó según el monitoreo de plagas y enfermedades, mientras que el control de malezas se efectuó de forma manual o mecánico.

El riego y la nutrición se aplicaron por medio de un sistema de riego con cintas de goteo, distanciadas a 20 cm, con una descarga de 2,6 L h⁻¹, según los requerimientos hídricos (ETc) y nutricionales del cultivo y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Cuadro 1). La ETc se obtuvo a partir de la evapotranspiración de referencia (ETo) y los coeficientes de cultivo (Kc), según etapa fenológica.

Para la investigación se utilizó el híbrido Polaris F1, procedente de la casa de semillas *Known- you seed* Co, el cual es una planta tolerante a virus del mosaico severo de la papa (PVY), vigorosa, de altura media y con producción de fruta uniforme. Las plantas se sembraron a una hilera, separadas a una distancia entre pasillos de 1,20 m y entre plantas de 40 cm, para la densidad menor, y de 20 cm para la densidad más alta. La poda se realizó guiando cada tallo y se eliminó el botón floral de la primera bifurcación.

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron dos factores, densidad de siembra y tipos de poda. La densidad de siembra tuvo dos niveles, definidos por la distancia entre plantas, 40 cm (20 800 plantas/ha) y 20 cm (41 700 plantas/ha); mientras que el tipo de poda tuvo tres niveles, que fueron la poda holandesa (dos tallos por planta) la poda española (cuatro tallos por planta) y un testigo sin podas, referentes a la cantidad de tallos manejados después de la primera bifurcación. De la combinación de los dos, se obtuvo una estructura bifactorial con seis tratamientos (Cuadro 2), dispuestos en un diseño completamente aleatorizado (DCA) con cuatro repeticiones por tratamiento.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos para evaluar el efecto de dos densidades de siembra y tres tipos de poda sobre el rendimiento y calidad de la fruta de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) híbrido Polaris F1. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 2016.

Table 2. Description of the treatments to evaluate the effect of two planting densities and three pruning methods on yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), Hybrid Polaris F1. Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 2016.

Densidad de siembra	Poda
20 800 plantas/ha	PE
20 800 plantas/ha	PH
20 800 plantas/ha	SP
41 700 plantas/ha	PE
41 700 plantas/ha	PH
41 700 plantas/ha	SP

PH: poda holandesa; PE: poda española; SP: sin poda. / PH: Ducth pruning; PE: Spanish pruning; SP: No pruning.

La unidad experimental consistió en surcos de 0,60 m de ancho y 4 m de longitud, con una distancia de separación de 0,5 m, constituidos por diez plantas para la densidad más baja y veinte plantas para la densidad mayor. Los surcos laterales fueron considerados como borde y para las evaluaciones se descartó 1 m lineal de cada extremo de la unidad experimental, de manera que la unidad observacional fueron 2,4 m del surco central.

Variables de respuesta

Para medir las variables de rendimiento, se utilizó una balanza granataria marca CEN-TECH y se cuantificó el peso fresco promedio del fruto (g) por unidad experimental. Se consideró el rendimiento por categoría de calidad (primera, segunda y rechazo) y el total referente a la sumatoria de rendimiento de las tres categorías (Cuadro 3).

Para evaluar la calidad de los frutos, se midió la longitud y ancho (cm), con el uso de un calibrador Vernier y se clasificaron según categorías de calidad (Cuadro 3). Luego se realizó la medición de grados Brix, se partió cada

Cuadro 3. Categorías de clasificación de calidad de la fruta de chile dulce tipo Bell* (*Capsicum annuum* L.), híbrido Polaris F1**.

Table 3. Quality classification categories of Bell-type* sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit, Hybrid Polaris F1.

Categoría	Criterio
Primera	Longitud y ancho mínimo $\geq 7,5$ cm \times 7,5 cm con puntas bien definidas sin manchas, grietas o estrías.
Segunda	Longitud y ancho $< 7,5$ cm con puntas deformes, manchas y heridas < 1 cm ² y estrías o grietas superiores a 3 cm.
Rechazo	Longitud y ancho $< 7,5$ cm muy deformes, manchas, grietas, heridas y quemaduras superiores a 1 cm ² .

Fuente / Source: Quesada Roldán (2015).

*Chile morrón de forma cuadrada y maduración amarillo. / * Square-shaped Bell pepper with yellow ripening.

**Casa de semillas. / Seed company: Known-you seed Co.

fruto durante la cosecha, se exprimió y se extrajo una gota de muestra del jugo, que se depositó en el lector de un refractómetro marca EXTECH, modelo RF15, para su lectura. Además, se evaluaron características morfológicas como la altura, medida desde la base del tallo hasta el ápice de la planta al final del ciclo del cultivo y el área foliar con evaluaciones a los 15, 75 y 150 días después del trasplante (DDT). El cálculo del IAF se realizó a partir de la división de área foliar y el área efectiva de suelo ocupado por la planta según la densidad de siembra, para esto se utilizó el modelo no destructivo propuesto De Swart et al. (2004) (ecuación 1).

$$AF = (0,62 \times L \times W) + (0,21 \times W^2) - (0,51 \times W) \quad \text{ecuación 1}$$

Donde:

AF: área foliar; L: longitud de la hoja; W: ancho de la hoja.

Análisis estadístico

Para las variables de rendimiento, altura y características de fruto, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con estructura factorial de tratamientos, mientras que para el IAF se realizó un ANDEVA con medidas repetidas en el tiempo, bajo la teoría de los modelos lineales mixtos. La separación de medias se realizó con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher, con un nivel de significancia (α) de 0,05. Todos los análisis se realizaron con el software Infostat® (Di Rienzo et al., 2018).

Resultados

En lo que respecta al rendimiento total, se encontró que la interacción densidad \times poda tuvo efecto significativo ($p < 0,05$) (Figura 1). La densidad de 41 700 plantas/ha presentó rendimientos similares ($p > 0,05$), para cualquiera de los tres tipos de poda. No obstante, la densidad 20 800 plantas/ha tuvo rendimientos inferiores cuando se usó poda holandesa o española, pero cuando se dejó al libre crecimiento (SP), se obtuvo un mayor rendimiento.

Para los rendimientos según la calidad del fruto, de primera, segunda y tercera, el término de la interacción no fue significativo ($p > 0,05$) (Cuadro 4). Cuando se analizaron los efectos independientes de ambos factores, el aumento en la densidad de siembra de 20 800 a 41 700 plantas/ha tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) en

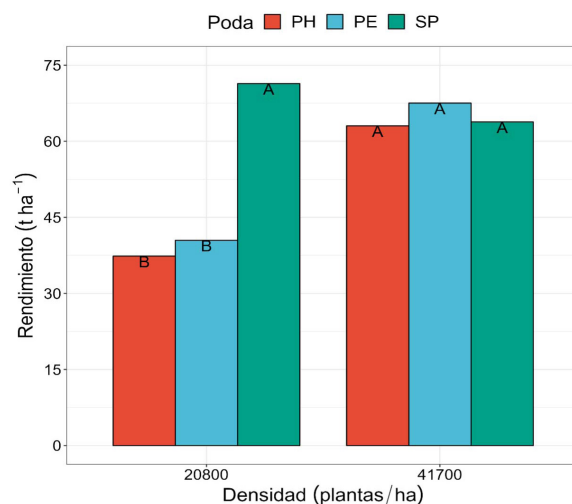


Figura 1. Rendimiento total en t ha⁻¹ de chile dulce (*Capsicum annuum* L.), híbrido Polaris F1, a diferentes densidades de siembra y poda. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica, julio 2015 – marzo 2016.

Medias con una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. SP: sin poda, PH: poda holandesa, PE: poda española.

Figure 1. Total yield in t ha⁻¹ of sweet Bell pepper (*Capsicum annuum* L.), Hybrid Polaris F1, at different planting densities and pruning methods. Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. July 2015 - March 2016.

Means with the same letter do not represent a statistical difference ($p > 0.05$) according to Fisher's least significant difference. SP: no pruning, PH: Dutch pruning, PE: Spanish pruning.

Cuadro 4. Rendimiento de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) híbrido Polaris F1, según categoría de calidad de la fruta a diferentes densidades de siembra y tipo de poda. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio 2015 – marzo 2016.

Table 4. Yield of sweet Bell pepper (*Capsicum annuum* L.), Hybrid Polaris F1, by fruit quality category at different planting densities and pruning methods. Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. July 2015 - March 2016.

Factores	Rendimiento (t ha ⁻¹)		
	Primera	Segunda	Rechazo
Poda			
SP	20,31 ^A	36,22 ^A	11,06 ^A
PH	18,88 ^A	23,31 ^B	8,00 ^A
PE	22,91 ^A	24,06 ^B	7,03 ^A
p-valor	0,3516	0,0072	0,0867
F	1,11	6,57	2,81
Densidad (plantas/ha)			
20 800	17,04 ^B	24,67 ^A	8,03 ^A
41 700	24,37 ^A	31,06 ^A	9,36 ^A
p-valor	0,0026	0,0657	0,3491
F	12,14	3,84	0,92
Poda × densidad			
p-valor	0,0720	0,0672	0,2446
F	3,06	3,15	1,52

Medias con una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. SP: sin poda, PH: poda holandesa, PE: poda española. / Means with the same letter do not represent a statistical difference ($p > 0.05$) according to Fisher's least significant difference. SP: no pruning, PH: Dutch pruning, PE: Spanish pruning.

rendimientos de fruta de primera calidad, donde la densidad de 41 700 plantas/ha presentó una mayor producción. Por el contrario, los rendimientos de segunda y rechazo, no incrementaron de manera significativa al aumentar la densidad. Por su parte, el factor poda solo tuvo efecto ($p < 0,05$) sobre la producción de frutos en la categoría de segunda calidad, debido a un mayor rendimiento en las plantas sin poda.

Para las variables longitud y ancho de fruto, el término de interacción no fue significativo. El factor poda tuvo efecto en la categoría de fruta de primera calidad, donde la poda española obtuvo los frutos de mayor longitud. Además, se obtuvieron frutos de un mayor ancho en categoría de segunda con poda holandesa, pero sin ser estadísticamente distinto a las plantas sin poda. El factor densidad de siembra, solo tuvo efecto significativo sobre el ancho de fruta de segunda calidad, con promedios mayores al utilizar una densidad de 41 700 plantas/ha (Cuadro 5).

Cuadro 5. Longitud y ancho de fruta de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) híbrido Polaris F1, según categoría de calidad a diferentes densidades de siembra y tipo de poda. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio 2015 – marzo 2016.

Table 5. Length and width of sweet Bell pepper (*Capsicum annuum* L.), Hybrid Polaris F1, by fruit quality category at different planting densities and type of pruning methods. Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. July 2015 - March 2016.

Factores	Longitud de fruto (cm)		Ancho de fruto (cm)	
	Primera	Segunda	Primera	Segunda
Poda				
SP	8,16 ^B	6,68 ^A	7,84 ^A	6,71 ^{AB}
PH	8,22 ^B	7,02 ^A	7,79 ^A	6,85 ^A
PE	8,35 ^A	6,92 ^A	7,83 ^A	6,59 ^B
p-valor	0,0151	0,1766	0,2496	0,0056
F	5,35	1,91	1,50	7,00
Densidad (plantas/ha)				
20 800	8,25 ^A	6,74 ^A	7,83 ^A	6,63 ^B
41 700	8,24 ^A	7,01 ^A	7,80 ^A	6,80 ^A
p-valor	0,8398	0,2346	0,1586	0,0090
F	0,04	1,51	2,16	8,58
Poda × densidad				
p-valor	0,3475	0,6203	0,3546	0,1862
F	1,12	0,49	1,10	1,85

Medias con una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. SP: sin poda, PH: poda holandesa, PE: poda española. / Means with the same letter do not represent a statistical difference ($p > 0,05$) according to Fisher's least significant difference. SP: no pruning, PH: Dutch pruning, PE: Spanish pruning.

Las variables grados Brix y peso promedio de fruto, no fueron afectadas ($p > 0,05$) por la interacción entre poda y densidad (Cuadro 6). Al analizar el efecto individual de los factores, el valor de grados Brix en frutos de primera calidad en las plantas sin poda, fue estadísticamente superior ($p < 0,05$) a los valores obtenidos en ambos sistemas de poda. Para la fruta de segunda, la poda holandesa y las plantas sin podar fueron las que produjeron frutos con mayores grados Brix.

Para el peso promedio de fruto de primera calidad, no hubo diferencia entre el tipo de poda. En frutos de segunda y rechazo, la poda holandesa y los tratamientos sin poda tuvieron frutos de mayor peso. La densidad de siembra no afectó los grados Brix y el peso promedio de los frutos de primera, pero sí los frutos de segunda calidad, que tuvieron mayor peso y contenido de azúcares con la densidad de 41 700 plantas/ha (Cuadro 6).

Cuadro 6. Peso fresco promedio y grados brix de frutos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) híbrido Polaris F1, según categoría de calidad a diferentes densidades de siembra y tipo de poda. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio 2015 – marzo 2016.

Table 6. Average fresh weight and Brix degrees of sweet Bell pepper (*Capsicum annuum* L.), Hybrid Polaris F1, by fruit quality category at different planting densities and pruning methods. Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. July 2015 - March 2016.

Factores	Grados brix		Peso promedio de fruto (g)		
	Primera	Segunda	Primera	Segunda	Rechazo
Poda					
SP	6,99 ^A	7,00 ^{AB}	157,40 ^A	107,95 ^{AB}	82,3 ^{AB}
PH	6,74 ^B	7,13 ^A	152,26 ^A	113,63 ^A	92,67 ^A
PE	6,74 ^B	6,88 ^B	156,11 ^A	104,88 ^B	74,77 ^B
p-valor	0,0071	0,0392	0,2898	0,0298	0,0104
F	6,60	3,90	1,33	4,30	5,94
Densidad (plantas/ha)					
20 800	6,79 ^A	6,92 ^B	155,77 ^A	106,15 ^B	84,88 ^A
41 700	6,86 ^A	7,09 ^A	154,74 ^A	111,48 ^A	81,62 ^A
p-valor	0,3805	0,0298	0,7057	0,0410	0,4543
F	0,81	5,56	0,15	4,84	0,58
Poda × densidad					
p-valor	0,0805	0,0942	0,0995	0,1526	0,6127
F	2,91	2,7	2,63	2,09	0,50

Medias con una misma letra no representan diferencia estadística ($p > 0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. SP: sin poda, PH: poda holandesa, PE: poda española. / Means with the same letter do not represent a statistical difference ($p > 0,05$) according to Fisher's minimum significant difference. SP: no pruning, PH: Dutch pruning, PE: Spanish pruning.

La interacción entre densidad y poda, afectó significativamente ($p < 0,05$) la variable altura de la planta. Las plantas sembradas a mayor densidad y con poda holandesa, mostraron la mayor altura (media 1,96 m). La menor altura, con una media de 1,58 m, se obtuvo en las plantas no podadas y con una densidad de 41 700 plantas/ha (Figura 2).

La triple interacción densidad, poda y DDT, afectó significativamente la variable IAF (Figura 3). Los tratamientos manejados a una densidad de 41 700 plantas/ha, obtuvieron un IAF mayor en comparación con los de baja densidad. En los tratamientos con alta densidad, a los 15 DDT no hubo diferencia entre los tipos de poda, para los 75 DDT la poda holandesa y española tuvieron mayor IAF (4,13 y 3,78, respectivamente). A los 150 DDT, la poda española presentó una disminución, opuesto al comportamiento del tratamiento sin poda que aumentó significativamente (5,22). Los tratamientos con baja densidad, solo tuvieron diferencias significativas para la última evaluación, donde utilizar el sistema de poda española u holandesa aumentó el IAF, mientras que el tratamiento sin poda lo disminuyó.

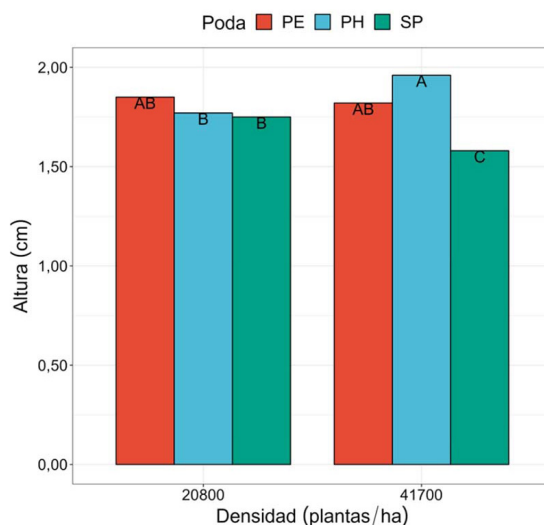


Figura 2. Altura promedio de plantas de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) híbrido Polaris F1 a diferentes densidades de siembra y tipos de poda. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio 2015 – marzo 2016.

Medias con una misma letra no representan diferencia estadística ($p>0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. SP: sin poda, PH: poda holandesa, PE: poda española.

Figure 2. Average height of sweet Bell pepper (*Capsicum annuum* L.), Hybrid Polaris F1 plants at different planting densities and pruning methods. Enrique Jiménez Núñez, Cañas Experimental Station, Guanacaste, Costa Rica. July 2015 - march 2016.

Means with the same letter do not represent a statistical difference ($p>0,05$) according to Fisher's least significant difference. SP: no pruning, PH: Dutch pruning, PE: Spanish pruning.

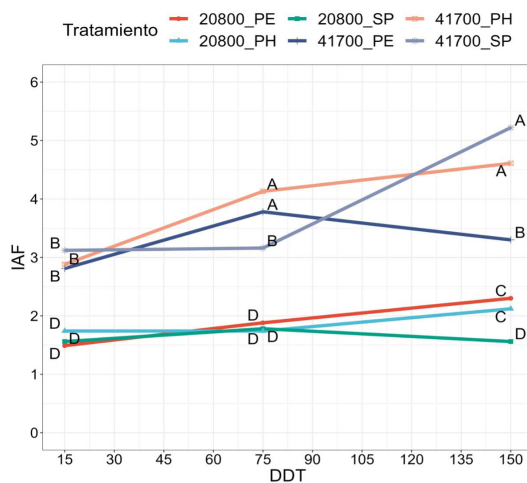


Figura 3. Índice de área foliar (IAF) a los 15, 75 y 150 días después de trasplante (DDT) de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) híbrido Polaris F1, bajo distintas densidades de siembra y tipos de poda. Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Julio 2015 – marzo 2016.

Medias con una misma letra no representan diferencia estadística ($p>0,05$) según la diferencia mínima significativa de Fisher. SP: sin poda, PH: poda holandesa, PE: poda española.

Figure 3. Leaf Area Index (IAF) at 15, 75, and 150 days after transplanting (DDT) of sweet Bell pepper (*Capsicum annuum* L.), Hybrid Polaris F1, under different planting densities and pruning methods. Enrique Jiménez Núñez Experimental Station, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. July 2015 - March 2016.

Means with the same letter do not represent a statistical difference ($p>0,05$) according to Fisher's least significant difference. SP: no pruning, PH: Dutch pruning, PE: Spanish pruning

Discusión

El rendimiento total por superficie, no fue estadísticamente distinto entre la densidad de 20 800 plantas/ha y sin poda con los tratamientos manejados a mayor densidad de siembra e independientemente de la poda utilizada, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Ucan Chan et al. (2005), quienes al aumentar la densidad de población vieron afectado el rendimiento por planta, pero el rendimiento por superficie aumentó a causa de una mayor cantidad de frutos por área. El mayor rendimiento de primera calidad (24,37 t ha⁻¹) coincide con lo reportado por Islam et al. (2011), quienes encontraron un mayor rendimiento por unidad de área inversamente relacionado con la distancia entre plantas.

La poda española generó una mayor longitud de frutos de primera calidad, esto coincide con Maboko et al. (2012), quienes demostraron que con uso de poda se obtiene la mejor calidad de fruta. Cuando el número de frutos en la planta disminuye, permite a la misma distribuir mejor los asimilados, por lo que el tamaño final de la fruta tiende a aumentar (Ghebremariam, 2005).

El peso promedio del fruto no se vio afectado por un incremento en la densidad de siembra; algunos estudios han reportado que la falta de radiación dentro del dosel por un aumento en la densidad de plantas, podría ocasionar flores pequeñas, apretadas, defectuosas y deficientes en polen (Seifi et al., 2012; Ucan-Chan et al., 2005). No obstante, en esta investigación ocurrió lo contrario, ya que en la zona la radiación no es una condición limitante (Ramírez Matarrita et al., 2018). El manejo de la densidad de siembra adecuado, mejora la recepción de luz para el cultivo, esta eficiencia en el uso de la radiación solar interceptada, incrementan la calidad de los frutos (Ala Jones, 2018; Ding et al., 2022).

Un efecto similar a lo obtenido en este estudio, fue reportado por la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2009), quienes no encontraron diferencias significativas en el peso de los frutos de las plantas manejadas con los mismos sistemas de poda utilizados en la presente investigación, por un posible efecto de una poda destructiva y factores asociados a cambios en la intensidad de radiación, temperatura, déficit de presión de vapor, relaciones de dominancia entre frutos, entre otros (Reséndiz-Melgar et al., 2010).

En calidad de frutos, hubo un menor valor de los grados Brix para la fruta de segunda, con una densidad de 20 800 plantas/ha. Se ha reportado que el contenido de sólidos solubles decrece con el aumento en la intensidad de sombra sobre las plantas, opuesto a lo encontrado en este estudio con el factor densidad (Callejón-Ferre et al., 2009). No obstante, Kleinhenz y Bumgarner (2013) indicaron que los niveles de sólidos solubles durante la madurez de los frutos hortícolas, pueden variar debido al daño físico, el momento de la cosecha y los componentes abióticos como la humedad, la luz y la temperatura, lo que podría explicar la diferencia encontrada para frutos de segunda calidad.

Las plantas con poda mostraron una mayor altura; esto concuerda con Grijalva Contreras et al. (2008), quienes no obtuvieron diferencias significativas en altura de plantas con poda a dos y cuatro tallos, en diferentes densidades de siembra. Sin embargo, se encontraron plantas de mayor altura con un incremento en la densidad de plantación (Ponce Valerio et al., 2012), lo que coincide con lo obtenido en esta investigación con la poda holandesa (Figura 2). Una mayor altura de planta, podría deberse al efecto de la interacción entre densidad y una baja carga de frutos, que resulta en la competencia entre las plantas por luz solar, lo que podría ocasionar sombreo, aborto de flores, frutos y un alargamiento de entrenudos (Jovicich et al., 2004; Reche Mármol, 2010).

La baja altura de las plantas sin poda y en alta densidad, podría atribuirse a que tuvieron auto sombreo y mayor cantidad de frutos, los cuales son las fuentes principales que toman los fotoasimilados (Langlé Argüello, 2011). Lo anterior, puede ocasionar una disminución en tamaño, vigor y peso de la planta, no obstante, la biomasa y el rendimiento por unidad de superficie alcanzan un límite máximo de incremento (Cruz-Huerta et al., 2005).

El aumento en la densidad de siembra produce un mayor índice de área foliar y rendimiento productivo (Langlé Argüello, 2011). El lento establecimiento del IAF óptimo, es un factor limitante en las primeras etapas fenológicas del cultivo de chile, lo cual puede repercutir en la biomasa por planta y en el rendimiento de fruta (Cruz-Huerta et al., 2005). Los tratamientos en la densidad más baja mostraron un IAF menor (Figura 3), lo que coincide con Cruz Huerta et al. (2009), quienes encontraron un IAF mayor con una densidad de siembra más alta, explicado por una mejor intercepción de la radiación fotosintética activa.

El IAF del tratamiento sin poda con alta densidad, aumentó a partir de los 75 DDT, mientras que en baja densidad disminuyó, aunque esta disminución no repercutió en el rendimiento total, lo cual es similar a lo obtenido por Langlé Argüello (2011), quien encontró mayor IAF en las plantas podadas, pero el rendimiento fue menor al alcanzado por las plantas sin poda que tuvieron un IAF menor. Esto podría explicarse debido a que las plantas que poseen una mayor carga de fruta obtienen menor número de hojas y de menor tamaño. Al respecto, Ghebremariam (2005) también obtuvo un menor IAF en las plantas con mayor rendimiento, debido a un mejor balance fuente/sumidero que favoreció la distribución de fotoasimilados y mayor producción.

Conclusiones

El rendimiento por superficie no fue estadísticamente distinto entre las plantas manejadas a una densidad de 20 800 plantas/ha y sin poda, con los tratamientos manejados en alta densidad e independientemente de la poda utilizada.

La densidad de siembra más alta generó un mayor rendimiento por superficie de frutos de primera calidad, mientras que la poda no tuvo diferencias estadísticas en esta categoría.

En la categoría de frutos de primera calidad, la poda española generó los frutos de mayor longitud; sin embargo, las plantas sin poda tuvieron mayor contenido de azúcares y no mostraron diferencias en el ancho y peso de fruta, en comparación con las plantas podadas.

En la categoría de frutos de segunda calidad, las plantas sin poda lograron un mayor rendimiento y el mismo ancho, grados Brix y peso promedio de fruta, en comparación con las plantas podadas, independiente del método de poda evaluado. Además, la densidad de 41 700 plantas/ha produjo un mayor ancho, peso fresco y contenido de azúcares en esta categoría.

Se obtuvo un índice de área foliar mayor a los 15 y 75 días después del trasplante, con la densidad de siembra más alta e independientemente del tipo de poda evaluada.

A los 150 días después del trasplante, en el tratamiento a una densidad de 20 800 plantas/ha y sin poda, se obtuvo el menor índice de área foliar, pero sin efecto significativo en el rendimiento total.

Referencias

- Agarwal, A., Gupta, S., & Ahmed, Z. (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. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.756.32>
- Ala Jones, M. (2018). Using light to improve commercial value. *Horticulture Research*, 5, Article 47. <https://doi.org/10.1038/s41438-018-0049-7>
- Arébalo-Madrigal, M., Mérida-Reyes, J., Escalante-González, J., Yañez-Coutiño, J., & Osorio-Hernández, E. (2018). Efecto de podas tempranas en tomate (*Solanum lycopersicum*) VAR. Ramses para la formación de plantas con dos tallos. *Agro Productividad*, 11(10), 57–61. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i10.1245>

- Callejón-Ferre, A. J., Manzano-Agugliaro, F., Díaz-Pérez, M., Carreño-Ortega, A., & Pérez-Alonso, J. (2009). Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(1), 41–49. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009071-396>
- Cruz-Huerta, N., Ortiz-Cereceres, J., Sánchez-Del-Castillo, F., & Mendoza-Castillo, M. D. C. (2005). Biomasa e índices fisiológicos en chile morrón cultivados en altas densidades. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3), 287–293. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/28-3/13r.pdf>
- Cruz Huerta, N., Sánchez del Castillo, F., Ortiz Cereceres, J., & Mendoza Castillo, M. D. C. (2009). Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento. *Agricultura Técnica en México*, 35(1), 70–77.
- De Swart, E. A. M., Groenwold, R., Kanne, H. J., Stam, P., Marcelis, L. F. M., & Voorrips, R. E. (2004). Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annuum* L. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(5), 764–770. <https://doi.org/10.1080/14620316.2004.11511840>
- Ding, X., Nie, W., Qian, T., He, L., Zhang, H., Jin, H., Cui, J., Wang, H., Zhou, Q., & Yu, J. (2022). Low plant density improves fruit quality without affecting yield of cucumber in different cultivation periods in greenhouse. *Agronomy*, 12(6), Article 1441. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061441>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2018). *Infostat* (Versión 2020). Centro de Transferencia Infostat. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15>
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. (2009). *Evaluación del rendimiento de chile dulce de colores en invernadero, bajo tres sistemas de formación de tallos* (Hoja técnica N° 14). <https://bit.ly/3vQsLo2>
- Ghebremariam, T. T. (2005). *Yield and quality responde of tomato and hot pepper to pruning* [Magister dissertation, University of Pretoria]. UPspace Institutional Repository. <http://hdl.handle.net/2263/27263>
- Grijalva Contreras, R. L., Macías Duarte, R., & Robles Contreras, F. (2008). Productividad y calidad de variedades y densidades de chile bell pepper bajo condiciones de invernadero en el noroeste de Sonora. *BIOtecnia*, 10(3), 3–10. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/41>
- Islam, M., Saha, S., Akand, H., & Rahim, M. A. (2011). Effect of spacing on the growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 12(2), 328–335. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/12.2.917>
- Jovicich, E., Cantliffe, D. J., & Stoffela, P. J. (2004). Fruit yield and quality of greenhouse-grown Bell pepper as influenced by density, container and trellis system. *HortTechnology*, 14(4), 507–513. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.14.4.0507>
- Kleinhenz, M. D., & Bumgarner, N. R. (2013). *Using °Brix as an indicator of vegetable quality: Linking measured values to crop management* [Fact Sheet]. The Ohio State University. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/HYG-1651>
- Langlé Argüello, L. A. (2011). *Respuesta del chile Huacle (Capsicum spp) a diferentes densidades de plantación y podas bajo manejo intensivo en invernadero* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Dspace. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/270
- Lucero Flores, J. M., & Sánchez Verdugo, C. (2012). *Inteligencia de mercado de pimiento morrón verde*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Maboko, M. M., Du Plooy, C. P., & Chiloane, S. (2012). Effect of plant population, stem and flower pruning on hydroponically grown sweet pepper in a shadenet structure. *African Journal of Agricultural Research*, 7(11), 1742–1748. <https://bit.ly/3iwhXsj>

- Ministerio de Ambiente y Energía. (s.f.). *Mapa de zonas de vida de Costa Rica*. Instituto Geográfico Nacional. Recuperado el 22 de octubre, 2022, de <https://bit.ly/3Zrn65p>
- Ponce Valerio, J., Peña-Lomeli, A., Rodríguez-Pérez, J., Mora-Aguilar, R., Castro-Brindis, R., & Magaña Lira, N. (2012). Densidad y poda en tres variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* brot. ex horm.) cultivado en invernadero. *Revista Chapingo, Serie Horticultura, 18*(3), 325–332. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.08.028>
- Quesada Roldán, G. (2015). Producción de chile dulce en invernadero bajo diferentes niveles de agotamiento en la humedad del sustrato. *Agronomía Costarricense, 39*(1), 25–36. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i1.19542>
- Ramírez Matarrita, R., Aguilar Rodríguez, J., & Meza Rodríguez, L. (2018). Adaptabilidad de seis cultivares de chile dulce bajo invernadero en Guanacaste. *Revista Alcances Tecnológicos, 12*(1), 13–23. <https://bit.ly/3X1KN2S>
- Reche Mármol, J. (2010). *Cultivo del pimiento dulce en invernadero*. Signatura Ediciones de Andalucía, S.L. <https://bit.ly/3GVJ1L8>
- Reséndiz-Melgar, R., Moreno-Pérez, E. D. C., Sánchez-Del Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J. E., & Peña-Lomelí, A. (2010). Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 16*(3), 223–229. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.028>
- Samaniego Sánchez, R. D. (2006). *Efecto de la producción orgánica y convencional de chile dulce (Capsicum annum) bajo invernadero sobre el componente planta-suelo en el cantón de Alfaro Ruiz, Costa Rica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4225>
- Seifi, S., Nemati, S. H., Shoor, M., & Abedi, B. (2012). The effect of plant density and shoot pruning on growth and yield of two greenhouse bell pepper cultivars. *Journal of Soil and Plant Interactions, 3*(11), 77–83. <http://jspi.iut.ac.ir/article-1-393-en.html>
- Shahbandeh, M. (2023, May 9). *Per capita consumption of fresh bell peppers in the United States from 2000 to 2022 (in pounds)*. Statista. <https://bit.ly/3CEmik9>
- Ucan Chan, I., Sanchez Del Castillo, F., Contreras Magaña, E., & Corona Sáez, T. (2005). Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana, 28*(1), 33–38. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.1.33>
- Ulloa Leitón, E. (2020). *Tendencias mundiales de comercialización de frutas y vegetales en tiempos de covid-19*. Promotora de Comercio exterior de Costa Rica. <https://bit.ly/3WZWZkD>
- Urrestarazu, M., Castillo, J. E., & Salas, M. del C. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. *Horticultura, 159*, 18–26. <https://bit.ly/3IHkJ8L>
- Valles Rigió, G., Lugo González, J., Rodríguez, Z. F., & Díaz, L. T. (2009). Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. *Revista de la Facultad de Agronomía, 26*(2), 159–178.