

## ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L. cv. Hot), EN ALAJUELA, COSTA RICA<sup>1</sup>

Álvaro Azofeifa<sup>2</sup>, Marco A. Moreira<sup>3/\*</sup>

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, chile jalapeño, análisis de crecimiento, fenología, índices fisiológicos, índices morfológicos.

**Keywords:** *Capsicum annuum*, jalapeño pepper, growth analysis, phenology, physiological indexes, morphological indexes.

### RESUMEN

El patrón de crecimiento de la planta de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), cv Hot, se analizó durante un ciclo de cultivo, en Alajuela, Costa Rica, de mayo a noviembre de 1995. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 4 repeticiones, los tratamientos fueron las épocas de muestreo. Cada 14 días, a partir del 85% de plántulas emergidas (26 días después de la siembra, DDS), fueron muestreadas 8 plantas, se determinó el área foliar y el peso seco en cada sección (raíz, parte aérea, flor y fruto), variables con las cuales se determinaron los índices fisiológicos y morfológicos. Las plantas presentaron una curva de crecimiento sigmoidal, con las siguientes fases: a- de 26-82 DDS: esta fase se caracterizó por un crecimiento lento, debido a que la planta era muy pequeña y apenas estaba desarrollando su sistema radical y foliar; b- de 83-110 DDS: fase de rápido crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas. La planta presenta los valores de índice de crecimiento relativo (ICR) e índice de asimilación neta (IAN) más altos y los del índice de área foliar (IAF) e índice de cosecha (K) son crecientes. Tanto la razón de área foliar (RAF) como la de peso radical (RPR) presentan las reducciones más importantes; c- de 111-152 DDS: la tasa de

### ABSTRACT

**Growth analysis of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* L. cv Hot) in Alajuela, Costa Rica.** The growth pattern of jalapeño pepper plants, cultivar Hot, was analyzed from May through November 1995, in Alajuela, Costa Rica. A complete-randomized-block experimental design with four replications was used, where treatments corresponded to sampling periods. Eight central plants of the useful plot was sampled every 14 days, starting with 85% seedlings emergence (26 days after planting-DAP). The leaf area and dry weight of each plant section (root, foliage, flower and fruit) were measured and used to determine the physiological and morphological indexes. The plant showed a sigmoidal growth curve, with the following stages: a- from 26 to 82 DAP, characterized by slow growth, as the plant was small and its root and leaf systems were just starting to develop; b- from 83 to 110 DAP, comprises the rapid vegetative and reproductive growth phases. At this stage the plant shows the highest values on relative growth and net assimilation rates (RGR and NAR). The leaf area index (LAI) as well as the harvest index (K) are increasing. Besides, both the leaf area and the root weight ratios (LAR and RWR) show the most important reduction; c- from 111 through

1/ Recibido el 27 de enero del 2004. Aceptado el 23 de abril de 2004.

2/ Parte de la tesis de grado del primer autor presentada a la Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica.

3/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: mmoreira@cariari.ucr.ac.cr

\* Programa de Hortalizas, Estación Experimental Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica.

crecimiento disminuye gradualmente. El crecimiento vegetativo y reproductivo es menor que en la fase anterior. Presenta valores de ICR, IAN y RAF decrecientes, K permanece constante; d- de 153-166 DDS, la planta alcanza la madurez y las tasas de crecimiento tienden a estabilizarse. El ICR presenta un valor cercano a cero. Los índices IAN, RAF y RPR son bajos y constantes; e- de 167-180 DDS, la planta muestra signos de senescencia y el contenido de materia seca decrece. El ICR muestra valores negativos. La producción de biomasa está ligada a la fenología de la planta, principalmente durante la floración y la fructificación. En estas fases, la planta invierte cantidades similares de fotoasimilados para la producción de fruta y la parte vegetativa. Además, la planta limita el crecimiento vegetativo cuando inicia la fructificación, especialmente cuando los frutos presentan las mayores tasas de crecimiento.

152 DAP, the growth rate gradually decreases. Vegetative and reproductive growth is smaller than the one in the previous phase. Values of RGR, NAR and LAR are decreasing and K remains constant; d- from 153 to 166 DAP, the plant reaches maturity and the growth rates tend to stabilize. The RGR value is close to zero and the NAR, LAR and RWR values are low and constant; e- from 167 to 180 DAP, the plant shows senescence signs and dry matter content decreases. The RGR shows negative values. The biomass production is linked to the phenology of the plant, specially at blooming and fruiting. The plant invests similar amounts of photo-assimilates for the production of fruits and the vegetative parts. Besides, the plant limits its vegetative growth when fruiting starts, specially when the fruits present the highest growth rates.

## INTRODUCCIÓN

En general, el chile jalapeño es un cultivo de manejo intensivo del cual hay muy poca información local sobre análisis del crecimiento y fenología de la planta. Los estudios detallados del crecimiento de las plantas permiten cuantificar diferentes aspectos del mismo: la duración del ciclo; la definición de las etapas de desarrollo; y la distribución de los fotoasimilados por órganos. Además, los análisis del crecimiento son básicos para comprender mejor los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal, y así fundamentar más racionalmente las prácticas de manejo del cultivo: nutrición, riego, podas, estrategias de protección, entre otras (Barrientos 1988).

El crecimiento se define como un incremento constante en el tamaño de un organismo, que está acompañado de 2 procesos: morfogénesis y diferenciación; el primero es el desarrollo de la forma o modelo de la célula u órgano y el segundo, es el proceso por el cual las células

cambian estructural y bioquímicamente para formar o adquirir funciones especializadas (Taiz y Zeiger 1991). Ambos procesos se pueden medir mediante la tasa absoluta de crecimiento, en función de la cantidad de materia seca en crecimiento presente y la tasa de funcionamiento de esta, en relación con la influencia del ambiente (Milthorpe y Moorby 1982).

El peso seco es el criterio más apropiado para medir el crecimiento y la magnitud del sistema de asimilación de la planta, referido, frecuentemente, al área foliar total (Taiz y Zeiger 1991, Radford 1967).

El área foliar es la medida usual del tejido fotosintetizador de una comunidad de plantas. Además, la cantidad de área foliar es importante, porque esta determina la cantidad o importe de energía solar que es absorbida y convertida a materiales orgánicos (Shibles 1987). Steer y Pearson (1976), indican que todas las hojas de la planta de chile exportan el mismo porcentaje de carbono fijado. No obstante, la tasa de fijación por unidad

de área es diferente entre las hojas jóvenes y adultas. También menciona que los frutos son capaces de fijar carbono para su desarrollo; pero además, los fotoasimilados son importados desde las hojas del eje principal de donde se encuentra el fruto. Estos asimilados son la principal fuente, contribuyendo en aproximadamente 7,5 veces más en carbono que el fijado por los mismos frutos.

En la curva de crecimiento de la planta de chile se distinguen 3 etapas: La primera, una fase inicial o logarítmica, donde la planta joven cuenta con una área foliar y un sistema radical reducidos. La segunda, una fase vegetativa o exponencial donde el crecimiento es rápido y el poder de asimilación de la planta aumenta a medida que sus órganos se desarrollan. La tercera es una fase de estabilización, donde después del inicio de la fructificación ocurre una disminución del crecimiento hasta estabilizarse (Rylski 1986). Azofeifa y Moreira (1998) obtuvieron resultados similares con relación al patrón de crecimiento y las principales etapas fenológicas de la planta de chile dulce cv. UCR 589. Estos autores determinaron que la planta envía más fotoasimilados hacia la producción de frutos que hacia la formación de la parte vegetativa y que el máximo IAN coincidió con la fase de rápido crecimiento de los frutos. La planta redujo el crecimiento vegetativo cuando inició la fructificación, especialmente cuando los frutos presentaron las mayores tasas de crecimiento.

El objetivo de este trabajo fue determinar el patrón de crecimiento y definir las principales

etapas fenológicas de plantas de chile jalapeño, cv Hot, bajo condiciones de campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre mayo y noviembre de 1995, en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEFBM), localizada en el barrio San José de Alajuela, a una elevación de 840 msnm, cuyas condiciones climáticas durante el período se presentan en el cuadro 1.

El suelo donde se estableció el experimento es franco (arena 44%, arcilla 22%, y limo 37%), pH en agua 5,7; K, Ca, Mg, Acidez, y CICE, 0,67; 7,1; 2,0; 0,4 y 10,2 cmol ( + ) l<sup>-1</sup> de suelo y P, Cu, Fe, Mn, Zn, B y S, 33,5; 18,0; 278,0; 6,3; 2,0; 0,72 y 36,0 mg l<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente.

La preparación del almácigo se realizó el 3 de mayo de 1995, en bandejas de estereofón de 128 celdas. Se sembró 2 semillas de chile jalapeño cv HOT, por celda a una profundidad de 1-1,5 cm. Luego de la emergencia, se raleó dejando la mejor plántula.

El trasplante se hizo el 6 de junio de 1995, se sembró a una distancia de 0,4 m entre plantas y 1,2 m entre hileras (20833 plantas ha<sup>-1</sup>). En el fondo del hoyo de trasplante se colocó 20 g de la fórmula 10-30-10 (1<sup>a</sup> fertilización). A los 15 días se realizó la segunda fertilización, aplicándose nuevamente 20 g de la fórmula anterior más 5 g planta<sup>-1</sup> de la fórmula 18-5-15-6-2. Al mes de trasplante,

Cuadro 1. Promedios mensuales de humedad relativa, temperatura, brillo solar y precipitación durante el período experimental. Alajuela, 1995.

MES	HUMEDAD RELATIVA %	TEMPERATURA °C			BRILLO SOLAR Horas	PRECIPITACION mm.
		Mínima	Promedio	Máxima		
Mayo	86,0	23,1	23,1	29,2	6,4	332,7
Junio	87,0	19,3	23,1	28,6	5,7	203,8
Julio	84,0	19,5	22,9	28,7	5,0	234,2
Agosto	89,0	18,8	22,4	27,8	6,6	490,1
Setiembre	89,0	22,6	22,6	28,2	4,8	295,4
Octubre	91,0	19,0	22,2	27,5	4,5	431,5
Noviembre	78,0	19,4	23,3	29,3	5,1	95,2

se fertilizó por tercera vez, con una mezcla de nitrato de amonio 2,5 g y 2,5 g planta<sup>-1</sup> de 18-5-15-6-2. A los 45 días después del transplante (DDT), se aplicó nuevamente, las fórmulas mezcladas 18-5-15-6-2 y nitrato de amonio a razón de 2,5 y 5 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente (4ª fertilización). A los 2, 3 y 4 meses después del transplante, se agregó 20 g planta<sup>-1</sup> de 18-5-15-6-2. En total se aplicaron 398, 323, 302, 88 y 29 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO y B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, respectivamente. Además, se realizaron aplicaciones foliares, con 21-53-0, 20-20-20 en el almácigo y después del transplante con elementos menores (B, Zn, Fe, Mo, etc.) y medios (S, Mg, Ca).

El control de plagas y enfermedades se realizó con productos específicos, según la ocurrencia de estas. Para el manejo de malezas durante el primer mes, se realizó una aporca y posteriormente se hicieron aplicaciones dirigidas de paraquat.

La cosecha se realizó cada 14 días, a partir del momento en que los primeros frutos alcanzaran el tamaño comercial. Estos se clasificaron en las siguientes categorías: frutos de primera (frutos sanos, verdes, con un diámetro máximo de 2,5-3,0 cm y una longitud de 5-7 cm); frutos de segunda: (frutos sanos, verdes, con una longitud > 7 cm o < 5 cm y un diámetro > 3 cm o < 2,5 cm); y frutos no comerciales (frutos inmaduros o que presentaron daños por patógenos o insectos).

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 13 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos correspondieron a las épocas de muestreo: el primero fue 14 días después del 85% de plántulas emergidas (26 DDS); luego a los 40, 54, 68, 82, 96, 110, 124, 138, 152, 166, 180 y 194 DDS. La unidad experimental consistió de 3 surcos de 6 m de largo, espaciados a 1,2 m. En cada surco se sembraron 15 plantas a 0,4 m. Como parcela útil se tomaron las 8 plantas centrales.

Las plantas se lavaron, primero con agua corriente y luego con agua destilada; posteriormente fueron separadas en: a) parte aérea (pecíolo, lámina y tallo); b) raíz; c) flores; y d) frutos.

Para determinar el peso seco, el material se clasificó en secciones la de planta y por repetición, se colocó en bolsas de papel y se introdujo

en una estufa a 70°C por 24 a 48 horas hasta que alcanzó un peso constante.

Para evaluar el crecimiento de las plantas, se midió el peso seco de cada una de las secciones, el peso seco total y el área foliar; con estas variables se determinaron los índices fisiológicos: índice de crecimiento relativo (ICR) e índice de asimilación neta (IAN) y los índices morfológicos: índice de área foliar (IAF), razón de área foliar (RAF), razón de peso comercial o índice de cosecha (K) y la razón de peso radical (RPR), según Radford (1967) y Bertsch (1995). La determinación del área foliar en cada uno de los muestreos, se realizó por medio de una relación de peso, entre el peso de una muestra representativa de área foliar conocida, tomada con un sacabocados, con el peso foliar de la muestra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Materia seca

El cuadro 2 y la figura 1, muestran la producción de materia seca, durante el ciclo de crecimiento.

**Raíz.** El crecimiento de las raíces se caracterizó por ser bastante estable durante todo el ciclo, con variaciones de poca magnitud.

**Tallos y hojas.** La curva de crecimiento del peso seco de la parte aérea, presentó 3 fases: 1) de 26-82 DDS; los incrementos iniciales del peso seco fueron leves y estadísticamente iguales; 2) de 82-110 DDS; se observaron incrementos muy pronunciados de peso aéreo y comprendió el período de la primera floración, además se observaron las mayores tasas de crecimiento vegetativo; 3) de 110-180 DDS (final del ciclo); en promedio, el peso seco de la parte aérea se mantuvo relativamente estable. El máximo peso seco de la parte aérea se presentó a los 152 DDS, posteriormente mostró una tendencia decreciente a causa de la senescencia de la planta. No se notó una influencia marcada del crecimiento de los frutos, sobre el patrón de crecimiento de la parte aérea de la planta.

Cuadro 2. Peso seco (g): de la raíz, parte aérea, flor, fruto, y total de las plantas de chile jalapeño cv. Hot, durante su ciclo de crecimiento. Alajuela, Costa Rica. 1995.

DDS <sup>1/</sup>	Raíz	Tallos y hojas	Flor	Fruto	Total
26	0,002 f <sup>2/</sup>	0,04 d	0,000 c	0,00 f	0,04 f
40	0,074 f	0,31 d	0,000 c	0,00 f	0,39 f
54	0,197 f	1,16 d	0,000 c	0,00 f	1,35 f
68	0,332 f	3,55 d	0,004 c	0,21 f	4,10 f
82	0,658 ef	8,67 d	0,260 ab	2,62 f	12,22 f
96	1,637 def	20,45 c	0,333 a	13,31 e	35,73 e
110	2,294 cde	30,54 bc	0,090 bc	31,63 d	64,56 d
124	2,780 cd	30,23 bc	0,000 c	43,08 c	76,10 cd
138	3,970 bc	34,19 b	0,025 c	49,04 b	87,22 bc
152	5,295 b	42,64 ab	0,210 ab	50,03 b	98,17 b
166	4,922 b	38,89 b	0,250 ab	53,42 ab	97,49 b
180	5,363 b	35,78 b	0,237 ab	54,13 ab	95,51 b
194	7,457 a	53,61 a	0,085 bc	56,71 a	117,86 a

1/ Días después de la siembra.

2/ Medias con letras iguales, en la misma columna, no difieren según la prueba de Duncan (P=0,05).

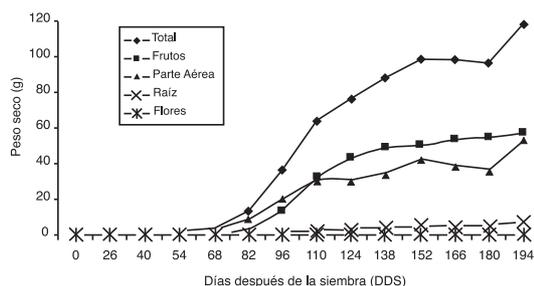


Fig. 1. Peso seco de las diferentes secciones de la planta de chile jalapeño cv. Hot, durante el ciclo de cultivo. Alajuela, 1995.

**Flores.** Como se observa en el cuadro 2 y la figura 1, el peso seco de la flor representó un aporte relativamente pequeño a la biomasa total de la planta. Las plantas mostraron 2 ciclos de floración muy claros. A los 68 DDS se obtiene el primer valor de peso seco, marcando el inicio del primer ciclo de floración. A partir de este momento, la producción de flores aumentó hasta alcanzar su máximo a los 96 DDS. Al momento en que se presentaron las mayores tasas de crecimiento de fruta, la producción de flores decreció paulatinamente, hasta llegar a un valor de cero a los 124 DDS, marcando el final del primer ciclo

de floración. La duración del primer ciclo de floración fue de aproximadamente 45 días. El segundo ciclo de floración se inició aproximadamente a los 138 DDS y alcanzó su máximo a los 166 DDS. Esta segunda floración se inició en momentos que las plantas presentan tasas pequeñas de crecimiento del fruto.

**Frutos.** La producción de frutos se inició a los 68 DDS (Cuadro 2 y Figura 1). El peso de los frutos aumentó durante todo el ciclo y mostró los mayores incrementos entre los 82 y 124 DDS. Es importante notar, que en el período en que ocurren los incrementos más importantes en el peso seco de los frutos, las tasas de crecimiento de la parte aérea disminuyeron y posteriormente tendieron a estabilizarse. Al respecto, Azofeifa y Moreira (1998), Achhireddy *et al.* (1982) y Hall (1977), determinaron que en las variedades de chile dulce UCR 589, Market Giant y California Wonder, el fruto es el principal sumidero de fotoasimilados. Así mismo, estos autores encontraron que durante esta etapa, más de un 80% del incremento diario en peso seco de la planta se deposita en los frutos y que el crecimiento de otros órganos se reduce. El patrón de crecimiento de las plantas, podría explicarse de acuerdo con Shibles (1987). Al inicio del ciclo de crecimiento de la planta, el área foliar es reducida, su actividad fotosintética

es incipiente y el principal sumidero son los brotes y hojas nuevas en crecimiento. Conforme se incrementa el área foliar, la tasa de producción de asimilados producto de la fotosíntesis también se incrementa. A la vez, los asimilados son reinvertidos continuamente en crecimiento vegetativo (principal sumidero). Este efecto que se repite constantemente conlleva a un crecimiento cada vez más rápido. Posteriormente, aparecen las flores y luego los frutos; los cuales se constituyen en el sumidero principal de la planta, por lo que el crecimiento vegetativo disminuye gradualmente. El crecimiento de los frutos se da principalmente a expensas de la translocación de asimilados, desde las fuentes (hojas) o lugares de reserva (tallos), hacia los frutos (sumideros). Luego la planta alcanza la madurez y senesce.

**Total.** En concordancia con Rylski (1986) y Bertsch (1995) las plantas presentaron una curva de crecimiento de tipo sigmoidal, con 5 etapas bien definidas: 1) de 26-82 DDS: esta fase se caracterizó por un lento crecimiento, debido a que en este período la planta es muy pequeña y apenas estaba desarrollando sus sistemas radical y foliar, razón por la que la producción de materia seca por unidad de área y tiempo fue muy pequeña; 2) de 83-110 DDS, corresponde al período con las mayores tasas de crecimiento vegetativo y reproductivo (flores y frutos); 3) de 111-152 DDS, la tasa de crecimiento disminuyó; el crecimiento vegetativo y reproductivo es menor. Se presentó la segunda floración; 4) de 153-166 DDS, período en el cual la planta alcanza la madurez y las tasas de crecimiento tienden a estabilizarse; 5) de 167-180 DDS, la planta muestra signos de senescencia como la caída de hojas viejas y en consecuencia el contenido de materia seca decreció. A nivel comercial en nuestras condiciones de producción a campo abierto, se maneja un ciclo fenológico de 180 días aproximadamente. No obstante, como se observa en el cuadro 2 y la figura 1, a partir de los 180 DDS se reinicia el crecimiento, así la planta muestra una curva de crecimiento que es propia de una planta perenne.

### Distribución en el tiempo de la materia seca en las secciones de la planta

El patrón de distribución de la materia seca de las secciones de la planta durante su ciclo de crecimiento (Figura 2) permite también separar 3 fases generales: 1) 26 a 54 DDS, la materia seca se distribuyó exclusivamente entre la parte aérea y la raíz; esta última exhibió un 5% de materia seca total a los 26 DDS y aumentó a un máximo (19%) a los 40 DDS, luego, mostró una tendencia sostenida a decrecer, a medida que otras secciones de la planta aumentaron la materia seca. La parte aérea constituyó en promedio un 85% de la materia seca total de la planta durante esta fase. 2) 54 a 124 DDS (final de la primera floración); se caracterizó por la aparición de la floración (68 DDS) y la consecuente fructificación. Comprende de 68-124 DDS (final de la primera floración). En esta fase, tanto la biomasa de la parte aérea como la de la raíz disminuyeron y se incrementó de manera muy significativa la correspondiente a los frutos, especialmente en el intervalo entre los 68 y los 110 DDS. Hall (1977), concluyó que el crecimiento de los frutos es el principal factor modulador de la partición de materia seca en las plantas de Chile y que la tasa de crecimiento absoluto de los frutos es inversamente proporcional al crecimiento de otros órganos. La disminución porcentual de la materia seca de la raíz se inició a los 40 DDS (1° fase) y continuó hasta los 110 DDS, cuando presentó un

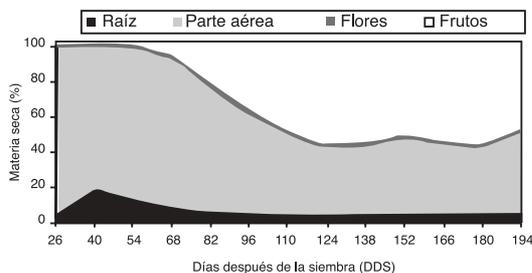


Fig. 2. Distribución porcentual de la materia seca, en plantas de Chile jalapeño cv. Hot, durante el ciclo de cultivo. Alajuela, 1995.

3,5% del total de la planta. La parte aérea, inició la segunda fase (54 DDS) con un 85,9% y la termina (124 DDS) con un 39,7%. Los frutos iniciaron esta fase con 0% de materia seca y terminaron con 56,6% de la materia seca total de la planta. 3) de los 124 DDS (después de la primera floración) hasta el final del ciclo. Los porcentajes de la materia seca en las diferentes secciones permanecieron relativamente constantes; la raíz oscila aproximadamente en un 5%, la parte aérea en un 41%, y la fruta en un 54%.

El porcentaje de materia seca, que representan las flores, fue muy pequeño respecto al de las otras secciones de la planta. El mayor valor 2,13% se presentó a los 82 DDS. Milthorpe y Moorby (1982), mencionaron que el patrón de distribución de sustancias en la planta está cambiando permanentemente, a medida que las hojas crecen y pasan de ser importadoras netas a ser exportadoras netas; también cambia a medida que surgen otros órganos de recepción o de utilización, como los frutos.

Por su parte, Shibles (1987) señaló que la distribución de la materia seca en las plantas está determinada principalmente por la ontogenia del cultivo, el genotipo, la presencia y calidad de sumideros, y la distancia entre el sumidero y la fuente.

## Índices fisiológicos y morfológicos

### *Índice de Crecimiento Relativo (ICR)*

En la figura 3 se presenta la tendencia del índice de crecimiento relativo (ICR), durante el ciclo de la planta. Aproximadamente, a los 40 DDS (plantas con 4-6 hojas), se presentó el máximo valor de  $0,167 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . A partir de los 54 días y hasta el final del ciclo (180 DDS), los valores de ICR disminuyeron. Este período se puede separar en 2 partes: primero de los 54 DDS (plantas con 10-13 hojas) hasta los 110 DDS (la primera floración está por terminar y se presentan frutos medianos y pequeños) con valores intermedios del ICR. Luego, de los 124 DDS (final de la floración y frutos grandes y medianos) hasta los 180 DDS (los valores del ICR son pequeños y alcanzan un valor mínimo de  $-0,001 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ).

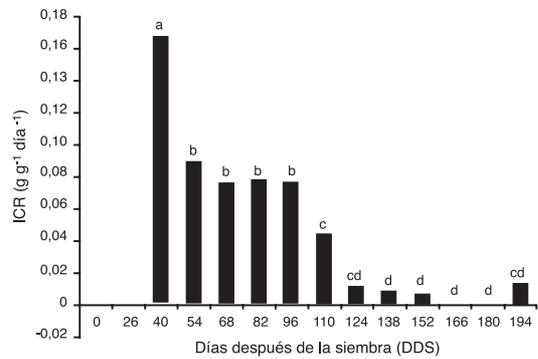


Fig. 3. Índice de crecimiento relativo ( $\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ), en plantas de chile jalapeño cv. Hot, durante su ciclo de cultivo. Alajuela, 1995. Medias con letras iguales no difieren según prueba de Duncan ( $P=0,05$ ).

De los 180 a los 194 DDS ocurrió un incremento en el valor del ICR, indicando el inicio de un segundo ciclo de crecimiento.

Como se observa, durante la ontogenia de la planta hay un período inicial en el que el ICR es mayor, luego es seguido por un período más o menos constante, para posteriormente disminuir. La primera fase (alrededor de los 40 DDS), se asocia al crecimiento vegetativo inicial de la planta, donde, casi todo el tejido presente puede fotosintetizar y producir asimilados para reinvertir en nuevo crecimiento vegetativo, que a la vez, produce y reinvierte. Además, la planta cuenta con meristemas en crecimiento activo y hojas en expansión; la división celular es muy alta.

Entre los 54 y los 110 DDS, se presentaron 2 sumideros importantes, que aportaron crecimiento nuevo a la planta. Por un lado, el crecimiento vegetativo (meristemas y hojas en expansión) y por otro, la floración y crecimiento inicial de frutos y semillas, que a la vez compiten entre sí por asimilados. En esta fase, se incrementó progresivamente la biomasa del tejido estructural de la planta (tallos y ramas) y tejido no fotosintetizador como flores y semillas; así como la tasa de respiración de órganos como las flores y los frutos. Así que, por un lado, la planta redujo el potencial de producir tejido asimilatorio nuevo y por otro, la relación de tejido estructural, no activo en el crecimiento, fue mayor respecto al tejido activo en

crecimiento. Entre los 124 y 180 DDS, los frutos constituyeron el principal sumidero de las plantas y el crecimiento vegetativo (meristemos) fue muy reducido. En este período, la planta contó con una biomasa estructural no activa en el crecimiento muy grande (con una proporción creciente de células que no se dividen en relación con las que sí lo hacen). Además, durante la senescencia de la planta, normalmente la tasa de respiración de la planta tiende a incrementarse y la fotosíntesis se reduce, en consecuencia, también el ICR disminuyó.

### Índice de Asimilación Neta (IAN)

Las variaciones en el índice de asimilación neta de las plantas se observan en la figura 4.

En el período que va de los 40 a los 96 DDS (desde el inicio del ciclo hasta la máxima floración), las plantas empezaron con una magnitud cercana a los  $0,0008 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$  de materia seca, para luego decrecer a los 54 y 68 DDS. La disminución podría deberse al estrés sufrido por las plantas, a consecuencia del transplante, el cual provocó una reducción de la eficiencia fotosintética del tejido foliar.

A partir de los 68 DDS (inicio de la floración), el IAN aumenta paulatinamente, hasta alcanzar un máximo a los 96 DDS (máxima floración), con un valor de  $0,00084 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . En los momentos próximos anteriores y posteriores a estas fechas, las plantas poseen la mayor eficiencia para la producción de biomasa por unidad de área foliar.

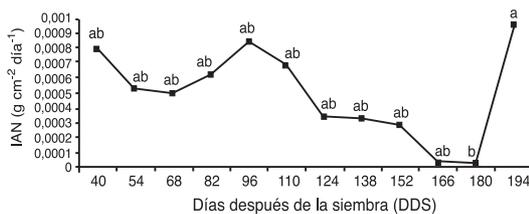


Fig. 4. Índice de asimilación neta ( $\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ), en plantas de chile jalapeño cv. Hot, durante su ciclo de cultivo. Alajuela, 1995. Medias con letras iguales no difieren según prueba de Duncan ( $P=0,05$ ).

El mayor incremento del IAN, ocurrió en el intervalo de 68-96 DDS, en este período, las plantas presentaron el mayor crecimiento vegetativo y una tasa de crecimiento de fruta muy importante. Bertsch (1995), consideró que para determinar épocas óptimas para la aplicación de fertilizante, es importante que éstas coincidan con el momento de máxima eficiencia fotosintética, lo que garantiza el aprovechamiento de las potencialidades genéticas del cultivo. Por lo anterior, en un programa de fertilización (en una zona con condiciones climáticas similares a las registradas en este trabajo), se deben considerar estos períodos para incluirlos como momentos clave en la aplicación de fertilizantes.

Después de 96 DDS, los valores del IAN descendieron gradualmente, hasta un mínimo de  $0,000005 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$  a los 180 DDS (final del ciclo). Las mayores tasas de reducción del IAN se dieron de 110-124 DDS.

Al respecto, Shibles (1987) señaló que la radiación solar es uno de los factores predominantes en la fotosíntesis y por ende, influye en la producción de materia seca de la planta. Observando los datos de brillo solar (Cuadro 1) se aprecia que en el mes de agosto se presentó el valor más alto, a la vez, corresponde al momento en que las plantas alcanzan el mayor IAN, 96 DDS. También se notó que entre los 124 a 180 DDS los valores del IAN decrecieron; este intervalo corresponde a los meses de setiembre y octubre, período en el cual, el brillo solar desciende. Por otro lado, Milthorpe y Moorby (1982), y Shibles (1987) mencionaron que el IAN disminuye al avanzar la ontogenia del cultivo. Esta disminución la relacionan, entre otros factores: con el sombreado de las hojas superiores sobre las inferiores; con la reducción de la capacidad fotosintética de las últimas hojas formadas, debido a su baja concentración de clorofila y niveles de proteínas solubles; con el menor estímulo de los sumideros sobre las fuentes de fotoasimilados. Shibles (1987), señala que la planta responde con una actividad fotosintética mayor cuando presenta sumideros importantes; a la vez indica, que el efecto se mantiene en el tiempo conforme a la duración del sumidero (frutos).

Los valores del IAN aumentaron nuevamente a los 194 DDS, lo que implica incrementos en la actividad fotosintética de las plantas en un segundo ciclo de crecimiento.

Desde un punto de vista comercial, se podría pensar, que sería factible un segundo ciclo productivo, pues de acuerdo con el valor creciente del IAN, a los 194 DDS, las plantas no mostraron signos de agotamiento.

### Índice de Área Foliar (IAF)

El IAF de las plantas mostró una tendencia creciente desde el inicio del ciclo hasta los 152 DDS (Figura 5).

Durante los primeros 68 DDS (inicio de la floración), los incrementos fueron pequeños; luego pasó a una etapa de rápido crecimiento del área foliar hasta los 96 DDS (máxima floración). En este período, la planta mostró el crecimiento vegetativo más importante y una de las mayores tasas de formación y crecimiento de frutos. De los 96 hasta los 152 DDS (inicio de la segunda floración), la tasa de incremento del IAF se redujo gradualmente, hasta alcanzar su máximo a los 152 DDS. En la etapa final del primer ciclo de crecimiento hasta los 180 DDS, se observó un descenso importante en el IAF, como producto, especialmente, de una fuerte translocación de fotosimilados, proteínas y nutrimentos del follaje hacia los frutos y la senescencia de gran parte del follaje. El aumento en el IAF, a partir de los 180 DDS, marcó el inicio de un segundo ciclo de crecimiento de la planta.

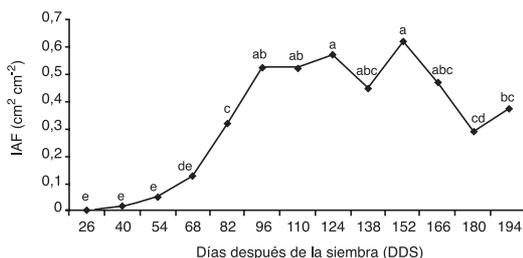


Fig. 5. Índice de área foliar ( $\text{cm}^2 \text{cm}^{-2}$ ), en plantas de chile jalapeño cv. Hot, durante su ciclo de cultivo. Alajuela, 1995. Medias con letras iguales no difieren según prueba de Duncan ( $P=0,05$ ).

La merma en el IAF a los 138 DDS, se podría atribuir a la pérdida de follaje a consecuencia del agotamiento de la planta, debido a la intensa fructificación, así como, a la pérdida de follaje debido a un moderado ataque de la mancha bacteriana (*Xanthomonas* sp), enfermedad que se favoreció con las altas precipitaciones que ocurrieron en los días anteriores, durante el mes de agosto (Cuadro 1).

En el período entre los 96 y los 166 DDS la planta presentó los valores más altos del IAF, mientras que el IAN decreció en forma acelerada, hasta alcanzar el valor de cero al final del primer ciclo de crecimiento (180 DDS). Rylski (1986) indicó que a una determinada densidad de siembra, a medida que las plantas crecen aumenta el IAF, pero la eficiencia del área de cultivo disminuye, probablemente, a consecuencia del autosombreo. Por su parte, Ascencio (1972) mencionó que conforme aumenta el número y tamaño de las hojas aumenta el IAF. Asimismo, la absorción de luz y la tasa de producción de materia seca también se incrementan dentro de ciertos límites, en los cuales, el autosombreo puede transformarse en un factor limitante para el crecimiento o la productividad del cultivo.

En el cuadro 3, se presentan los valores de algunos índices morfológicos de las plantas de chile jalapeño cv. Hot, durante su ciclo de crecimiento.

Cuadro 3. Algunos índices morfológicos de las plantas de chile jalapeño, cv. Hot, durante su ciclo de cultivo. Alajuela, 1995.

DDS	RAF <sup>1/</sup>	K <sup>2/</sup>	RPR <sup>3/</sup>
26	281,00 a	0,000 e	0,046 def
40	183,30 b	0,000 e	0,193 a
54	167,60 c	0,000 e	0,146 b
68	148,10 d	0,046 e	0,081 c
82	125,00 e	0,209 d	0,054 de
96	68,03 f	0,383 c	0,047 def
110	39,02 g	0,490 b	0,036 f
124	35,63 gh	0,566 a	0,036 f
138	24,39 ghi	0,566 a	0,045 ef
152	29,68 ghi	0,520 ab	0,053 de
166	22,48 hi	0,552 ab	0,050 def
180	14,08 i	0,568 a	0,056 de
194	14,63 i	0,490 b	0,061 d

1/ Razón de área foliar ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ).

2/ Índice de cosecha ( $\text{g g}^{-1}$ );

3/ Razón de peso radical ( $\text{g g}^{-1}$ ).

Medias con letras iguales, en la misma columna, no difieren según prueba de Duncan, ( $P=0,05$ ).

### *Razón de Área Foliar (RAF)*

La razón de área foliar (RAF), es uno de los principales parámetros morfológicos, utilizado para evaluar la relación entre el área foliar (sistema asimilatorio) y el peso seco total de la planta.

De acuerdo con el cuadro 3, el máximo valor ( $281 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ), se presentó al inicio del desarrollo de la planta, luego tendió a decrecer en forma paulatina hasta el final del ciclo.

Los altos valores observados al inicio del ciclo, se pueden asociar con una estrategia de sobrevivencia de las plantas, para captar y procesar mejor la energía solar, lo cual es necesario para establecerse rápidamente en el campo, después del trasplante. La tendencia decreciente de la RAF se puede explicar, considerando el incremento en biomasa de la planta durante el ciclo de crecimiento, el cual proviene principalmente del incremento en peso de órganos como los frutos.

### *Razón de Peso Radical (RPR)*

La RPR es un parámetro morfológico, referido a la distribución de la biomasa en la planta, en este caso, a la relación del peso radical respecto del peso total de la planta.

En el cuadro 3, se presentan los valores para este índice. En la etapa inicial, hasta los 40 DDS, los valores de RPR son crecientes. Se puede indicar, que al inicio la planta invirtió más reservas en el desarrollo de su sistema radical (principal sumidero del momento), mientras que la parte aérea mostró un menor crecimiento. Schoch (1980), menciona que en las plantas de chile, al inicio se observa un crecimiento lento de la parte aérea, mientras el sistema radical continúa con su desarrollo. Además, expresó, que la etapa de plántula termina cuando la tasa de crecimiento de la raíz pivotante empieza a disminuir. Observando los datos relacionados con el crecimiento de la raíz, en los cuadros 2 y 3, se puede determinar que la duración de la etapa de plántula, correspondió al período entre la emergencia (9 DDS) y los 54 DDS aproximadamente (plantas con menos de 10 a 13 hojas, algunas con una bifurcación pequeña del tallo).

Bajo las condiciones en que se realizó este trabajo, se puede señalar que a los 40 DDS (plantas con 4-6 hojas verdaderas) se presentó el valor de RPR más alto. A partir de los 54 DDS las tasas de incremento en el peso de la raíz fueron menores; mientras que, las de la parte aérea, comenzaron a aumentar (cuadros 2 y 3). Entonces, para efectos prácticos, se puede señalar que el momento idóneo para realizar el trasplante del almácigo al campo, sería en una fecha cronológica próxima y anterior a los 40 DDS, cuando las plantas del almácigo presenten de 4 a 6 hojas verdaderas.

### *Índice de cosecha (K)*

En el cuadro 3, se presenta el comportamiento de este índice, durante el ciclo del cultivo. De los 0 hasta los 54 DDS, el valor de K es cero, pues la fructificación no ha comenzado. A partir de los 54 DDS y hasta los 124 DDS, el valor de K crece en forma acelerada con las mayores tasas de incremento en el período de los 82 a 110 DDS. El valor máximo de K ( $0,566 \text{ g g}^{-1}$ ) se observó a los 124 DDS, y significa que un 56,6 % del peso seco total de la planta correspondió al peso de los frutos.

## CONCLUSIONES

La planta de chile jalapeño cv. Hot presentó una curva de crecimiento sigmoideal. La distribución de la biomasa está ligada a la fenología de la planta, especialmente, a la floración y la fructificación.

En general, se presentan 3 etapas fenológicas: en la primera, la biomasa se distribuye entre el tallo, las hojas y la raíz. En la segunda, la biomasa de las secciones mencionadas disminuye y se incrementa la de las flores y frutos. En la tercera, la distribución de la materia seca en la planta, alcanzada al final de la etapa anterior, permanece relativamente constante hasta el final del ciclo.

La planta invierte cantidades similares de fotoasimilados para la producción de frutos y la parte vegetativa. El máximo IAN, coincide con la fase de rápido crecimiento de la parte aérea y de los frutos.

La planta, reduce el crecimiento vegetativo cuando inicia la fructificación, especialmente cuando los frutos presentan las mayores tasas de crecimiento.

### LITERATURA CITADA

- ACHHIREDDY N.R., FLETCHER J.S., BEEVERS L. 1982. The influence of shade on the growth and nitrogen assimilation of developing fruits on bell pepper. *Hortscience* 17: 635:637.
- ASCENCIO J. 1972. Análisis del crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Turrialba 4 cultivado en solución nutritiva. Tesis Mag. Sc., Turrialba Costa Rica. CATIE. 98 p.
- AZOFEIFA A., MOREIRA M. 1998. Análisis del crecimiento del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivar UCR 589 en Alajuela, Costa Rica. Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit M. 31(1): 1-12.
- BARRIENTOS E. 1988. Evaluación de necesidades de N, P y Mg en chile dulce, *Capsicum annuum* L., asociado con café, *Coffea arabica*, en siembra nueva. Tesis Ing. Agr. Centro Regional de Occidente, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 49 p.
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. 157 p.
- HALL A. J. 1977. Assimilate source-sink relationship in *Capsicum annuum* L. I. The dynamics of growth in fruiting and deflorated plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 623:636.
- JIMENEZ A. 1992. Curva de crecimiento y absorción de nutrientes en chile picante, variedad Cayenne criollo. CINDE. San José, Costa Rica. Mimeografiado.
- MILTHORPE F., MOORBY J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Hemisferio Sur. H. González (Trad.). Buenos Aires, Argentina. 259 p.
- RADFORD P. 1967. Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Science* 7(3): 171-175.
- RYLSKI I. 1986. Pepper (*Capsicum annuum*) In: Handbook of fruit set and development. CRC. UK. p. 341-353.
- SCHOCH P. G. 1980. Influence of air temperature and humidity during the vegetative growth on some structural characteristics of the leaf of *Capsicum annuum* L. In: Caribbean Food Crop Society Annual Meeting (9, 1980, Georgetown, Guyana). Proce. Mayaguez, P. R. p. 56-63.
- SHIBLES R. 1987. Crop physiology. Iowa, USA, Iowa State University. 214 p.
- STEER B.T., PEARSON C.J. 1976. Photosynthate translocation in *Capsicum annuum*. *Planta* 128: 155-162.
- TAIZ L., ZEIGER E. 1991. Plant physiology. California. Benjamin Cummings. USA. 565 p.

