

E. VALVERDE*
M.V. SAENZ*

Summary

*A growth analysis on chayote (*Sechium edule* Sw.) was performed during six months of the growing season. The study was conducted in field condition at the Ujarras Valley, Cartago, Costa Rica.*

The results showed that during this time lapsus the plant growth is very fast. A low net assimilation rate was found and presumable caused by unapropied planting densities.

A suitable amount of foliage to sustain a high growth index was a priority to this specie, as it is shown in the values obtained for the leaf weight ratio during the first three months of the growing period, in which, the foliage weighed more than 50% of the total plant weight

Flowering set and consequent fruit development caused a drastic reduction to the plant growth rate.

Even though this study covered very few flower and fruit settings, an inversion in fruit production between 20 and 45% of the total assimilation was estimated.

Introducción

Debido a la escasa información que existe sobre el cultivo del chayote y a los altos rendimientos que actualmente se desea obtener de éste, como producto no tradicional de exportación, se consideró como prioridad el determinar las características potenciales de su crecimiento

Un estimado fiel del incremento o decrecimiento de la eficiencia fotosintética durante el ciclo de vida de la planta se hace a través del análisis del crecimiento (5). La productividad primaria de un cultivo o Índice de Asimilación Neta (IAN), que se expresa en gramos de materia seca producida por unidad de superficie foliar y tiempo, depende fundamentalmente de dos factores: el índice de área foliar del cultivo (IAF) y el índice del crecimiento absoluto (ICA) (1, 2).

La acumulación de materia seca en las plantas depende mayormente del balance entre los procesos fotosintéticos y la respiración. Los fenómenos que afectan este balance se traducen, en última instancia, en una variación de la eficiencia de acumulación de materia seca por la planta (2,3).

El objetivo del presente trabajo fue el determinar un patrón general de crecimiento que permitiera comprender mejor el ciclo de vida de la planta de chayote

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en la zona de Ujarrás, cantón de Paraíso, provincia de Cartago. El período estudiado abarcó desde mayo hasta noviembre de 1983, es decir, desde la siembra hasta el inicio de la producción comercial. Se trabajó con semilla de material seleccionado para la exportación por sus características de fruto, conocido en la zona como tipo "quelite".

El lote experimental fue sembrado en lomillos anchos de 0.5 m de altura, con una distancia entre plantas de 5 m y entre hileras de 5 m. Se sembraron tres semillas por golpe para luego, al realizar los mues-

1 Recibido para publicación el 7 mayo de 1985.
La investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), Costa Rica

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica

treos, dejar dos plantas. La fertilización se realizó con 250 g de la fórmula 10-30-10 a la siembra, 250 g de urea a los 22 días y 500 g de urea cada mes en cada golpe de siembra; esto constituye, en promedio, la fertilización empleada por los agricultores de la zona. Las demás prácticas de cultivo estuvieron a cargo del agricultor.

Se realizaron muestreos quincenales desde el momento de la siembra; se muestreó al azar 5 plantas completas hasta los 60 días, 3 plantas completas de los 60 hasta los 150 días y 20% del follaje de la planta en cada una de tres plantas hasta los 195 días. En este trabajo sólo se contempló el crecimiento de la parte aérea pues es prácticamente imposible obtener raíces completas de chayote después de los 45 días, lo mismo que extraer plantas completas después de los seis meses de edad. Cada muestra fue separada en sus componentes, a saber: hojas, zarcillos, tallos, peciolo, flores y frutos, que fueron secados en una estufa a 60°C; se determinó el peso seco de cada sección y el peso seco total. En el área foliar se determinó mediante la extracción de una submuestra con un sacabocados de diámetro conocido y comparar su peso con el peso total de las hojas.

Con los datos de peso y área foliar por planta se calculó un promedio por muestreo y con estos se procedió a calcular los siguientes componentes del crecimiento:

- Morfológicos: a) Razón del Peso Foliar (RPF); b) Razón del Área Foliar (RAF); c) Área Foliar Específica (AFE); d) Índice de Área Foliar (IAF).
- Fisiológicos: a) Índice de Crecimiento Absoluto (ICA); b) Índice de Crecimiento Relativo (ICR); c) Índice de Crecimiento Relativo Foliar (ICRF); d) Índice de Asimilación Neta (IAN); e) Índice de Asimilación Económica (IAE); f) Parámetro Alfa (ICR/ICRF).

Resultados

Características generales del crecimiento

Es importante anotar que el crecimiento exuberante que esta planta muestra en condiciones de campo difícilmente podría ser estudiado en un ambiente controlado con las facilidades actuales. Las condiciones de temperatura, humedad y precipitación fueron muy regulares y no fueron limitantes para el crecimiento.

El crecimiento de esta planta mostró dos periodos de reducción en el peso total; estos periodos coin-

cidieron con el inicio de la primera floración (90-120 días) y de la fructificación activa (135-150 días) (Figura 1)

Se observó que el incremento del peso fue relativamente lento durante los primeros 45 días, durante los cuales la planta desarrolló sus sistemas radical y foliar (Figura 2) que permitieron el crecimiento posterior, luego de esta fase inicial se observó un incremento en el acúmulo de materia seca que culminó cuando la planta alcanzó la red de alambre (180-200 cm de altura) (Figura 3). El incremento del peso seco se detuvo temporalmente lo cual correspondió a la primera floración; es importante señalar que las primeras flores en formarse son masculinas (Figura 4). Luego del inicio de la floración ocurrió un incremento acelerado en la tasa de acumulación de materia seca que terminó con el inicio del crecimiento de los frutos provenientes de la primera floración (135 días) (Figura 4), posteriormente la tasa de acumulación de materia seca se incrementó hasta el final del período estudiado, cuando la plantación ha cubierto gran parte del área de siembra (Figura 5).

Indices de crecimiento

En el Cuadro 1 se muestran los valores de peso para cada sección así como el área foliar promedio

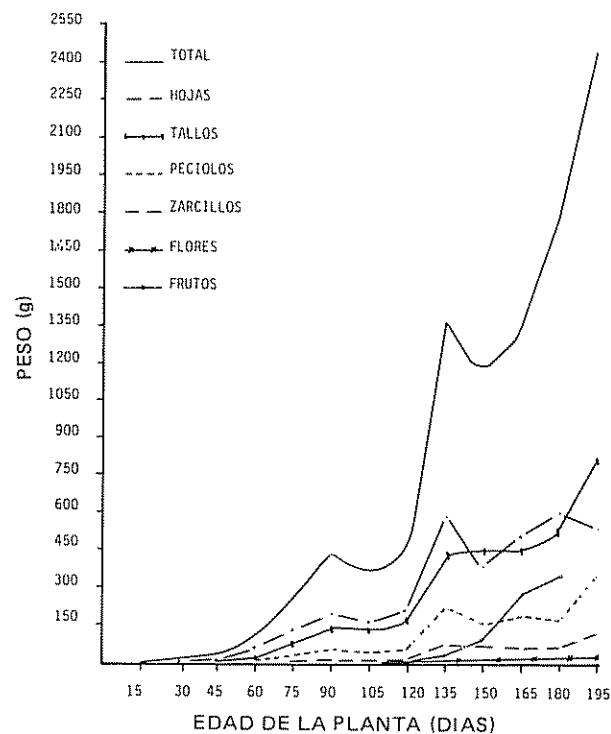


Fig. 1. Variación del peso total y el peso de las principales secciones de la planta con la edad.



Fig. 2 Crecimiento alcanzado por las plantas de chayote 15 días después de la germinación.



Fig. 4 Nudo de tallo del chayote con zarcillo, inflorescencia masculina y frutos en desarrollo temprano.



Fig. 3 Crecimiento alcanzado por las plantas de chayote 90 días después de la germinación.



Fig. 5 Plantación del chayote al cabo de 195 días de la germinación.

obtenida para cada muestreo. En los Cuadros 2 y 3 se muestran los valores obtenidos para los índices calculados en este estudio durante un período de 195 días.

—Índice de crecimiento absoluto (ICA): expresado como el peso en gramos ganado por una planta de ca-

da tres en el golpe de siembra en un período de 24 horas. Durante la fase inicial del crecimiento, en los primeros 45 días, este índice fue relativamente bajo, se incrementó hasta llegar a la floración, entre 75 y 105 días, donde experimentó una reducción importante y se alcanzaron valores negativos, que representan la pérdida de peso de la planta por la caída de fo-

Cuadro 1 Valores promedio de los pesos por sección obtenidos para el análisis del crecimiento del chayote a diferentes períodos de su crecimiento.

Período (días)	PSTOT	PS H	PS	PS P	Ps Z	Ps FI	PS Fr
0 - 15	3.73	1.95	1.07	0.71			
16 - 30	19.19	11.59	3.72	2.33	0.90		
31 - 45	35.50	20.33	6.85	5.09	1.00		
46 - 60	113.41	64.24	25.24	16.06	4.43		
61 - 75	258.00	134.27	75.64	36.71	11.36		
76 - 90	427.85	200.95	143.15	59.78	20.18	3.24	
91 - 105	371.42	171.25	133.04	48.55	15.38	2.50	0.70
106 - 120	389	222.64	172.36	60.08	18.63	3.61	11.69
121 - 135	1 370.20	590.0	438.5	228.00	84.50	10.97	29.23
136 - 150	1 187.65	385.24	453.71	158.57	74.28	4.84	33.19
151 - 165	1 355.20	507.22	451.64	192.86	69.02	16.68	92.72
166 - 180	1 724.33	605.92	538.77	172.65	71.94	24.80	280.54
181 - 195	2 441.70	540	823.50	361.50	123.80	21.20	339.20

PSTot = Peso seco total (g)
 PSH = Peso seco hojas (g)
 PST = Peso seco tallos (g)
 PSP = Peso seco peciolos
 PSZ = Peso seco zarcillos
 PSFI = Peso seco flores
 PSFr = Peso seco frutos

Cuadro 2 Valores de los índices morfométricos obtenidos para el análisis de crecimiento del chayote a diferentes períodos de su crecimiento.

Períodos (días)	AF	RPF	RAF	AFE	IAF
0 - 15	5.82	0.523	156.25	298.61	0.824
16 - 30	30.60	0.603	157.98	261.75	4.329
31 - 45	43.05	0.572	121.28	211.81	3.427
46 - 60	151.17	0.556	133.10	240.03	7.695
61 - 75	333.46	0.520	129.17	248.34	6.640
76 - 90	491.06	0.465	119.40	257.41	6.255
91 - 105	441.84	0.461	118.48	257.83	4.650
106 - 120	578.06	0.458	118.89	259.64	3.270
121 - 135	1 476.16	0.419	107.60	258.72	4.695
136 - 150	925.34	0.325	76.60	238.09	1.890
151 - 165	1 232.91	0.370	89.64	243.55	2.320
166 - 180	1 732.88	0.351	100.61	286.79	2.450
181 - 195	1 583.50	0.220	64.69	295.51	1.650

AF = Área foliar (dm²)
 RPF = Razón peso foliar (g hojas/g total)
 RAF = Razón área foliar (cm² hojas/g total)
 AFE = Área foliar específica (cm² hojas/g hojas)
 IAF = Índice de área foliar (cm² hojas/cm² suelo)

llaje. Posteriormente a este período del inicio de la floración, se incrementó la ganancia de peso diaria hasta los 150 días cuando la fructificación activa se inició y se presentó nueva caída de material senescente, luego de este período de reducción al ICA se incrementó hasta el final del estudio.

El incremento del ICA, subsiguiente a cada período de reducción, se debió a la necesidad de la planta por reponer el área foliar perdida y satisfacer la necesidad de productos de fotosíntesis asociada al crecimiento activo tanto vegetativo como reproductivo

—Índice de crecimiento relativo (ICR): expresado como el aumento porcentual del peso seco mostrado por la planta de chayote. En general esta planta presentó un ICR sin tendencia definida, pero se observaron valores altos al inicio del crecimiento, entre los 0 y 60 días (Figura 6); si bien, durante este período la cantidad de materia seca acumulada fue baja, el incremento porcentual fue alto pues el crecimiento activo fue necesario para establecer los sistemas radical y foliar. Como se observa en la Figura 6 se presentaron decrecimientos durante las épocas posteriores a la floración (105 días) y a la fructificación (150 días) cuando ocurrió pérdida importante de follaje

Cuadro 3 Valores de los índices fisiológicos obtenidos para el análisis de crecimiento del chayote a diferentes períodos de su crecimiento.

Período (días)	ICA	ICR	ICRF	IAN	IAE	ALFA
0 - 15	0.26	0.09	0.43	2.76	0	0.20
16 - 30	1.03	0.10	0.11	0.69	0	1.00
31 - 45	1.09	0.04	0.02	0.30	0	1.80
46 - 60	5.19	0.08	0.08	0.60	0	0.93
61 - 75	9.64	0.55	0.05	0.42	0	1.04
76 - 90	11.32	0.34	0.03	0.26	0	1.38
91 - 105	-3.762	-0.01	-0.01	-0.08	0.01	1.34
106 - 120	7.84	0.02	0.02	0.16	1.44	1.02
121 - 135	58.75	0.07	0.07	0.61	1.22	1.10
136 - 150	-12.17	-0.01	-0.03	-0.10	0.22	0.31
151 - 165	11.17	0.01	0.02	0.10	3.70	0.46
166 - 180	24.61	0.02	0.02	0.17	8.34	0.71
181 - 195	47.83	0.02	0.01	-0.29	-2.35	3.84

ICA = Índice de crecimiento absoluto (g/día)

ICR = Índice de crecimiento relativo (g/g/día)

ICRF = Índice de crecimiento relativo foliar (cm²/cm²/día)IAN = Índice de asimilación neta (g/cm²/día x 10⁻³)IAE = Índice de asimilación económica (g fruto/cm²/día) X 10⁻⁵

Alfa = (ICR/ICRF)

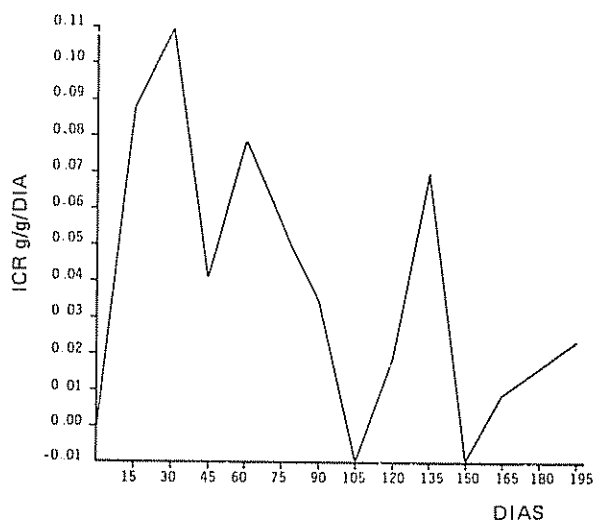


Fig. 6 Variación del índice de crecimiento relativo (ICR) con la edad de la planta de chayote

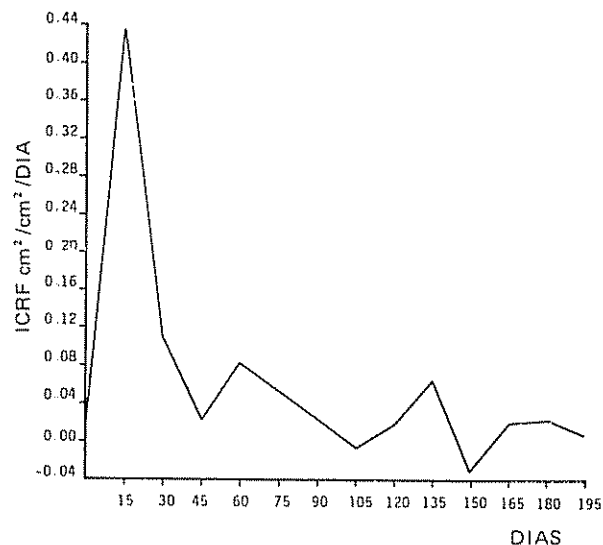


Fig. 7 Variación del índice de crecimiento relativo foliar con la edad de la planta de chayote.

—Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF): expresado como el incremento porcentual del área foliar mostrado por la planta de chayote. Al inicio del período de crecimiento, mucha de la energía acumulada en la semilla se empleó para el desarrollo de un sistema foliar que permitiera a la planta autoabastecerse (Figura 2), esto se reflejó en el alto valor del ICRF obtenido durante los primeros 30 días, tal y como se observa en la Figura 7; durante el tiempo restante del crecimiento, los valores del ICRF son bajos. Se experimentó decrecimiento del área foliar en los períodos de la primera floración (90-120 días) y la primera fructificación (135-150 días) al ocurrir la caída de ho-

jas viejas. Los incrementos subsiguientes en el ICRF se debieron probablemente a la necesidad de la planta por reponer el área foliar perdida.

—Índice de asimilación neta (IAN): expresado como la ganancia de peso debida al área foliar. En términos generales el IAN fue mayor durante los primeros 30 días de crecimiento, cuando el área foliar existente no provocó autosombreo; conforme crece la planta se produce un aumento en la RAF lo cual aumentó el autosombreo y redujo la eficiencia del sistema foliar para fotosintetizar.

La eficiencia fotosintética, expresada como el IAN, se redujo durante los periodos mencionados de floración y fructificación, tal como se observa en la Figura 8, por cuanto se inicia la senescencia de las hojas adultas y no hay reposición inmediata con follaje nuevo (Figura 7). Cuando la planta inició el crecimiento sobre la red de alambre (Figura 3) ocurrieron incrementos en el IAN (105-135 días).

El hecho de sembrar tres plantas por golpe de siembra aumentó la competencia por luz y posiblemente contribuyó a la obtención de valores bajos del IAN.

—Índice de asimilación económica (IAE): expresado como la cantidad de materia seca acumulada en el fruto de chayote diariamente por el área foliar existente. Es difícil estimar la eficiencia económica de esta planta por cuanto sólo se lograron evaluar las primeras producciones, que usualmente son pequeñas, no obstante, los resultados obtenidos (Cuadro 3) mostraron que esta planta invirtió entre un 20 y un 40% de la asimilación total (IAN) en la producción de estos primeros frutos y es posible que cuando se alcance el volumen de cosecha comercial la inversión de energía y productos de fotosíntesis en la producción de frutos sea mayor.

—Parámetro alfa (ICR/ICFR): da idea de cuánto de la asimilación total de la planta de chayote se empleó en la producción de follaje y cuánto en las restantes funciones del crecimiento. Los valores de alfa se mantuvieron muy cercanos al valor 1 durante los primeros 135 días de crecimiento, lo cual significa que casi la totalidad de la asimilación se empleó en la pro-

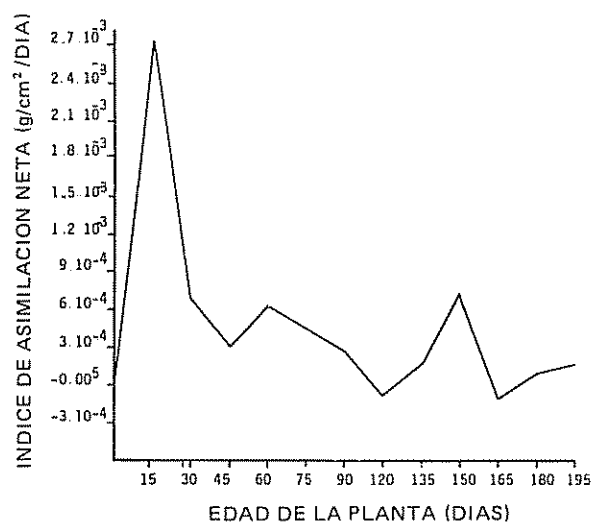


Fig 8 Variación del índice de asimilación neta (IAN) con la edad de la planta de chayote.

ducción de follaje (Figura 9), cuando se inició la fructificación (135 días el parámetro alfa decreció, lo cual significa que los productos de asimilación se emplearon preferentemente en la producción de frutos, luego de este periodo el parámetro alfa aumentó considerablemente (Figura 9) lo que quiere decir que parte de la energía disponible se empleó en el crecimiento de frutos pero otra parte se empleó en el desarrollo de estructuras de apoyo como tallos y peciolas además de hojas.

—Razón peso foliar (RPF): expresa la relación porcentual del peso de las hojas con respecto al peso total de la planta de chayote. Al inicio del ciclo de vida (hasta los 30 días) la RPF mostró valores altos y una tendencia creciente. Se hace necesario el desarrollo de un vigoroso sistema foliar capaz de proveer los productos de fotosíntesis necesarios para mantener la tasa general de crecimiento, la cual es más acelerada en el periodo posterior a los primeros 30 días. Fue por eso que el follaje se desarrolló con ventajas sobre el resto de la planta. Luego de los 30 días, como se muestra en la Figura 10, se inició el descenso del valor del RPF por cuanto la colonización del medio por la planta exige desarrollar estructuras que aumenten su competitividad por luz, aire y espacio físico, se forman entonces tallos y peciolas más largos para facilitar la captación de luz y zarcillos para mantener, si es posible, el sistema foliar sobre soportes que aseguren una mejor intercepción de la luz. El crecimiento de las raíces es también una prioridad de crecimiento para colonizar el medio bajo la superficie del suelo, todo este crecimiento se produjo en detrimento del desarrollo foliar.

Al inicio del crecimiento de frutos (135 días) las hojas representaron un porcentaje aún menor del pe-

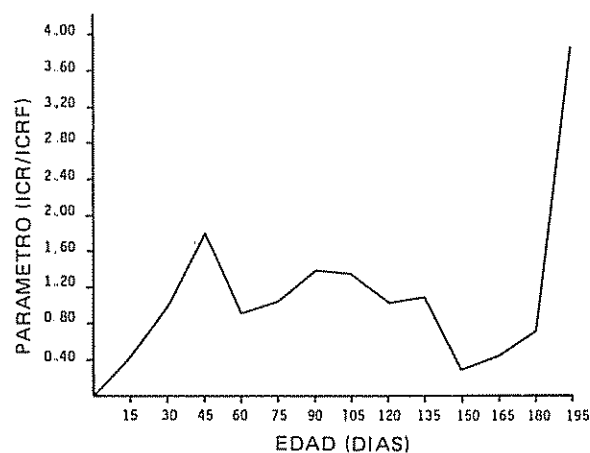


Fig 9 Variación de los valores del parámetro Alfa con la edad de la planta de chayote.

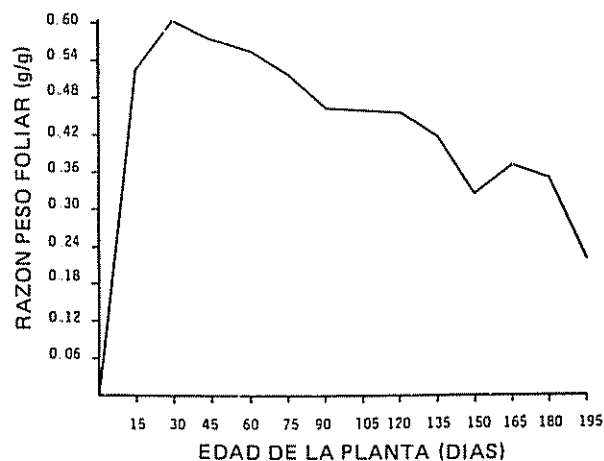


Fig. 10 Variación de la razón peso foliar (RPF) con la edad de la planta de chayote.

so total de la planta, luego de este período (150 días) se observó un ligero incremento del RPF que coincidió con la necesidad de sustituir el área foliar perdida con el fin de poder soportar fructificaciones más abundantes.

—Razón área foliar (RAF): representa el área foliar existente por cada gramo del peso total de la planta de chayote. Al inicio del ciclo de vida, hasta los 30 días (Figura 11), existe una gran cantidad de área foliar por cada gramo de peso total, esto porque el establecimiento del sistema foliar es fundamental para la supervivencia de la planta. Al desarrollar estructuras accesorias como tallos, zarcillos y peciolo en mayor número y tamaño aumentó el peso total de la planta y el incremento del área foliar no fue tan acelerado para mantener valores altos del RAF. Al ocurrir la fructificación (135 días), como se muestra en la Figura 11, hubo pérdidas de área foliar, lo que reflejó en una disminución del RAF que aumentó luego de este período al reponerse el área foliar perdida.

—Índice de área foliar (IAF): es un indicativo de la cobertura foliar. Al inicio del crecimiento de esta planta, como se puede observar en la Figura 12, la planta mostró una tendencia del IAF creciente, lo cual se interpreta como una acumulación de área foliar sobre una reducida superficie del suelo, esto porque la planta crece verticalmente hasta alcanzar la red de alambre (Figura 3). Al alcanzar la barbacoa (red de alambre), se inició el crecimiento horizontal sobre ésta (Figura 5), lo que hace que la superficie foliar se distribuya sobre un área mayor y por lo tanto el IAF disminuye con mayor celeridad en los períodos precedentes a la floración y a la fructificación. Es de esperar que al IAF aumente una vez que las plantas hayan ocupado todo el espacio disponible sobre la red de alambre y se inicie la competencia por luz.

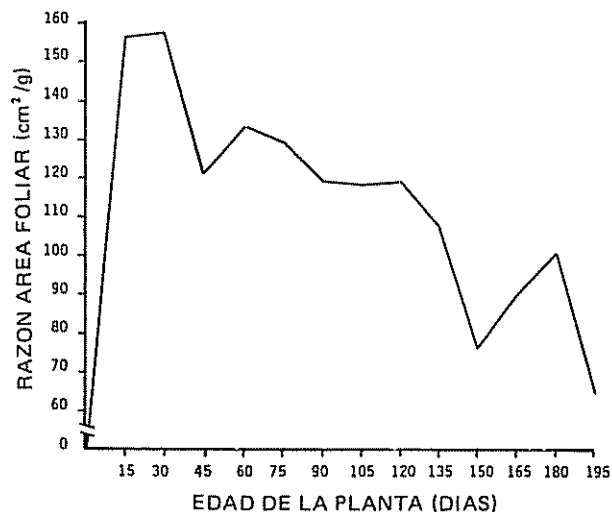


Fig. 11 Variación de la razón área foliar (RAF) con la edad de la planta de chayote.

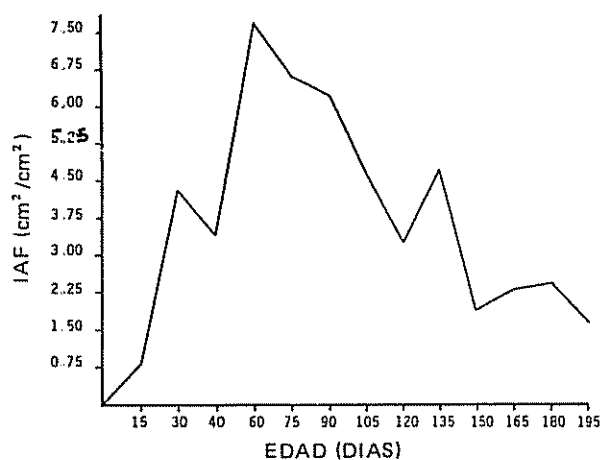


Fig. 12 Variación del índice de área foliar (IAF) con la edad de la planta de chayote.

—Área foliar específica (AFE): es en términos generales una medida de la integridad del área foliar, expresada como el inverso de la densidad. En general como se observa en el Cuadro 2, el AFE fue casi constante durante todo el período estudiado, pero hacia el final del período el AFE aumenta lo cual significa que pierde integridad al perder densidad; esta pérdida de integridad pudo deberse a la remoción de nutrientes para aportarlos al crecimiento del fruto.

Discusión

La planta de chayote mostró un patrón de crecimiento de tendencia creciente, esta tendencia se vio

afectada por procesos fisiológicos importantes como lo fueron el inicio de la floración activa y la producción de frutos. El crecimiento acelerado y la cantidad de biomasa producida en período de tiempo relativamente cortos son probablemente debidos al profuso sistema foliar desarrollado por esta planta más que a su eficiencia fotosintética; este hecho se explica por el sistema de siembra empleado que procura dar a la planta mayor competitividad por luz pero, las distancias de siembra empleadas provocan un acúmulo de follaje que limita su eficiencia al permanecer parte de este follaje en condiciones adversas para realizar la fotosíntesis.

Durante los períodos de floración y fructificación que se hallan entre los 75-105 días y 135-150 días respectivamente, la planta experimentó una disminución real de su peso total y foliar, y por lo tanto, su crecimiento absoluto y relativo durante esos períodos fue negativo. Lo anterior se debió a la pérdida de integridad de la parte aérea provocada por la remoción de nutrimentos hacia los procesos mencionados y al proceso natural de senescencia de los órganos, parte de estos órganos muertos no caen de la planta. La planta supera esos períodos críticos aumentando la producción de follaje que permita soportar las exigencias nutricionales de la formación de frutos, el régimen de fertilización empleado por los agricultores favorece el crecimiento de reposición, al existir nutrimentos minerales y agua disponibles en el suelo para ello.

El gran área foliar que desarrolla esta planta permite una eficiente captación de luz, pero la distribución espacial, bajo condiciones de cultivo, de esa área foliar limita la utilización plena de la capacidad de interceptación de energía radiante.

La competencia por luz y, la necesidad de un amplio sistema foliar para la producción y el crecimiento, se reflejaron en los valores del parámetro alfa, que se mantuvo cercano a 1, con disminuciones en los momentos críticos del crecimiento, como son la floración y la fructificación, y que aumentó cuando se inició el crecimiento de los frutos. Este crecimiento de frutos se producen en detrimento de otros aspectos del crecimiento general. El RPF mostró que alrededor de un 40% del peso total (en promedio) de la planta está constituido por las hojas y esa relación sólo disminuyó cuando se inició la producción de flores y frutos que consumieron una cantidad importante de los fotoasimilados disponibles para el crecimiento, como lo demuestran los valores del IAE.

Aún cuando sólo se lograron evaluar las primeras fructificaciones, que fueron pobres, la planta invirtió entre un 20 y un 45% de la asimilación total en la producción de frutos.

Dado que el estudio sólo se siguió hasta los 195 días es conveniente realizarlo hasta el final de la etapa de producción comercial (alrededor de 550 días) por cuanto solo fue posible establecer una eficiencia económica inicial que puede diferir de la eficiencia real que la planta pudiera alcanzar.

Resumen

Se realizó un análisis del crecimiento del chayote (*Sechium edule* Sw.) en condiciones de campo en el distrito de Ujarrás, Cantón de Paraíso, Cartago, Costa Rica, por espacio de seis meses después de la siembra.

El estudio permitió establecer que durante este tiempo el chayote es una planta de rápido crecimiento, y que probablemente debido a las condiciones de cultivo mostró una baja tasa de asimilación neta. El desarrollo de un sistema foliar capaz de mantener un alto índice de crecimiento es una prioridad de la especie. Lo anterior, lo demostró el alto valor obtenido para la razón del peso foliar durante los tres primeros meses de crecimiento, cuando el follaje representó más de un 50% del peso total de la planta.

Fue evidente la disminución del crecimiento total que ocurrió al inicio de los procesos de floración y fructificación, que significan una gran demanda de agua y energía.

Durante las primeras cosechas, la planta invirtió entre un 20 y un 45% de la asimilación total en la producción de frutos.

Literatura citada

1. ALVIN, R. y ALVIN, P. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris*), em culturas exclusivas e consorciadas. Turrialba (Costa Rica) 19(3): 389-393. 1969.
2. ARZE, J. y GUILLEN, N. Análisis de crecimiento en asociaciones de maíz (*Zea mays*) y frijol de costa (*Vigna sinensis*). XXV Reunión del PCCMCA Tegucigalpa, Honduras. 1979.
3. ASCENCIO, J. y FARGAS, J.E. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. "Turrialba-4") cultivado en solución nutritiva. Turrialba 23 (4): 420-427. 1973.
4. RADFORD, P. J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. Crop Science 7(3): 171-175. 1967.
5. STEWARD, F.C. Growth and organization in plants. Londres, Addison-Wesley, 1969. 564 p.