

Producción de chile dulce en invernadero: correlación entre densidad de siembra y variables de rendimiento

Sweet pepper production under greenhouse conditions: correlation among plant density and yield variables

José Eladio Monge-Pérez¹, Michelle Loría-Coto²

Fecha de recepción: 4 de febrero de 2020

Fecha de aprobación: 28 de abril de 2020

Monge-Pérez, J.E; Loría-Coto, M. Producción de chile dulce en invernadero: correlación entre densidad de siembra y variables de rendimiento. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-2. Abril-Junio 2021. Pág 161-177.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4983>



- 1 Ingeniero agrónomo, Investigador de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: melonescr@yahoo.com.mx
- 2 Economista agrícola, Investigadora de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. Correo electrónico: michelle_loria@yahoo.com

Palabras clave

Capsicum annuum; poda; peso del fruto; calidad; correlación de Pearson; regresión lineal.

Resumen

Se establecieron correlaciones de Pearson en chile dulce (*Capsicum annuum*) cv. FBM-9, cultivado bajo condiciones de invernadero, utilizando dos tipos de poda (española y holandesa), entre la densidad de siembra y las siguientes variables: número de frutos por planta y por metro cuadrado, peso del fruto (g), y rendimiento total y comercial (ton/ha). El cultivo se manejó con fertirrigación, en sustrato de fibra de coco. Se presentaron 10 correlaciones de Pearson con significancia estadística ($p \leq 0,05$), en cuyo caso se obtuvieron las regresiones lineales. Independientemente del tipo de poda, se obtuvo una correlación significativa entre la densidad de siembra y: número de frutos de calidad de rechazo por planta ($r = -0,55^{**}$); número de frutos de primera calidad por metro cuadrado ($r = 0,58^{**}$); rendimiento total ($r = 0,42^*$); rendimiento de primera calidad ($r = 0,65^{**}$); y rendimiento comercial ($r = 0,43^*$). Además, únicamente para los tratamientos con poda española, se halló una correlación significativa entre la densidad de siembra y: número de frutos de segunda calidad por planta ($r = -0,59^*$); peso del fruto ($r = 0,76^{**}$); y peso del fruto de primera calidad ($r = 0,62^*$). Se concluye que el uso de una mayor densidad de siembra es lo más beneficioso para los productores, desde el punto de vista económico. Se recomienda ensayar densidades de siembra superiores a las incluidas en esta investigación (2,60-3,90 plantas/m²), para definir una densidad óptima.

Keywords

Capsicum annuum; pruning; fruit weight; quality; Pearson correlation; linear regression.

Abstract

For sweet pepper (*Capsicum annuum*) cv. FBM-9 grown under greenhouse conditions and using two pruning systems (Spanish and Dutch), the researchers estimated Pearson correlations among plant density and the following variables: number of fruits per plant and per square meter, fruit weight (g), and total and commercial yield (ton/ha). The crop was planted on coconut fiber as substrate, and managed with fertigation. There were 10 statistically significant Pearson correlations ($p \leq 0,05$). In those cases the linear regression statistics were calculated. Independently of pruning system, there was significant correlation between plant density and: number of noncommercial fruits per plant ($r = -0,55^{**}$); number of first quality fruits per square meter ($r = 0,58^{**}$); total yield ($r = 0,42^*$); first quality yield ($r = 0,65^{**}$); and commercial yield ($r = 0,43^*$). Furthermore, only for Spanish pruning treatments there was significant correlation between plant density and: number of second quality fruits per plant ($r = -0,59^*$); fruit weight ($r = 0,76^{**}$); and first quality fruit weight ($r = 0,62^*$). It is concluded that the use of a higher plant density is the best option for growers, from an economical point of view. It is recommended to evaluate higher plant densities than those used in this trial (2,60-3,90 plants/m²), to determine the optimum plant density.

Introducción

El chile dulce (*Capsicum annuum* L.) es una de las principales hortalizas que se cultivan en Costa Rica; pertenece a la familia Solanaceae, y es un importante cultivo bajo invernadero en muchos países [1]. En el año 2009 en Costa Rica existían alrededor de 41 hectáreas de chile dulce y tomate cultivadas bajo ambientes protegidos [2] [3].

En chile dulce, una baja densidad de siembra aumenta la producción por planta, pero disminuye la producción por unidad de área [4] [5] [1], debido a que la densidad de siembra afecta la intercepción de la luz por parte del cultivo, y es un factor que puede ser utilizado para mejorar el rendimiento de frutos por unidad de área [5] [1].

El peso (y por ende, el tamaño) del fruto de chile dulce es una variable muy importante, pues determina el precio del producto, ya que los frutos más grandes tienen mayor precio [4] [1]. Una forma de optimizar la producción comercial de chile dulce por unidad de área es mediante la combinación apropiada de densidad de siembra y sistema de poda [6] [7] [1].

El coeficiente de correlación es una herramienta estadística que generalmente muestra relaciones entre caracteres independientes, y el grado de relación lineal entre esas características. En la investigación en fitomejoramiento, por lo general se toman medidas de varios caracteres o variables a partir de la misma planta. Para determinar el grado y la dirección de las relaciones lineales que corresponden a esas mediciones, se utiliza el análisis de correlación simple [8].

La capacidad productiva en chile dulce es una característica compleja, que resulta de varios componentes morfológicos: número de flores, tamaño del fruto, grosor de la pared del fruto (pericarpio), peso del fruto; todos estos caracteres son específicos de cada genotipo, y son altamente influenciados por las condiciones de crecimiento y desarrollo. El chile dulce presenta una alta variabilidad de caracteres, y pocas correlaciones entre ellos. El establecimiento de correlaciones entre caracteres, y el grado de su influencia recíproca, es muy útil en los procesos de selección genética. El conocimiento de las correlaciones ofrece la posibilidad de evaluar los caracteres complejos, mediante la evaluación de los caracteres menos complejos [9].

En la India, unos investigadores encontraron que, en el caso del chile dulce, la longitud del fruto, el ancho del fruto, y el número de frutos por planta, mostraron una correlación positiva significativa con el rendimiento [10]. Otros investigadores también han realizado investigación en la correlación de variables en esta hortaliza [8] [11] [12] [9].

El objetivo de esta investigación fue evaluar las correlaciones de Pearson entre la densidad de siembra y las variables de rendimiento, en el híbrido F-1 de chile dulce denominado FBM-9, cultivado bajo condiciones de invernadero, utilizando dos tipos de poda (española y holandesa).

Materiales y métodos

El trabajo se desarrolló en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) de la Universidad de Costa Rica, que está ubicada a 10° 1' latitud Norte y 84° 16' longitud Oeste, en el distrito San José del cantón Central de Alajuela, Costa Rica, a una altitud de 883 msnm, con una precipitación anual promedio de 1940 mm (distribuida de mayo a noviembre), y una temperatura anual promedio de 22 °C.

El ensayo se realizó en un invernadero modelo XR (Richel, Francia), tipo multicapilla, con techo de plástico, con ventilación cenital automática, y con un sistema de riego por goteo para brindar agua y nutrientes al cultivo.

Se cultivó el híbrido F-1 de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) denominado FBM-9, cuyos frutos presentan forma cónica y un color rojo a la madurez. El almácigo se sembró el 30 de junio de 2010, en bandejas plásticas de germinación de 128 alvéolos; se usó como sustrato una mezcla de fibra de coco molida (50%) y abono orgánico (50%). El trasplante se llevó a cabo el 7 de agosto del mismo año. Las plántulas se sembraron en sacos plásticos de 1 m de largo, 22 cm de ancho y 22 cm de altura, rellenos con fibra de coco molida. Se evaluaron dos tipos de poda y tres densidades de siembra, para un total de seis tratamientos (cuadro 1).

La poda holandesa consiste en dirigir la planta a dos guías, eliminando posteriormente una de las dos bifurcaciones en que se va dividiendo cada rama [13] [14] [1]; y la poda española consiste en dejar la planta a libre crecimiento [6] [1] [3]. El día 14 de setiembre de 2010 se realizó la poda holandesa por primera vez, y luego se continuó aplicando en forma periódica. Las densidades de siembra de 2,60; 3,25; y 3,90 plantas/m², corresponden a cuatro, cinco y seis plantas por metro lineal (cada saco), respectivamente; es decir, una distancia entre plantas de 25,00; 20,00; y 16,67 cm, respectivamente, y una distancia entre hileras de 1,54 m.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en el ensayo.

Tratamiento	Tipo de poda	Densidad de siembra (plantas/m ²)
1	Española	2,60
2	Española	3,25
3	Española	3,90
4	Holandesa	2,60
5	Holandesa	3,25
6	Holandesa	3,90

A los 79 ddt se realizó la primera cosecha, y la última cosecha se hizo el 6 de abril de 2011 (242 ddt). El punto de cosecha correspondió al momento en que los frutos mostraban al menos un 50 % de coloración roja en la epidermis. Los frutos cosechados se clasificaron de acuerdo a los parámetros de calidad que se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de calidad utilizados en el ensayo.

Parámetro	Categoría de calidad		
	Primera	Segunda	Rechazo
Longitud del fruto	Igual o mayor a 12 cm	Entre 6 y 12 cm	Menor a 6 cm
Forma del fruto	Cónica normal	Frutos "curvados"	Frutos deformes
Presencia de manchas, cicatrices, o quema de sol	Ninguna	No mayores a 1 cm ²	Mayores a 1 cm ²
Estrías o grietas	Ninguna	No mayores a 3 cm	Mayores a 3 cm
Daño por plagas o enfermedades	Ninguno	Ninguno	Presente

En el invernadero se contó con sensores de temperatura y humedad relativa, y los datos de dichas variables se registraron en un equipo de colecta de datos.

Se evaluaron las siguientes variables:

1. Número de frutos por planta y por metro cuadrado: se realizó la sumatoria de los frutos obtenidos por parcela para cada categoría de calidad, a lo largo del ciclo productivo, y luego se dividió ese dato entre el número de plantas por parcela. Con base en este resultado y en la densidad de siembra, se calculó el número de frutos por metro cuadrado.
2. Peso del fruto (g): se determinó mediante una sumatoria del peso de todos los frutos registrados durante todas las cosechas, y luego se dividió entre el número de frutos totales; esta variable se determinó para cada categoría de calidad del fruto. Para la evaluación de esta característica, se utilizó una balanza electrónica marca Ocony, modelo TH-I-EK, con una capacidad de 5000,0 ± 0,1 g.

- Rendimiento por área (ton/ha): para cada categoría de calidad del fruto, se calculó el rendimiento a partir del peso de los frutos cosechados por parcela y de la densidad de siembra. El rendimiento comercial se calculó sumando el peso de la producción de las categorías de primera y segunda calidad; y el rendimiento total se obtuvo sumando el peso obtenido para las tres categorías de calidad.

El diseño experimental consistió en parcelas divididas; la parcela grande correspondió al tipo de poda, y la parcela pequeña a la densidad de siembra, y se utilizaron cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por dos sacos con cuatro, cinco o seis plantas cada uno (según la densidad de siembra), y la parcela útil estuvo conformada por las cuatro plantas ubicadas en la posición central de la misma.

Se calcularon las correlaciones de Pearson entre la densidad de siembra y las variables de rendimiento, tanto a nivel general, como según el tipo de poda. Para las correlaciones que fueron significativas ($p \leq 0,05$), se calculó la ecuación de regresión y el coeficiente de determinación (R^2).

Resultados y discusión

Durante el período en que se desarrolló el ensayo, la temperatura diurna promedio se ubicó en 27 °C, y la temperatura nocturna promedio fue de 19 °C (figura 1). La humedad relativa diurna promedio fue de 56 %, y la humedad relativa nocturna promedio fue de 85 % [1] [3]. A partir de diciembre de 2010, aumentó la temperatura diurna y descendió la temperatura nocturna, y también bajó la humedad relativa, tanto diurna como nocturna; estos cambios correspondieron al inicio y establecimiento de la temporada seca [1]. En la figura 2 se muestran plantas de chile dulce del ensayo.

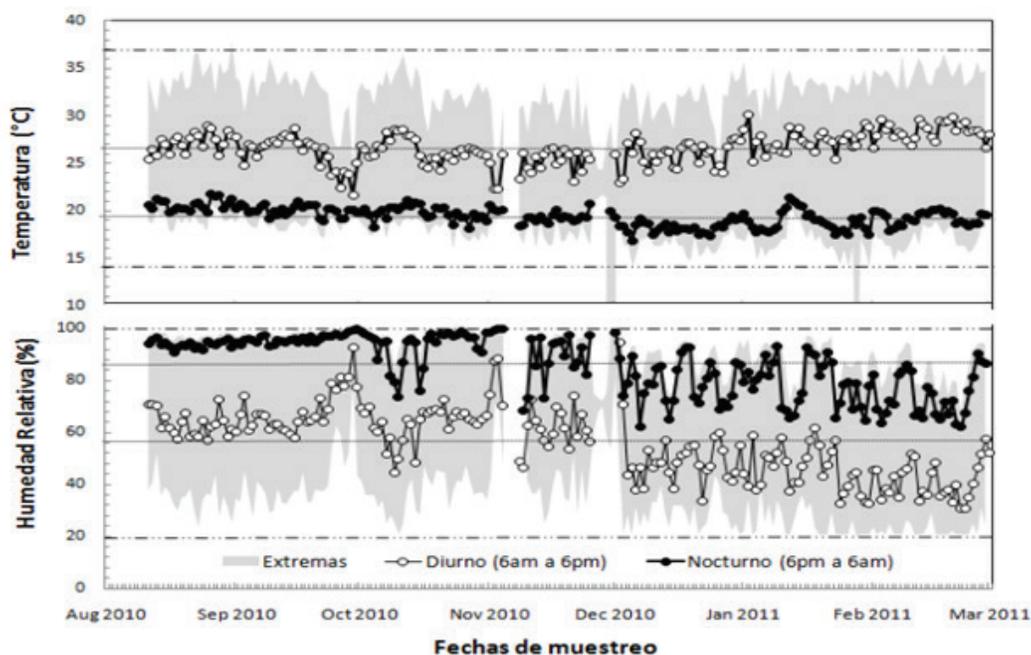


Figura 1. Valores de temperatura y humedad relativa del aire dentro del invernadero. Datos de los valores extremos y promedio por día (diurnos y nocturnos) en Alajuela, agosto 2010 a marzo 2011.



Figura 2. Plantas de chile dulce del ensayo.

En los cuadros 3 al 12 se muestran los resultados de las correlaciones de Pearson que fueron significativas ($p \leq 0,05$), entre la densidad de siembra y las variables de rendimiento evaluadas.

En cuanto a la correlación entre la densidad de siembra y el número total de frutos por planta [3], se halló una correlación negativa y significativa, tanto para la poda española ($r = -0,62$; $R^2 = 0,39$) (cuadro 3, figura 3), como para la poda holandesa ($r = -0,57$; $R^2 = 0,33$) (figura 4), por separado; pero fue no significativa para el total de tratamientos.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y número total de frutos por planta.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R^2)
Total	-0,34	ns	
Poda española	-0,62	*	0,39
Poda holandesa	-0,57	*	0,33

Nota. ns = no significativo; * = significativa ($p \leq 0,05$); ** = altamente significativa ($p \leq 0,01$).

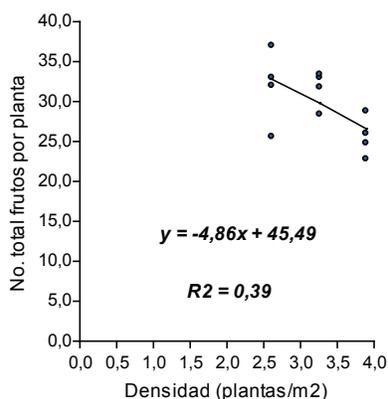


Figura 3. Regresión lineal del número total de frutos por planta versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

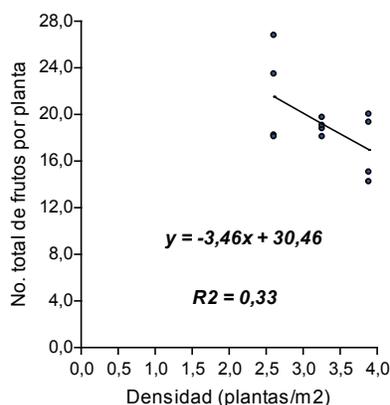


Figura 4. Regresión lineal del número total de frutos por planta versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda holandesa.

En chile dulce, generalmente el número de frutos por planta muestra valores mayores conforme disminuye la densidad de siembra [15] [4] [16] [17] [18]; esos resultados están en concordancia con los valores obtenidos en el presente ensayo, tanto para los tratamientos con poda española, como con poda holandesa.

Con respecto a la correlación entre la densidad de siembra y el número de frutos de segunda calidad por planta [3], el valor obtenido fue negativo y significativo, únicamente para los tratamientos de poda española ($r = -0,59$; $R^2 = 0,35$) (cuadro 4, figura 5).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y número de frutos de segunda calidad por planta.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	-0,20	ns	
Poda española	-0,59	*	0,35
Poda holandesa	-0,08	ns	

Nota. ns = no significativo; * = significativa ($p \leq 0,05$); ** = altamente significativa ($p < 0,01$).

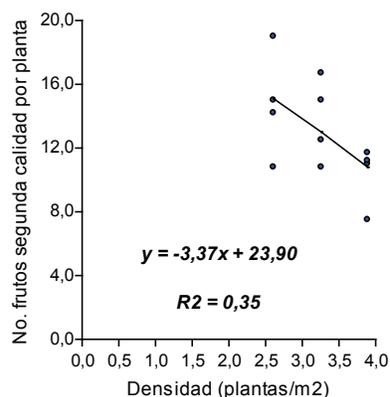


Figura 5. Regresión lineal del número de frutos de segunda calidad por planta versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

En cuanto a la correlación entre la densidad de siembra y el número de frutos de calidad de rechazo por planta, los valores hallados fueron negativos, y significativos o altamente significativos, tanto para el total de tratamientos ($r = -0,55$; $R^2 = 0,30$) (cuadro 5, figura 6), así como para la poda española ($r = -0,58$; $R^2 = 0,34$) (figura 7) y la poda holandesa ($r = -0,61$; $R^2 = 0,37$) (figura 8).

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y número de frutos de calidad de rechazo por planta.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R^2)
Total	-0,55	**	0,30
Poda española	-0,58	*	0,34
Poda holandesa	-0,61	*	0,37

Nota. ns = no significativo; * = significativa ($p \leq 0,05$); ** = altamente significativa ($p \leq 0,01$).

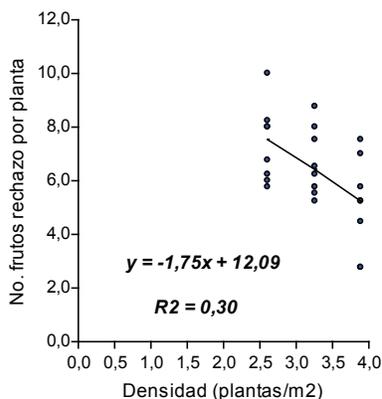


Figura 6. Regresión lineal del número de frutos de calidad de rechazo por planta versus la densidad de siembra (plantas/m²) para el total de tratamientos.

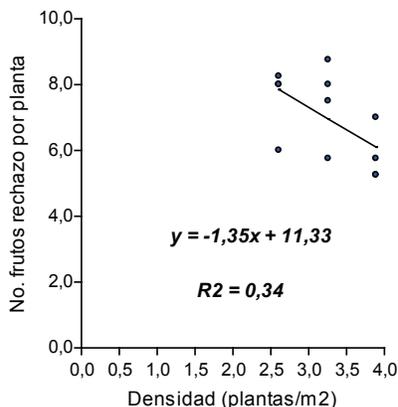


Figura 7. Regresión lineal del número de frutos de calidad de rechazo por planta versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

Con respecto a la correlación entre la densidad de siembra y el número total de frutos por metro cuadrado [1], en todos los casos el resultado fue no significativo (cuadro 6).

Generalmente, el número total de frutos por metro cuadrado en chile dulce es mayor conforme aumenta la densidad de siembra [15] [4] [16] [6] [17] [1]; sin embargo, otros autores no encontraron diferencias entre diversas densidades de siembra para esta variable [18] [1], lo cual es similar a los resultados obtenidos en el presente ensayo.

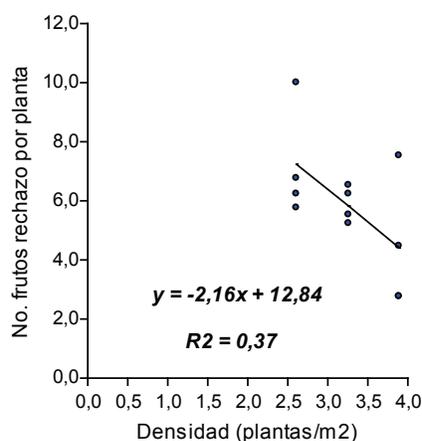


Figura 8. Regresión lineal del número de frutos de calidad de rechazo por planta versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda holandesa.

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y número total de frutos por metro cuadrado.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	0,28	ns	
Poda española	0,55	ns	
Poda holandesa	0,47	ns	

Nota. ns = no significativo; * = significativa (p≤0,05); ** = altamente significativa (p≤0,01).

La correlación entre la densidad de siembra y el número de frutos de primera calidad por metro cuadrado [1], fue positiva y altamente significativa, tanto para el total de tratamientos (r = 0,58; R² = 0,34) (cuadro 7, figura 9), como para la poda española (r = 0,72; R² = 0,52) (figura 10), pero fue no significativa para los tratamientos con poda holandesa.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y número de frutos de primera calidad por metro cuadrado.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	0,58	**	0,34
Poda española	0,72	**	0,52
Poda holandesa	0,50	ns	

Nota. ns = no significativo; * = significativa (p≤0,05); ** = altamente significativa (p≤0,01).

Generalmente, en chile dulce se producen más frutos comerciales por metro cuadrado conforme aumenta la densidad de siembra [6] [19] [3] [1]; los resultados encontrados en la presente investigación con respecto a los frutos de primera calidad, para el total de tratamientos, y para la poda española, están acorde con esos datos de la literatura.

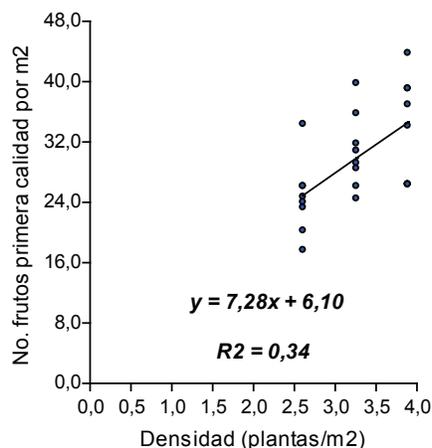


Figura 9. Regresión lineal del número de frutos de primera calidad por m² versus la densidad de siembra (plantas/m²) para el total de tratamientos.

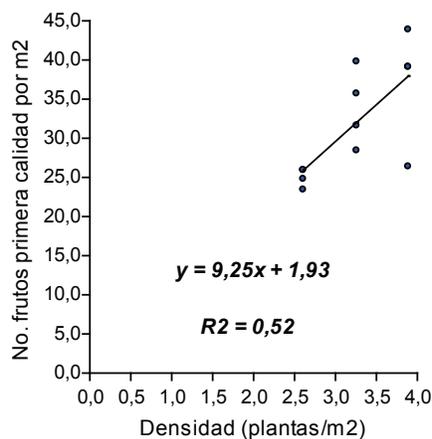


Figura 10. Regresión lineal del número de frutos de primera calidad por m² versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

La correlación hallada entre la densidad de siembra y el peso del fruto [1] fue positiva y altamente significativa, únicamente para los tratamientos con poda española ($r = 0,76$; $R^2 = 0,57$) (cuadro 8, figura 11), mientras que para la poda holandesa y para el total de tratamientos no fue significativa.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y peso del fruto.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	0,31	ns	
Poda española	0,76	**	0,57
Poda holandesa	0,28	ns	

Nota. ns = no significativo; * = significativa (p≤0,05); ** = altamente significativa (p≤0,01).

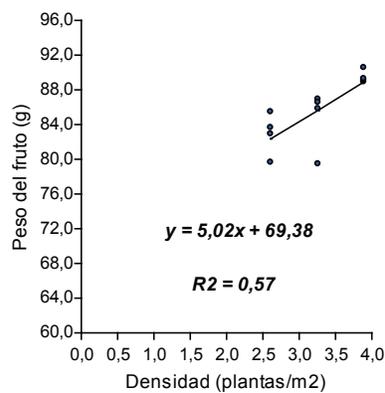


Figura 11. Regresión lineal del peso del fruto (g) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

En algunas investigaciones, el peso del fruto ha mostrado valores mayores conforme disminuye la densidad de siembra del chile dulce [17] [7] [20] [1], aunque en otras ocasiones no se presentaron diferencias entre distintas densidades de siembra [16] [21] [18], tal y como sucedió en el presente ensayo con la poda holandesa. De manera contraria, en la presente investigación, en el caso de los tratamientos con poda española, el peso del fruto fue mayor conforme aumentó la densidad de siembra.

La correlación entre la densidad de siembra y el peso del fruto de primera calidad [1], fue positiva y significativa solamente para los tratamientos de poda española (r = 0,62; R² = 0,39) (cuadro 9, figura 12); pero fue no significativa para el total de tratamientos, y para la poda holandesa.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y peso del fruto de primera calidad.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	0,31	ns	
Poda española	0,62	*	0,39
Poda holandesa	0,13	ns	

Nota. ns = no significativo; * = significativa (p≤0,05); ** = altamente significativa (p<0,01).

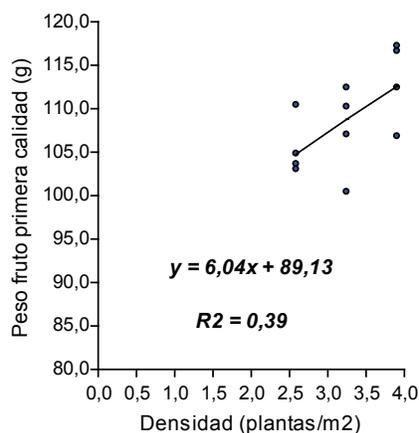


Figura 12. Regresión lineal del peso del fruto de primera calidad (g) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

Con respecto a la correlación entre la densidad de siembra y el rendimiento total, el valor obtenido fue positivo y significativo para el total de tratamientos ($r = 0,42$; $R^2 = 0,17$) (cuadro 10, figura 13), y fue positivo y altamente significativo para los tratamientos con poda española ($r = 0,70$; $R^2 = 0,50$) (figura 14), pero fue no significativo para la poda holandesa.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y rendimiento total.

Tratamiento	Coefficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coefficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	0,42	*	0,17
Poda española	0,70	**	0,50
Poda holandesa	0,50	ns	

Nota. ns = no significativo; * = significativa ($p \leq 0,05$); ** = altamente significativa ($p \leq 0,01$).

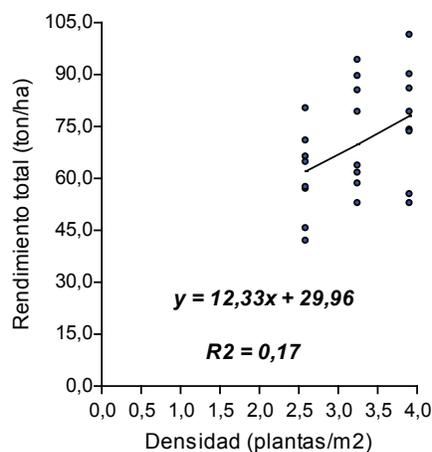


Figura 13. Regresión lineal del rendimiento total (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para el total de tratamientos.

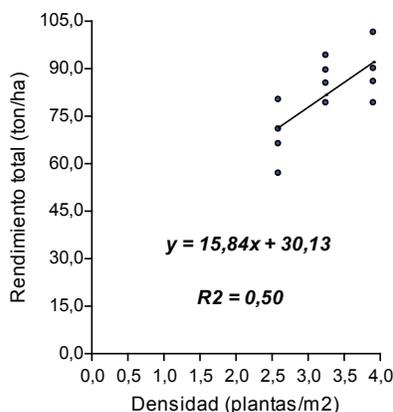


Figura 14. Regresión lineal del rendimiento total (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

Generalmente, el rendimiento total por área en chile dulce es mayor conforme aumenta la densidad de siembra [5] [22] [15] [23] [4] [16] [24] [6] [25] [7] [19] [20] [1], tal y como sucedió también en el presente ensayo para el total de tratamientos, y para la poda española. Sin embargo, en otros ensayos no se han determinado diferencias significativas para esta variable entre distintas densidades de siembra [26] [21] [18] [1], tal y como ocurrió en la presente investigación con la poda holandesa.

La correlación entre la densidad de siembra y el rendimiento de primera calidad fue positiva, y significativa o altamente significativa, tanto para el total de tratamientos ($r = 0,65$; $R^2 = 0,42$) (cuadro 11, figura 15), como para la poda española ($r = 0,74$; $R^2 = 0,55$) (figura 16) y la poda holandesa ($r = 0,58$; $R^2 = 0,34$) (figura 17). Es decir, en todos los casos, conforme se incrementó la densidad de siembra, aumentó también el rendimiento de primera calidad.

Cuadro 11. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y rendimiento de primera calidad.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	0,65	**	0,42
Poda española	0,74	**	0,55
Poda holandesa	0,58	*	0,34

Nota. ns = no significativo; * = significativa ($p \leq 0,05$); ** = altamente significativa ($p \leq 0,01$).

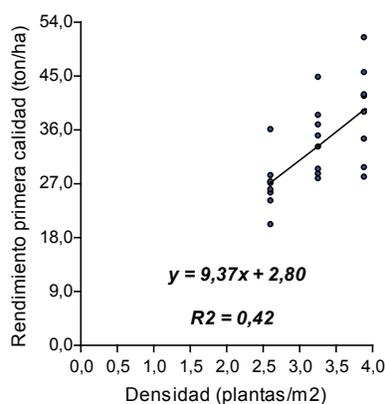


Figura 15. Regresión lineal del rendimiento de primera calidad (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para el total de tratamientos.

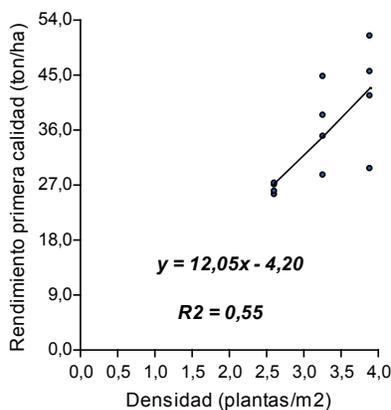


Figura 16. Regresión lineal del rendimiento de primera calidad (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

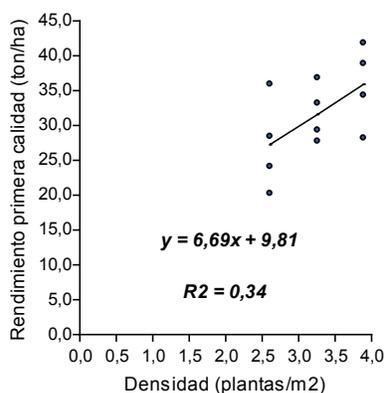


Figura 17. Regresión lineal del rendimiento de primera calidad (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda holandesa.

Unos investigadores obtuvieron una alta correlación y un alto coeficiente de determinación, entre la densidad de siembra y el rendimiento de frutos extra grandes (kg/m²), con poda española ($R^2 = 0,92$), y con poda holandesa ($R^2 = 0,96$); la respuesta fue un aumento en el rendimiento de frutos extra grandes conforme aumentó la densidad de siembra [6]. Un resultado similar se obtuvo en la presente investigación, con el rendimiento de primera calidad, en todos los casos evaluados.

En cuanto a la correlación entre la densidad de siembra y el rendimiento comercial, los valores obtenidos fueron positivos y significativos, tanto para el total de tratamientos ($r = 0,43$; $R^2 = 0,18$) (cuadro 12, figura 18), como para la poda española ($r = 0,68$; $R^2 = 0,46$) (figura 19), y para la poda holandesa ($r = 0,62$; $R^2 = 0,39$) (figura 20); es decir, en todos los casos, el rendimiento comercial aumentó conforme se incrementó la densidad de siembra [1]. Este resultado está en concordancia con lo informado por otros investigadores para chile dulce [23] [6] [17] [19].

Cuadro 12. Coeficientes de correlación de Pearson entre densidad de siembra y rendimiento comercial.

Tratamiento	Coeficiente de correlación (r)	Probabilidad (p)	Coeficiente de determinación de la regresión lineal (R ²)
Total	0,43	*	0,18
Poda española	0,68	*	0,46
Poda holandesa	0,62	*	0,39

Nota. ns = no significativo; * = significativa ($p \leq 0,05$); ** = altamente significativa ($p \leq 0,01$).

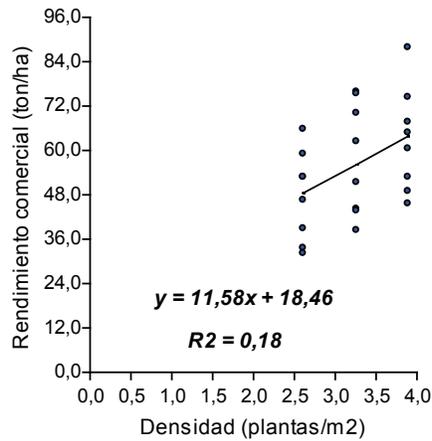


Figura 18. Regresión lineal del rendimiento comercial (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para el total de tratamientos.

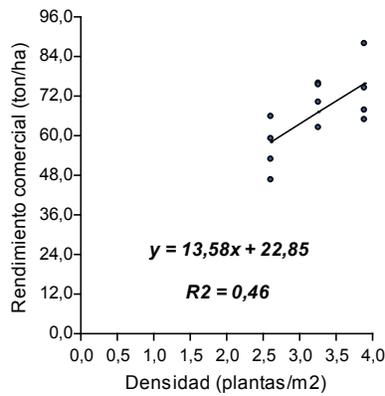


Figura 19. Regresión lineal del rendimiento comercial (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda española.

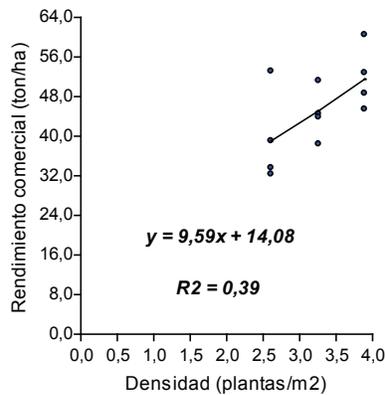


Figura 20. Regresión lineal del rendimiento comercial (ton/ha) versus la densidad de siembra (plantas/m²) para los tratamientos de poda holandesa.

Conclusiones y recomendaciones

Independientemente del tipo de poda, se obtuvo una correlación significativa entre la densidad de siembra y: número de frutos de calidad de rechazo por planta, número de frutos de primera calidad por m², rendimiento total, rendimiento de primera calidad, y rendimiento comercial.

Además, únicamente para los tratamientos con poda española, se halló una correlación significativa entre la densidad de siembra y: número de frutos de segunda calidad por planta, peso del fruto, y peso del fruto de primera calidad.

Se concluye que el uso de una mayor densidad de siembra es lo más beneficioso para los productores, desde el punto de vista económico.

Se recomienda ensayar densidades de siembra superiores a las incluidas en esta investigación (2,60 – 3,90 plantas/m²), para definir una densidad óptima.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento recibido por parte de la Universidad de Florida, así como de la Universidad de Costa Rica, para la realización de este trabajo. Asimismo, agradecen la colaboración de Jendry Portilla, Cristina Arguedas, Jorge Díaz, Julio Vega y Carlos González en el trabajo de campo, y de Mario Monge en la revisión de la traducción del resumen al idioma inglés.

Referencias

- [1] J. E. Monge-Pérez y M. Loría-Coto, «Producción de chile dulce (*Capsicum annum*) en invernadero: efecto de densidad de siembra y poda,» *Revista Posgrado y Sociedad*, vol. 16, n° 2, pp. 19-38, 2018.
- [2] F. Marín, «Programa general de la agricultura protegida y sus aplicaciones en Costa Rica,» Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola Bajo Ambientes Protegidos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica, 2009.
- [3] E. Elizondo-Cabalca y J. E. Monge-Pérez, «Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annum*) cultivados bajo invernadero en Costa Rica,» *InterSedes*, vol. 18, n° 37, pp. 1-27, 2017.
- [4] E. Jovicich, D. J. Cantliffe y G. J. Hochmuth, «Plant density and shoot pruning on yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in Northcentral Florida,» de *Proceedings 28th National Agricultural Plastics Congress, 19-22 May*, Tallahassee, Florida, EE.UU., 1999.
- [5] D. Maniutiu, R. Sima, A. S. Apahidean, M. Apahidean y D. Ficior, «The influence of plant density and shoot pruning on yield of bell pepper cultivated in plastic tunnel,» *Bulletin UASVM Horticulture*, vol. 67, n° 1, pp. 259-263, 2010.
- [6] E. Jovicich, D. J. Cantliffe y P. J. Stoffella, «Fruit yield and quality of greenhouse-grown bell pepper as influenced by density, container, and trellis system,» *Hort Technology*, vol. 14, n° 4, pp. 507-513, 2004.
- [7] M. H. Aminifard, H. Aroiee, A. Ameri y H. Fatemi, «Effect of plant density and nitrogen fertilizer on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L.),» *African Journal of Agricultural Research*, vol. 7, n° 6, pp. 859-866, 2012.
- [8] S. Cancaya, A. Balkaya y O. Karaagac, «Canonical correlation analysis for the determination of relationships between plant characters and yield components in red pepper [*Capsicum annum* L. var. *conoides* (Mill.) Irish] genotypes,» *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 8, n° 1, pp. 67-73, 2010.
- [9] E. Madosa, S. Ciulca, G. Velicevici, C. Avadanei, L. Sasu, A. Cioroga y I. Friskan, «Study of correlations between component characters of production capacity of sweet pepper (*Capsicum annum* L. var. *grossum*),» *Bulletin UASVM, Horticulture*, vol. 65, n° 1, pp. 90-94, 2008.
- [10] V. K. Sharma, C. S. Semwal y S. P. Uniyal, «Genetic variability and character association analysis in bell pepper (*Capsicum annum* L.),» *Journal of Horticulture and Forestry*, vol. 2, n° 3, pp. 58-65, 2010.
- [11] L. Sasu, E. Madosa, G. Velicevici, S. Ciulca, C. Avadanei y G. Gorinoiu, «Studies regarding correlations between the main morphological traits in a collection of bell pepper (*Capsicum annum* var. *grossum*) local landraces,» *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, vol. 17, n° 2, pp. 285-289, 2013.

- [12] A. Ben-Chaim y I. Paran, «Genetic analysis of quantitative traits in pepper (*Capsicum annuum*)», *Journal of the American Society for Horticultural Science*, vol. 125, n.º 1, pp. 66-70, 2000.
- [13] J. D. Gamayo, «El cultivo protegido de pimiento,» de *Pimientos*, España, Ediciones de Horticultura, 1996, pp. 33-40.
- [14] H. Casilimas, O. Monsalve, C. R. Bojacá, R. Gil, E. Villagrán, L. A. Arias y L. S. Fuentes, Manual de producción de pimentón bajo invernadero, Bogotá, Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2012.
- [15] S. Cebula, «Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper,» *Acta Horticulturae*, vol. 412, pp. 321-329, 1995.
- [16] H. Y. Dasgan y K. Abak, «Effects of plant density and number of shoots on yield and fruit characteristics of peppers grown in glasshouses,» *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, vol. 27, pp. 29-35, 2003.
- [17] N. Cruz-Huerta, F. Sánchez, J. Ortiz y M. C. Mendoza, «Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en chile pimiento,» *Agricultura Técnica en México*, vol. 35, n.º 1, pp. 70-77, 2009.
- [18] R. C. Reséndiz-Melgar, E. C. Moreno-Pérez, F. Sánchez-Del Castillo, J. E. Rodríguez-Pérez y A. Peña-Lomelí, «Variedades de pimiento morrón manejadas con despunte temprano en dos densidades de población,» *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 16, n.º 3, pp. 223-229, 2010.
- [19] M. M. Maboko, C. P. Du Plooy y S. Chiloane, «Effect of plant population, stem and flower pruning on hydroponically grown sweet pepper in a shadenet structure,» *African Journal of Agricultural Research*, vol. 7, n.º 11, pp. 1742-1748, 2012.
- [20] S. Seifi, S. H. Nemati, M. Shoor y B. Abedi, «The effect of plant density and shoot pruning on growth and yield of two greenhouse bell pepper cultivars,» *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, vol. 3, n.º 11, pp. 77-83, 2012.
- [21] R. L. Grijalva-Contreras, R. Macías-Duarte y F. Robles-Contreras, «Productividad y calidad de variedades y densidades de chile bell pepper bajo condiciones de invernadero en el Noroeste de Sonora,» *Biotecnía*, vol. 10, n.º 3, pp. 3-10, 2008.
- [22] M. H. Aminifard, H. Aroiee, S. Karimpour y H. Nemati, «Growth and yield characteristics of paprika pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to plant density,» *Asian Journal of Plant Sciences*, vol. 9, n.º 5, pp. 276-280, 2010.
- [23] P. Lorenzo y N. Castilla, «Bell pepper yield response to plant density and radiation in unheated plastic greenhouse,» *Acta Horticulturae*, vol. 412, pp. 330-334, 1995.
- [24] R. Rotondo, M. C. Mondino, J. A. Ferratto, R. Grasso y A. Longo, «Efecto de la poda de conducción, raleo de frutos y densidad de plantación sobre la productividad del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.), bajo invernadero,» *Horticultura Argentina*, vol. 22, n.º 53, pp. 5-9, 2003.
- [25] L. Zúñiga-Estrada, J. d. J. Martínez-Hernández, G. A. Baca-Castillo, A. Martínez-Garza, J. L. Tirado-Torres y J. Kohashi-Shibata, «Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas,» *Agrociencia*, vol. 38, n.º 2, pp. 207-218, 2004.
- [26] F. E. Vicente-Conesa y M. J. Sáez-García, «Comparación de poda a dos guías, a tres guías, aclareo de tallos y cultivo libre en cultivo integrado de pimiento en invernadero,» de *31 Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura, Almagro, Ciudad Real, 2001*, Almagro, Ciudad Real, España, 2004.