

## BIOMASA E ÍNDICES FISIOLÓGICOS EN CHILE MORRÓN CULTIVADO EN ALTAS DENSIDADES

### BIOMASS PRODUCTION AND PHYSIOLOGICAL INDICES IN BELL PEPPER GROWN AT HIGH DENSITIES

Nicacio Cruz-Huerta<sup>1\*</sup>, Joaquín Ortiz-Cereceres<sup>1,2</sup>, Felipe Sánchez-Del- Castillo<sup>3</sup> y María del Carmen Mendoza-Castillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programas en Fisiología Vegetal y <sup>2</sup> Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México- Texcoco. C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Correo electrónico: ncruez@colpos.mx <sup>3</sup> Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. C.P. 56230, Chapingo, Edo. de México.

\* Autor para correspondencia

#### RESUMEN

Se estudió la acumulación y distribución de biomasa y su relación con algunos indicadores de eficiencia fisiológica en chile morrón (*Capsicum annuum* L.) cv. 'Ariane', cultivado en invernadero e hidroponía en distintas condiciones de manejo. Se manejaron tres densidades de población: 8 y 14 plantas/m<sup>2</sup> despuntadas por encima de la tercera y cuarta bifurcación respectivamente (D8 y D14), y un testigo a 3.3 plantas/m<sup>2</sup> sin despunte. Se hicieron cuatro muestreos: en transplante, amarre del primer fruto (40 días después del transplante [ddt]), crecimiento de los primeros frutos (70 ddt), y al final de la cosecha (158 ddt). La tasa de fotosíntesis se midió en hojas bien iluminadas con un analizador de gases al infrarrojo, en cuatro ocasiones (a los 40, 54, 68 y 82 ddt). Después de los 40 ddt, el testigo acumuló más biomasa por planta que las otras densidades de población, debido a su mayor área foliar. Sin embargo, por tener mayor densidad, D8 y D14 produjeron mayores índices de área foliar, lo que se correlacionó directamente con mayores cantidades de biomasa y rendimiento de frutos/m<sup>2</sup>. La tasa de fotosíntesis se incrementó durante el crecimiento de los primeros frutos en alrededor de 65 % (de 12 a 20  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, biomasa, índice de área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento.

#### SUMMARY

The accumulation and distribution of dry matter and its relationship with some indicators of physiological efficiency in Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cv. 'Ariane' cultivated in soilless culture and glasshouse under different management conditions were studied. Three different plant population densities were evaluated: 8 and 14 plants/m<sup>2</sup> pruned above the third and fourth bifurcation respectively (D8 and D14) and a control without pruning and 3.3 plants m<sup>2</sup>. Four samples were taken: at planting, 40 d after planting (dap) when the first fruit of each plant was setting; at 70 dap, when the first fruits were growing, and at 158 dap during harvesting. The photosynthetic rate was measured in light saturated leaves with an infrared gas analyzer in four dates (40, 54, 68 and 82 dap). Starting from 40 dap, the

control accumulated more dry matter per plant than the other plant densities due to its a higher leaf area per plant. However, D8 and D14 produced higher leaf area indexes which were directly correlated with higher dry matter production and fruit yield per square meter than the control. Photosynthetic rate increased mealy 65 % during the growing period of the first fruits (from 12 to 20  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

**Index words:** *Capsicum annuum*, dry matter, leaf area index, net assimilation rate, yield.

#### INTRODUCCIÓN

En México se cultivan anualmente 100 000 hectáreas de chile (*Capsicum annuum* L.) de las cuales unas 10 000 son de pimiento morrón (Valadez, 1989; Schwentesius y Gómez, 1998). En 1995 las exportaciones de pimiento representaron más de 183 millones de dólares (Rosenzweig, 1998) y la demanda en el mercado nacional es creciente debido a su alto contenido de vitaminas A y C, y de carotenos que son compuestos con propiedades antioxidantes (Nuez *et al.*, 1996).

La producción de pimiento bajo invernadero en Europa del Norte generalmente se basa en el método de poda Holandés, que consiste en el uso de cultivares indeterminados que se van conduciendo a dos tallos hasta alcanzar 2 a 3 m de altura; se logran así rendimientos altos por unidad de superficie (100 a 200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), pero con ciclos de cultivo de 9 a 11 meses y un periodo de inicio a fin de cosecha de 6 a 7 meses (Nuez *et al.*, 1996; Challinor, 1996), lo que hace difícil programar la producción para mercados que presentan periodos cortos de precios favorables para el productor.

En campo y en la mayoría de los invernaderos en Almería, España, el pimiento se maneja sin poda o con un mínimo de podas de tallos y flores o frutos, para obtener un flujo de producción concentrada, lo que va acompañado de una detención temporal del crecimiento vegetativo y la caída de flores por la excesiva demanda de los frutos; una vez que se empiezan a cosechar hay una recuperación del crecimiento que, en condiciones climáticas favorables, puede llevar a otro flujo de producción dos a tres meses después (Posadas, 1993; Nuez *et al.*, 1996). Sin embargo, los ciclos también son largos y los rendimientos por unidad de superficie son mucho menores (50 a 80 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Por la altura de la planta que se alcanza con este tipo de manejo, se utilizan densidades de población relativamente bajas (20 a 40 mil plantas/ha).

Con tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) se ha mostrado que es posible, mediante trasplantes tardíos y despuntes tempranos para dejar un racimo por planta, manejar 180 mil plantas/ha, acortar el ciclo de cultivo de trasplante a fin de cosecha de 11 a 2.5 meses, y concentrar la cosecha de todo un ciclo en menos de un mes. Al permitir varios ciclos por año, el rendimiento potencial anual supera al del sistema convencional que se practica en invernaderos europeos y norteamericanos (Sánchez y Ponce, 1998; Sánchez *et al.*, 1999; Ponce *et al.*, 2000).

En pimiento morrón también sería posible lograr altos rendimientos por unidad de superficie con ciclos de cultivo más cortos y periodos de cosecha muy concentrados, mediante el manejo combinado de trasplantes de plántulas de mayor edad (60 a 70 d), despuntes tempranos de los puntos de crecimiento para dejar plantas compactas con pocos frutos, y compensar el menor rendimiento por planta con altas densidades de población (80 a 140 mil plantas/ha).

Con el aumento de la densidad de población, por lo general, disminuye la biomasa por planta pero se incrementa por unidad de superficie (Gardner *et al.*, 1985). En Chile morrón se ha estudiado el crecimiento de la planta (Nilwik, 1981; Ibarra *et al.*, 2001) y del fruto (Marcelis y Baan-Hofman-Eijer, 1995), el intercambio de gases (Zabri y Burrage, 1997), las relaciones entre la fuente y la demanda (Ali y Kelly, 1992; Aloni *et al.*, 1999) y el amarre de fruto (Khah y Passam, 1992), entre otros. Sin embargo, hace falta investigar sobre su potencial productivo en altas densidades de población bajo un sistema intensivo como el de tomate.

En este trabajo se estudió la acumulación y distribución de biomasa del pimiento morrón y su relación con algunos indicadores de eficiencia fisiológica bajo distintas condiciones de manejo, mediante un análisis del crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un invernadero de vidrio en Texcoco, Estado de México (2251 msnm, 19°29' LN y 98°53' LW). Se utilizó el híbrido 'Ariane' que se considera resistente al virus de mosaico del tabaco, forma un follaje denso y presenta un crecimiento rápido. Su fruto es verde hasta la madurez fisiológica y luego se torna de color naranja cuando madura plenamente; posee 3 a 4 lóculos y paredes gruesas, y madura en alrededor de 70 d después de antesis (MildSweetPeppers<sup>1</sup>; Peppers<sup>2</sup>).

Las semillas se germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades, con turba orgánica y vermiculita (Ball Seed®, Geo J. Ball Inc.®, USA) como sustrato. Los riegos se hicieron con agua hasta la emergencia de las plántulas (20 d después de la siembra, dds); posteriormente y hasta el trasplante se regaron alternadamente con agua y solución nutritiva y después del trasplante sólo con solución nutritiva. La concentración (mg L<sup>-1</sup>) de cada nutrimento en la solución nutritiva fue N:200, P:60, K:250, Ca:250, S:200, Mg:60, Fe: 3.0, Mn:0.5, Bo:0.5, Cu:0.5 y Zn:0.5.

Cuando tenían seis hojas expandidas (55 dds), las plántulas se transplantaron a tinas de ferrocemento de 1.3 m de ancho y 0.35 m de profundidad, con pasillos laterales de 0.6 m de ancho, rellenas con arena de tezontle (diámetro de partícula: 1 a 4 mm). Se manejó un sistema de riego por goteo sin recirculación de la solución nutritiva. Cada hilera de plantas tuvo una cinta de goteo de polietileno flexible con goteros cada 20 cm.

Las plantas se sostuvieron con hilo rafia desde alambres colocados a lo largo de la tina a una altura aproximada de 2 m. Las hojas inferiores al nudo de la primera ramificación se eliminaron al inicio de la cosecha. Se hizo control químico de plagas conforme el cultivo lo requirió. Durante la cosecha hubo un ataque de cenicilla (*Leveillula taurica*) que causó la defoliación parcial del cultivo.

Se evaluaron tres tratamientos que combinan densidades de población con niveles de despunte (poda de las yemas terminales de cada rama):

Tratamiento 1: Testigo, 3.3 plantas/m<sup>2</sup> sin despunte (TE); Tratamiento 2: densidad de 8 plantas/m<sup>2</sup> y despunte de las ramas arriba de la cuarta bifurcación del tallo (D8); Tratamiento 3: densidad de 14 plantas/m<sup>2</sup> y despunte de las ramas arriba de la tercera bifurcación (D14). Los despuntes se efectuaron entre los 60 a 70 d después del trasplante (ddt), tanto para D8 como para D14.

<sup>1</sup> <http://www.greendealer.com/seeds/MildSweetPeppers.html>

<sup>2</sup> <http://www.tomatogrowers.com/peppers.htm>

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 5.7 m<sup>2</sup> de invernadero en el testigo, y de 3.8 m<sup>2</sup> para las otras dos densidades, a fin de contar con un número suficiente de plantas para los muestreos.

Para el análisis de crecimiento se colectaron dos plantas por tratamiento de cada repetición, en los que se midió la biomasa total por planta (BP, g), la biomasa de los frutos (BFR, g) y el área foliar (A, m<sup>2</sup>), ésta con un integrador electrónico de área LI-3100 (Licor, Inc. Lincoln, NE, EE.UU.). Se hicieron cuatro muestreos: en transplante (Tr, 55 dds), al amarre del primer fruto en 50 % de la población (40 ddt), durante el periodo de crecimiento de los primeros frutos amarrados (70 ddt), y al final de la cosecha (158 ddt). Al transplante se hizo un muestreo común para todos los tratamientos, para medir la biomasa y el área foliar por planta iniciales. Con la biomasa y el área foliar por planta se calculó la biomasa producida por m<sup>2</sup> de invernadero (BPM, g) y el índice de área foliar (IAF), respectivamente; además, se calculó la tasa de asimilación neta promedio (TAN, g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) (Ec. 1), para cada periodo evaluado (Chiariello *et al.*, 1991).

$$TAN = \frac{BP_2 - BP_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln(A_2) - \ln(A_1)}{A_2 - A_1} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: BP<sub>1</sub> y BP<sub>2</sub> = biomasa/m<sup>2</sup> al inicio y final del periodo considerado; A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> = índice de área foliar al inicio y final del periodo considerado; t<sub>2</sub> y t<sub>1</sub> = tiempo (ddt) al inicio y final del periodo considerado.

En las fases de amarre del primer fruto (40 ddt) y de crecimiento de los primeros frutos amarrados (54, 68 y 82 ddt), se midió la tasa de fotosíntesis neta (F<sub>s</sub>, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, CO<sub>2</sub> asimilado por unidad de área foliar y tiempo) y la conductancia estomática al vapor de agua (C<sub>e</sub>, mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), con un sistema portátil para medir fotosíntesis LI-6200 (Licor, Inc.), basado en un analizador de gases al infrarrojo. Las mediciones se hicieron en la hoja madura más joven expuesta a más de 600 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de radiación fotosintéticamente activa (RFA), entre las 11:30 y las 14:00 h, y en dos plantas por tratamiento en cada repetición. Adicionalmente se midió la RFA (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) incidente sobre el dosel (I<sub>o</sub>) y la no interceptada por el mismo (I<sub>s</sub>) con un radiómetro lineal LI-191 conectado a un multímetro LI-188 (Licor, Inc.). La fotosíntesis del dosel (F<sub>sd</sub>, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; CO<sub>2</sub> asimilado por unidad de área de invernadero y tiempo) se estimó con el modelo propuesto por Charles-Edwards *et al.* (1986) (Ec. 2).

$$F_{sd} = \frac{\alpha \cdot I_o \cdot F_s \cdot Q}{IAF - R_d} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\alpha \cdot k \cdot I_o + F_s$$

Donde: α = rendimiento cuántico o eficiencia fotoquímica (mol de CO<sub>2</sub> asimilado por mol de fotones absorbido), que se consideró con un valor de 0.04 (Nederhoff y Vegter, 1994); F<sub>s</sub> = tasa de fotosíntesis (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) de una hoja joven a saturación; k = coeficiente de extinción del dosel (Ec. 3; Nobel *et al.*, 1993); Q = proporción de la RFA interceptada por el dosel (Ecuación 4); IAF = índice de área foliar; R<sub>d</sub> = respiración del dosel (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; no considerada, pues se utilizó la fotosíntesis neta)

$$k = \frac{\ln(I_o / I_s)}{IAF_s} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$Q = \frac{I_o - I_s}{I_o} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde: ln = logaritmo natural; IAF<sub>s</sub> = IAF calculado con base en el área sombreada por las plantas (80% del área del invernadero).

Con los datos obtenidos se hicieron análisis de varianza y prueba comparación de medias por el método de Tukey (α = 0.05), con el programa de computación "The SAS System for Windows", versión 8.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el muestreo realizado a los 40 ddt sólo hubo diferencias significativas en la biomasa/m<sup>2</sup> y en el índice de área foliar atribuibles principalmente a la densidad de población, pues a nivel de planta las diferencias fueron de menor grado Cuadro 1).

La alta acumulación de biomasa por planta lograda observada desde los 70 hasta los 120 dds en el testigo (Te) se asoció con una mayor área foliar por planta. Sin embargo,

Cuadro 1. Efecto de la densidad de población y nivel de despunte sobre diferentes variables del crecimiento en chile pimienta 'Ariane'.

Muestreo (DDT <sup>+</sup> )	Tratamiento	Área foliar por planta (cm <sup>2</sup> )	Índice de área foliar (IAF)	Biomasa (g/planta)	Biomasa de frutos (g/planta)	Biomasa total(BPM)(g m <sup>-2</sup> )
40	Te	524 a	0.17 c	4.9 a	0.2 a	16 c
	D8	503 a	0.40 b	4.5 a	0.1 a	36 b
	D14	529 a	0.74 a	4.7 a	0.2 a	66 a
	DMS	109	0.11	1.1	0.2	9
70	Te	1983 a	0.66 b	31.6 a	14.6 a	104 c
	D8	1214 b	0.97 b	22.3 b	11.9 a	178 b
	D14	1308 b	1.83 a	24.9 b	12.8 a	348 a
	DMS	338	0.35	4.3	3.8	41
120	Te	3173 a	1.05 b	-	-	-
	D8	1943 b	1.55 b	-	-	-
	D14	2092 b	2.93 a	-	-	-
	DMS	507	0.57	-	-	-
158	Te	1324 a	0.44 b	106.5 a	57.6 a	352 c
	D8	1213 a	0.97 b	83.1ab	47.6 b	665 b
	D14	1267 a	1.77 a	67.0 b	34.9 b	938 a
	DMS	680	0.59	19.4	14.5	197

<sup>+</sup>Días después de trasplante. Te = Testigo a 3.3 plantas/m<sup>2</sup> sin despunte; D8 = 8 plantas/m<sup>2</sup> y despunte arriba de la cuarta bifurcación; D14 = 14 plantas/m<sup>2</sup> y despunte arriba de la tercera bifurcación; DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra por columna en un muestreo son estadísticamente iguales entre sí. - = Sin datos.

después de 120 dds el índice de área foliar del testigo fue el más bajo, ya que su alta área foliar por planta no alcanzó a igualar el índice de área foliar de los doseles de plantas manejadas en los dos tratamientos de alta densidad, incluso después de que éstos fueron despuntados. Así, a los 158 ddt la producción total de biomasa/m<sup>2</sup> en las altas densidades fue dos y tres veces mayor que la del testigo.

Gardner *et al.* (1985), Cebula (1995) y Jolliffe y Gaye (1995), también indicaron que aunque el incremento de la densidad de población ocasiona una disminución en tamaño, vigor y peso de la planta, la biomasa por unidad de superficie se incrementa hasta un límite máximo, que para la mayoría de las especies de cultivo con mecanismo fotosintético C<sub>3</sub> se alcanza con IAF de 3 a 4. Según Wien (1999), el lento establecimiento del IAF óptimo es un factor limitante en el crecimiento inicial del chile, lo cual coincide con lo encontrado en el presente trabajo, donde a los 120 ddt el testigo apenas había sobrepasado el valor de 1 (Cuadro 1).

Con los datos obtenidos se muestra que la densidad que normalmente se usa en invernadero (3 plantas/m<sup>2</sup>), puede ser incrementada hasta en cinco veces mediante el manejo oportuno del despunte, y así detener de manera más rápida un IAF óptimo y mayor tasa de acumulación de materia seca, que eventualmente se puede traducir en la duplicación del rendimiento de fruto, como ocurrió en el presente trabajo (Figura 1B). El porcentaje de frutos de primera calidad fue similar entre los tres tratamientos (datos no presentados).

La disminución del área foliar por planta que se observa en el muestreo de los 158 ddt, comparada con el muestreo realizado a los 120 ddt, se debió a una defoliación parcial provocada por un ataque de *Cenicilla (Leveillula*

*taurica*). El ataque fue más severo en el testigo, al grado que desaparecieron las diferencias significativas entre tratamientos para esa fecha de muestreo.

La TAN fue igual en las tres densidades en los periodos de 0 a 40 ddt y de 40 a 70 ddt. Sin embargo, fue superior en el tratamiento D8 entre los 70 a los 158 dds (Cuadro 2). Ibarra *et al.* (2001) encontraron valores de TAN que variaron entre 7 y 10 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> durante los 40 d posteriores al trasplante, similares a los reportados en el Cuadro 2. En cambio, en el estudio de Nilwik (1981), en el cual la RFA fue menor a 100 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, la TAN fue de 1 a 1.5 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> y fue limitante en la acumulación de biomasa.

Cuadro 2. Tasa de asimilación neta (g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) en la variedad 'Ariane' de pimienta morrón en los periodos de 0 a 40, 40 a 70 y 70 a 158 d después del trasplante.

Tratamiento	Periodo (días)		
	0-40	40-70	70-158
Te	6.4 a	8.1 a	3.0 b
D8	6.1 a	7.3 a	4.4 a
D14	6.2 a	7.8 a	2.6 b
DMS	1.0	1.2	1.2

Te = Testigo a 3.3 plantas/m<sup>2</sup> sin despunte; D8 = 8 plantas/m<sup>2</sup> y despunte arriba de la cuarta bifurcación; D14 = 14 plantas/m<sup>2</sup> y despunte arriba de la tercera bifurcación; DMS = Diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales entre sí.

A partir del amarre del primer fruto (40 ddt), los frutos se convirtieron en la principal demanda, y 30 d después representaron alrededor de 50 % de la biomasa de la planta, proporción que se mantuvo hasta el final del estudio, valor similar al que han reportado otros autores (Hall, 1977; Wien, 1999). A la alta demanda de los frutos se atribuye el incremento de la TAN (24 %) durante el crecimiento de frutos (40 a 70 ddt), en comparación con la

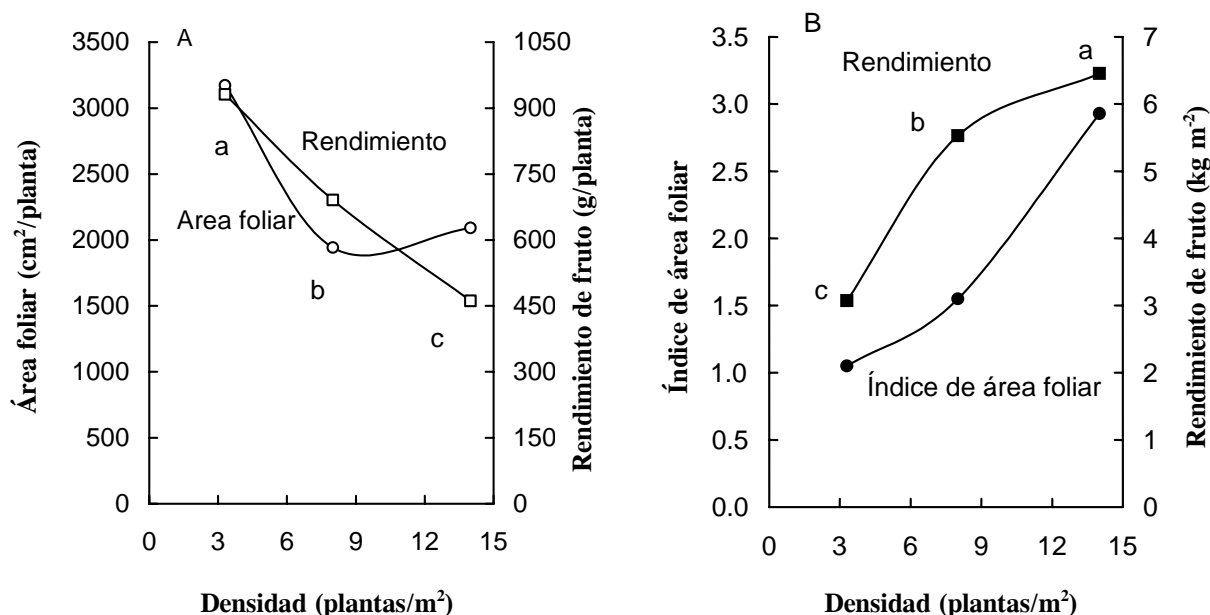


Figura 1. Relaciones del área foliar y rendimiento de fruto por planta (A) y del índice de área foliar y rendimiento de fruto/m<sup>2</sup> (B) con la densidad de población. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, 0.05).

TAN promedio registraba del trasplante al amarre del primer fruto (0 a 40 ddt).

Según Marcelis y Baan-Hofmafl-Eijer (1995), durante los 30 d posteriores al amarre del fruto, éste alcanza la máxima tasa de acumulación de biomasa y la fase lineal de acumulación de biomasa, lo que convierte al fruto en la principal demanda de fotoasimilados (Hall, 1977). Durante el desarrollo de la flor y crecimiento inicial de los frutos se requiere asegurar un adecuado suministro de asimilados a los frutos conforme (Ali y Kelly, 1992; Aloni *et al.*, 1999). De acuerdo con lo señalado por Pollock y Farrar (1996) en relación con el control de la tasa de fotosíntesis por la acumulación de fotoasimilados en las hojas, la disminución de la TAN en el último periodo considerado probablemente se debió a una fuerte disminución de la demanda de fotoasimilados al entrar los frutos en su proceso de maduración y cosecha, ello combinado con el daño al follaje causado por la cenicilla.

El rendimiento de frutos por planta disminuyó linealmente con el incremento de la densidad de población (Figura 1A). A pesar de que el área foliar en las dos densidades altas fue igual, el rendimiento por planta fue superior en D8 debido a un mayor número de frutos por planta (5.8 en D8 contra 4.0 en D14) por haberse despuntado hasta la cuarta bifurcación y no a la tercera como en D14. Sin embargo, tanto el rendimiento de fruto por unidad de superficie como el índice de área foliar se

incrementaron en forma directamente proporcional con el aumento en la densidad de población, con diferencias significativas entre tratamientos. Destaca que el tratamiento con densidad de 14 plantas/m<sup>2</sup> despuntadas por encima de la tercera bifurcación, rindió más del doble por unidad de superficie que el tratamiento testigo, que representa el manejo comercial a 3.3 plantas/m<sup>2</sup> sin despuntar (Figura 1 B).

La tasa de fotosíntesis aparente ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) fue similar estadísticamente entre los tratamientos de densidad de población y despunte, en las cuatro mediciones durante los primeros 42 d después del amarre del primer fruto (Figura 2). Luego se incrementó en más de 60% desde los 14 d posteriores a dicho amarre, periodo en el que los frutos crecieron más rápido y representaron la mayor demanda de asimilados en la planta (Cuadro 1). Lo anterior sugiere que el incremento en la tasa de fotosíntesis fue una respuesta fisiológica a la mayor demanda de asimilados, como también lo señalaron Zabri y Burrage (1997). Estos resultados en el comportamiento en la tasa de fotosíntesis difieren de los encontrados por Bhatt y Srinivasa (1993, 1997) quienes reportaron que la actividad fotosintética se mantuvo constante durante la evaluación, o que disminuyó ligeramente; únicamente fueron similares los valores de la primera evaluación (en amarre del primer fruto) a los encontrados por Bhatt y Srinivasa (1997) en una etapa fenológica similar (10 d después de anthesis de la primera flor).

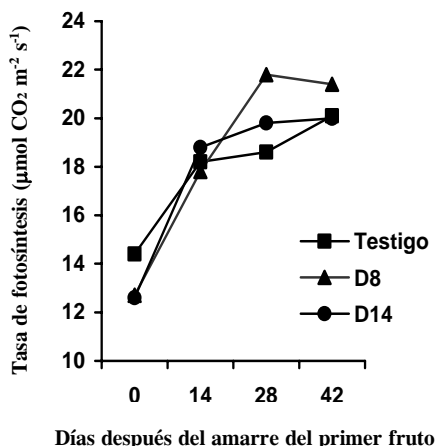


Figura 2. Tasa de fotosíntesis neta en chile morrón 'Ariane', durante el periodo de amarre del primer fruto y etapa de crecimiento (14, 28 y 42 d después del amarre).

La tasa de fotosíntesis del dosel (Fsd, µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> de suelo s<sup>-1</sup>) fue estadísticamente mayor en las densidades altas que en el testigo (Cuadro 3). Tales diferencias en cada etapa fenológica estuvieron correlacionadas con el IAF (r<sup>2</sup> = 0.97, P < 0.0001) y con el porcentaje de radiación interceptada (r<sup>2</sup> = 0.65, P < 0.01). Entonces, la tasa de fotosíntesis del dosel respondió al incremento del IAF porque hubo mayor porcentaje de radiación interceptada, tal y como lo plantean Gardner *et al.* (1985). Nederhoff y Vegter (1994) calcularon la tasa de fotosíntesis del dosel a largo plazo en chile morrón; en otoño (IAF = 2.7) fue de 0.83 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, y en primavera (IAF = 2.8), de 1.37 µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Dichos valores fueron inferiores a los obtenidos en el presente estudio, probablemente debido a que los estimados que se muestran en el Cuadro 3 con el modelo de Charles-Edwards *et al.* (1986) son instantáneos.

Cuadro 3. Fotosíntesis del dosel (Fsd, mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de área de invernadero) y radiación fotosintéticamente activa interceptada (Q, %) en dos etapas fenológicas de chile morrón var. 'Ariane cultivada en tres densidades de población.

Tratamiento	Amarre del primer fruto		Crecimiento de fruto	
	Fsd	Q	Fsd	Q
Te	0.37 c	27 c	7.00 c	42 c
D8	1.48 b	39 b	12.06 b	82 b
D14	4.11 a	59 a	31.45 a	90 a
DMS	1.51	9	10.2	6

Te = testigo a 3.3 plantas/m<sup>2</sup> sin despunte; D8 = 8 plantas/m<sup>2</sup> y despunte arriba de la cuarta bifurcación; D14 = 14 plantas/m<sup>2</sup> y despunte arriba de la tercera bifurcación; DMS = diferencia mínima significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales entre sí.

### CONCLUSIONES

Al incrementar la densidad de 3.3 a 14 plantas/m<sup>2</sup> y despuntar tempranamente las plantas, se redujo el área foliar, la biomasa y el rendimiento de fruto por planta. No obstante, se incrementó significativamente el índice de área foliar, la biomasa total y el rendimiento de fruto por unidad de superficie.

La tasa de asimilación neta del pimiento se incrementó en 24 % durante el periodo de amarre de los primeros frutos (0 a 40 ddt), entre los 40 a 70 d después del trasplante cuando ocurre el crecimiento rápido de los frutos.

La tasa de fotosíntesis del dosel fue mayor en las plantas manejadas con densidades altas y despunte, que en la densidad testigo sin despunte, debido al mayor índice de área foliar que condujo a mayor porcentaje de intercepción de radiación fotosintéticamente activa por el dosel.

### BIBLIOGRAFÍA

Ali A M, W C Kelly (1992) The effects of interfruit competition on the size of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) fruits. *Sci. Hort.* 52:69-76.

Aloni B, E Pressman, L Karni (1999) The effect of fruit load, defoliation and night temperature on the morphology of pepper flowers and on fruit shape. *Ann. Bot.* 83:529-534.

Bhatt R M, N K Srinivasa R (1993) Response of bell-pepper (*Capsicum annuum* L.) in photosynthesis, growth, and flower and fruit setting to night temperature. *Photosynthetica* 28(1):127-132.

Bhatt R M, N K Srinivasa R (1997) Growth and photosynthesis in bell-pepper as affected by sink manipulation. *Biol. Plant.* 39(3):437-439.

Cebula S (1995) Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Hort.* 412:321-329.

Challinor P F (1996) Producción de pimiento en climas fríos. In: Pimientos. Namesny V (ed). Ediciones de Horticultura. Reus, España. pp:41-44.

Charles-Edwards D A, D Doley, G M Rimmington (1986) Modelling Plant Growth and Development. Academic Press. Australia. 235 p.

Chiarello N R, H A Mooney, K Williams (1991) Growth, carbon allocation and cost of plant tissues. In: Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation. R W Pearcy, J Ehleringer, H A Mooney, P W Rundel (eds). Chapman and Hall. London, England. pp:327-365.

Gardner F P, R B Pearce, R L Mitchell (1985) Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Ames. 327 p.

Hall A J (1977) Assimilate source-sink relationship in *Capsicum annuum* L. I. The dynamics of growth in fruiting and defoliated plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 4:623-636.

Ibarra J L, J M Fernández B, J Munguía L, S A Rodríguez H, J O Díaz P, J L Hernández M, J Farias L (2001) Análisis de crecimiento en melón y pimiento con acolchado y microtúnel. *Rev. Fitotec. Mex.* 24(1):39-48.

Jolliffe P A, M M Gaye (1995) Dynamics of growth and yield components of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) to row covers and population density. *Sci. Hort.* 62:153-164.

Khah E M, H O Passam (1992) Flowering, fruit set and development of the fruit and seed of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivated under conditions of high ambient temperature. *J. Hort. Sci.* 67:251-258.

Marcelis L F M, L R Baan-Hofman-Eijer (1995) Growth analysis of sweet pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Acta Hort.* 412:470-478.

- Nederhoff E M, J O Vegter (1994)** Photosynthesis of stands of tomato, cucumber and sweet pepper measured in greenhouses under various CO<sub>2</sub>-concentrations. *Ann. Bot.* 73:353-351.
- Nilwik H J M (1981)** Growth analysis of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). I. The influence of irradiance and temperature under glasshouse conditions in winter. *Ann. Bot.* 48:129-136.
- Nobel P S, I N Forseth, S P Long (1993)** Canopy structure and light interception. *In: Photosynthesis and Production in a Changing Environment: a Field and Laboratory Manual.* D O Hall, J M O Scurlock, H R Leegood, S P Long (eds). Chapman and Hall. London. pp:207-219.
- Nuez V F, R Gil O, J Costa G (1996)** El Cultivo de Pimientos, Chiles y Ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- Pollock C J, J F Farrar (1996)** Source-Sink Relations: The Role of Sucrose. *In: Photosynthesis and the Environment. Advances in Photosynthesis Vol. 5.* N R Baker (ed). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp:261-279.
- Ponce O J, F. Sánchez Del C, E. Contreras M, T Corona S (2000)** Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Rev. Fitotec. Mex.* 23(1):87-99.
- Posadas S F (1993)** El cultivo del pimiento en sistemas hidropónicos. *In: Cultivos sin Suelo.* C F Martínez, J Díaz A (eds). FIAPA. Almería España. pp: 313-317.
- Rosenzweig P A (1998)** El sector agropecuario mexicano en el contexto del TLCAN. *En: TLC y Agricultura ¿Funciona el Experimento?* R R Schwentesius, M A Gómez C, W G Williams (eds). Juan Pablos Editor. México, D. F. pp:143-154.
- Sánchez Del C F, J Ponce O (1998)** Densidades de población y niveles de despunte en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivado en hidroponía. *Rev. Chapingo S. Hort.* 4(2):89-94.
- Sánchez Del C F, J Ortíz C, C Mendoza C, V A González H, T Colinas L (1999)** Características morfológicas asociadas con un arquetipo apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33(1):21-29.
- Schwentesius R R, M A Gómez C (1998)** Competitividad de hortalizas mexicanas en el Mercado norteamericano. Tendencias recientes en el marco del TLC. *In: TLC y Agricultura ¿Funciona el Experimento?* R R Schwentesius, M A Gómez C, W G Williams (eds). Juan Pablos Editor. México, D. F. pp:167-203.
- Valadez L A (1989)** Producción de Hortalizas. Editorial Limusa. México, D. F. 298 p.
- Wien H C (1999)** Peppers. *In: The Physiology of Vegetable Crops.* H C Wien (ed). CABI Publishing. Cambridge, UK. pp:259-293.
- Zabri A W, S W Burrage (1997)** The effect of vapor pressure deficit (DPV) and enrichment with CO<sub>2</sub> on water relations, photosynthesis, stomatal conductance and plant growth of sweet pepper (*Capsicum annuum*) grown by NFT. *Acta Hort.* 449:561-567.