

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO FUNCIONAL, ACUMULACIÓN DE BIOMASA Y TRANSLOCACIÓN DE MATERIA SECA DE OCHO HORTALIZAS CULTIVADAS EN INVERNADERO

Functional analysis of growth, biomass accumulation and translocation of dry matter eight vegetables grown in greenhouses

Harold Barrientos Llanos¹, Carmen Rosa del Castillo Gutiérrez², Magali García Cárdenas²

RESUMEN

Con el objetivo de analizar el crecimiento funcional de ocho hortalizas en sistema de producción orgánico se realizó el presente experimento en un invernadero en la zona de Pampahasi de la ciudad de La Paz. La investigación tuvo una duración de 6 meses (enero a junio de 2014) a 3838 msnm. Las hortalizas estudiadas desde la siembra fueron la acelga, beterraga, cebolla, espinaca, lechuga, pepino, tomate y zanahoria. Se utilizó un sustrato único compuesto de turba, suelo negro, arena fina y suelo negro con guano ovino, abonado con humus de lombriz. Los resultados obtenidos indican que cada hortaliza difiere en el crecimiento debido a la asimilación diferenciada de nutrientes. La eficiencia fotosintética es resultado del área foliar, biomasa total y biomasa seca acumulada a los 120 días. Las tasas más importantes obtenidas fueron la Tasa de Asimilación Neta (TAN) que explica la asimilación de materia seca y la eficiencia fotosintética promedio por unidad de superficie foliar efectiva. Los valores máximos de TAN obtenidos fueron: acelga 0,112 g. cm⁻²día⁻¹, beterraga con 0,179 g. cm⁻²día⁻¹, cebolla con 0,012 g. cm⁻²día⁻¹, espinaca con 0,159 g. cm⁻²día⁻¹, lechuga 0,254 g. cm⁻² día⁻¹, pepino con 0,198 g. cm⁻²día⁻¹, tomate con 0,171 g. cm⁻²día⁻¹ y zanahoria con 0,094 g. cm⁻²día⁻¹. La otra tasa evaluada fue la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), que es un índice que expresa el crecimiento de un cultivo en términos de eficiencia como productor de nuevo material dependiendo de la fotosíntesis total y la respiración. Los valores obtenidos para esta tasa corresponden para la acelga de 0,293g.g día⁻¹, beterraga con 0,272g.g día⁻¹, cebolla con 0,253g.g día⁻¹, espinaca con 0,448g.g día⁻¹, lechuga con 0,313g.g día⁻¹, pepino con 0,102 g.g día⁻¹, tomate con 0,152g.g día⁻¹ y zanahoria con 0,256g.g día⁻¹.

Palabras clave: Análisis de crecimiento funcional, Biomasa, Materia seca.

ABSTRACT

In order to analyze the functional growth of eight vegetables in organic production system this research was performed in a greenhouse at Pampahasi district in La Paz city. The study had duration of 6 months (January to June, 2014) in 3838 msnm. The vegetables studied were chard, beet, onion, spinach, lettuce, cucumber, tomato and carrot. A single substrate composed by peat, black soil, fine sand and black soil with sheep manure, fertilized with worm humus was used. The results indicated that each vegetable differ in their development due to the different nutrient assimilation. The photosynthetic efficiency is result of leaf area, total biomass and dry biomass accumulated during 120 days. The most important rate obtained was Net Assimilation Rate (TAN by its Spanish acronym) that explains the assimilation of dry matter and the average photosynthetic efficiency per effective surface unit. The maximum values of TAN obtained were 0,112 g. cm⁻²día⁻¹ for chard, 0,179g. cm⁻²día⁻¹ for beat, 0,012 g. cm⁻²día⁻¹ for onion, 0,159 g. cm⁻²día⁻¹ for spinach, 0,254 g. cm⁻²día⁻¹ for lettuce, 0,198 g. cm⁻²día⁻¹ for cucumber, 0,171 g. cm⁻²día⁻¹ for tomato, and for carrot 0,094 g. cm⁻²día⁻¹. Another rate that was evaluated is the Relative Growth Rate (TRC by its Spanish acronym); it expresses the crop growth in terms of efficiency as producer of new material depending on the total photosynthesis and respiration. The values obtained for this rate are 0.293g.g día⁻¹ for chard, 0,272g.g día⁻¹ for beet, 0,253g.g día⁻¹ for onion, 0,448g.g día⁻¹ for spinach, 0,313g.g día⁻¹ for lettuce, 0,102 g.g día⁻¹ for cucumber, 0,152g.g día⁻¹ for tomato, and 0,256 g.g día⁻¹ for carrot.

Keywords: Functional growth analysis, Biomass, Dry matter.

1 Maestrante de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía – UMSA, La Paz-Bolivia.

2 Docente Investigador, Facultad de Agronomía – UMSA, La Paz-Bolivia.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa como materia fresca y seca en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. De esta manera la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo. Los asimilados o asimilatos (glúcidos, proteínas, lípidos y carbohidratos) producidos por la fotosíntesis en los órganos “fuente” (principalmente las hojas), pueden ser almacenados o distribuidos vía floema entre los diferentes órganos “sumideros” de una planta. Entonces para lograr un rápido crecimiento inicial de las plantas jóvenes, es importante incrementar substancialmente de la superficie foliar en esta fase, debido a que gran parte de la radiación solar incidente no es interceptada. Por lo tanto, en esta fase, una gran parte de los asimilados deben ser destinados a la formación de las hojas (Challa et al., 1995).

El balance apropiado entre el aporte y la demanda de asimilados de una planta tiene una gran importancia para optimizar la producción y la calidad, y se puede obtener a través de una adecuada relación fuente/sumidero. Sin embargo, frecuentemente, este balance no es el óptimo en los cultivos protegidos de crecimiento indeterminado, pudiendo darse las siguientes situaciones: períodos en que una muy pequeña fracción de asimilados es destinada a los frutos; períodos con una producción de muy baja calidad (frutos muy pequeños o deformes); o períodos durante los cuales hay una baja capacidad de producción (Peil y Gálvez, 2005).

La distribución de materia seca entre los diferentes órganos de una planta es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que gobiernan el flujo de asimilados a través de un sistema fuente/sumidero. Las actividades involucradas en este proceso no son estáticas y pueden cambiar diariamente y a lo largo del período de desarrollo de la planta (Patrick, 1988).

El análisis de crecimiento ha sido practicado con dos procedimientos distintos, el primero denominado análisis clásico, contempla medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo usando un gran número de plantas; el segundo denominado análisis funcional, comprende medidas a intervalos de tiempo más frecuentes con un pequeño número de plantas y usa el método de regresión (Hunt, 1979). El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como Peso Seco (W), Área Foliar

Total (AF) y Tiempo (T), mientras que las medidas derivadas Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Relación de Área Foliar (RAF), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Área Foliar Específica (AFE), Índice de Área Foliar (IAF) y Duración de Área Foliar (DAF) son calculadas a partir de las medidas directas (Hunt, 1979). Estos índices permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de materia seca, la cual depende del tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje persiste (Hunt et al., 2002).

La acumulación y distribución de biomasa en los vegetales son características genotípicas fácilmente afectadas por el ambiente y su interacción (Manrique y Bartholomew, 1991; Rajwade et al., 2000). Así, la proporción de biomasa asignada a hojas, tallos y raíces en cada momento del desarrollo, depende de la cinética de crecimiento y de la tasa de distribución, que están gobernadas por el área foliar, clima y disponibilidad de nutrimentos (Heemst, 1986).

Se realizaron algunos trabajos en tubérculos andinos sobre su valor nutritivo y su rusticidad, sin embargo salvo a la papa, todavía resultan poco conocidas las dinámicas de crecimiento y las características de su producción potencial en especial las hortalizas cultivadas en estas latitudes y altitudes bolivianas. Una manera de estudiar y explicar las dinámicas del desarrollo y crecimiento en especies vegetales es a través del Análisis de Crecimiento de Cultivos (ACC), ya que es un método explicativo, holístico y de acercamiento integral para interpretar la forma y función de las plantas (Clawson et al., 1986, Hunt, 1982 y Hunt et al., 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó desde el 20 de enero de 2014 y el 30 de junio de 2014, en un invernadero diseñado y construido específicamente para este fin, en la zona de Pampahasi, la misma está ubicada geográficamente a 16°29'51,71" de latitud Sur y 68°06'09,60" longitud Oeste, con una elevación de 3838 m.s.n.m. en la ciudad de La Paz, Bolivia.

Se utilizaron ocho variedades de hortalizas, acelga (var. Fordhook giant), beterraga (var. Detroit DarkRed), cebolla (var. blanca navideña), espinaca (var. Viroflay), lechuga (var. Waldman Green), pepino (var. Pointset), tomate (var. Flora Dade) y zanahoria (var. Chantenay).

En la toma de datos se utilizó un Luxómetro digital EXTECH / EA30. (1 – 400.000 lux, 37.000 candelas), un Termómetro – Higrómetro digital marca Swiss, dos termómetros de máximas y

mínimas, una balanza digital de 5 kilos, una balanza digital de precisión a 0.1 gramos y un horno industrial a gas.

Según la metodología de Hunt (2002) se realizó una siembra individual, en vasos de plástico, el sustrato utilizado en todas las almáciguas estuvo compuesto de una parte de suelo negro, una parte de suelo negro más guano de oveja, una parte de turba y media parte de arena fina. Se sembraron 150 plantas por hortaliza, se realizó riego continuo a capacidad de campo diariamente en fases tempranas y discontinuas en fases desarrolladas del crecimiento.

El trasplante se realizó una vez las plántulas produjeron 2 hojas verdaderas, a continuación las plántulas fueron trasplantadas en bolsas de repique con sustrato preparado y abonadas con 100 gramos de humus de lombriz. Las labores culturales diarias realizadas fueron el riego, desmalezado, control mecánico de plagas babosas (gastropodos) y tijeretas (dermápteros), también se realizó el tutoraje de tomate y pepino.

El análisis de crecimiento se basó en la metodología propuesta por Hunt (2002). El muestreo de plantas se realizó a lo largo del tiempo de estudio de 120 días, realizando un muestreo destructivo y colectando plantas semanalmente para todas las especies estudiadas. Las plantas seleccionadas al azar, fueron separadas del sustrato lavando las raíces con cuidado evitando daños mecánicos, seguidamente se secaron con paños e inmediatamente se procedió al pesado. La metodología se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Índices fisiotécnicos propuestos por Hunt et al., (2002).

Índice	Descripción	Fórmula	Unidades
TRC	Tasa relativa de crecimiento	$(1/W)(dW/dt)$	$g\ g^{-1}\ d^{-1}$
IAF	Índice de área foliar	L_A/P	Adimensional
TCC	Tasa de crecimiento del cultivo	$(1/P)(dW/dt)$	$g\ cm^{-2}\ d^{-1}$
AFE	Área foliar específica	L_A/W	$cm^2\ g^{-1}$
RAF	Relación de área foliar	L_A/W	$cm^2\ g^{-1}$
TAN	Tasa de asimilación neta	$(1/L_A)(dW/dt)$	$g\ cm^{-2}\ d^{-1}$

W = materia seca total (g); L_A = Área foliar; P = Área foliar por unidad de superficie de suelo (cm^2); Lw = materia seca foliar por planta (g); dW/dt = variación de la masa seca en función del tiempo.

La biomasa total es el peso total de cada planta, se pesó adicionalmente la biomasa aérea que corresponde a todos los órganos de la parte aérea de la planta y las raíces desde el cuello de la planta. Las variables agronómicas medidas fueron; número de hojas, altura de planta, ancho

de hoja mayor y diámetro de cuello, de las cuales se obtuvieron variables derivadas. Las muestras de cada planta fueron secadas en el horno a gas a 120 °C, el tiempo de secado fue proporcional al ciclo del cultivo, siendo de 6 a 24 horas en el estadio final del estudio. Las muestras secas fueron pesadas nuevamente para obtener el peso seco total, peso biomasa aérea seca y peso de las raíces.

Paralelamente a la toma de datos de variables agronómicas se realizó la captura de imágenes para cada una de las plántulas analizadas, se tomaron fotografías digitales a un metro de altura desde la base de la planta. Las fotografías fueron en una primera fase editadas con el sistema Photoshop C4 con el cual se borraron de las fotografías todos los elementos que no corresponde al área foliar de las plantas, dejando solamente el canopi fotosintetizante. Una vez editadas las fotografías fueron analizadas en el software CobCal 2 el cual trabaja basándose en la gama de colores que están en contacto con la radiación solar por lo que aísla los colores que reflejan los pigmentos fotosintetizantes, es decir la gama de colores verdes, amarillos y marrones. Una vez parametrizados los datos adicionales tales como marco de plantación color de fondo, tipo de área de plantación, arroja los resultados, en valores de Porcentaje cubierto (%) y Superficie cubierta (cm). Con estos valores se obtiene el índice de área foliar esencial para el análisis de crecimiento funcional.

Las tasas fueron graficadas por medio de funciones polinómicas que son modelos matemáticos que describen relaciones entre dos variables. Las gráficas de los polinomios son siempre curvas suavizadas, continuas y sin picos (Neuhauser, 2004). Además algunos índices fisiotécnicos se expresaron de manera de función potencial o exponencial.

Se realizó también un análisis multivariado que consiste en el cálculo de la matriz de distancias entre los elementos de la muestra (casos o variables). Esa matriz contiene las distancias existentes entre cada elemento y todos los restantes de la muestra. A continuación se buscan los dos elementos más próximos (es decir, los dos más similares en términos de distancia) y se agrupan en un conglomerado. Los resultados de este análisis se representan en una escala comprendida entre cero a la unidad, con valores absolutos. Las correlaciones obtenidas son significativamente aceptadas a partir del 0,5; siendo valores superiores a este valor correlaciones directas entre variables, valores inferiores al citado valor no representan dependencia o similitud directa entre variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las fluctuaciones de temperatura medidas señalan que las temperaturas registradas oscilan entre los 8 y 38,4 °C dentro el invernadero sin ventilación, por lo cual se hizo un control de la temperatura manteniendo el invernadero alrededor de los 25 °C. Alpi y Tognoni (1999) señalan que la temperatura mínima para un invernadero en cualquier condición es de 5 °C, y la temperatura máxima debe ser 2 o 3 °C mayor a la máxima del exterior del invernadero. La radiación solar al interior del invernadero se ve reducida en un 50 % con respecto al exterior, los valores al interior van desde 0 a 55.200 lux, con respecto al exterior con valores de 113.000 lux. La reducción de la intensidad de la radiación solar se debe al material de cubierta que al contener en su estructura aditivos de filtración de radiación ultravioleta reducen la incidencia al interior del invernadero, así mismo el ángulo de incidencia y la estación climatológica. Alpi y Tognoni (1999) indican que para el cultivo del tomate la radiación debe estar entre los 10.000 y 50.000 lux, mientras que para la lechuga debe comprender entre 12.000 y 30.000 lux.

La germinación obtenida para la acelga fue del 100 %, la beterraga 95 %, la cebolla 25 %, la espinaca 75 %, la lechuga 95 %, pepino 90 %, tomate 95 % y zanahoria 90 %. Los valores superiores a 85 % indican gran poder germinativo y que las semillas están en una latencia adecuada, los valores de la

espinaca señalan que la viabilidad de la misma se ve reducida por la edad de la semilla superior a los 3 años, la cebolla por el valor obtenido hace referencia a que esta debe tener un tratamiento previo como la escarificación mecánica por raspado de la cubierta, o un tratamiento térmico con agua caliente.

El sustrato utilizado presentó un pH de 6,58 y una conductividad eléctrica de 577 μS , el agua de riego presentó un pH de 8,63 y una CE de 374 μS . Matallana (2001) especifica que el pH óptimo para agua de riego de hortalizas es 6,5 a 7,5, y la conductividad eléctrica buena comprende entre 250 y 750 μS , con contenido de sodio entre 20 y 40 %, cloro con 4 a 7 mg l^{-1} y sulfatos entre 4 a 7 me l^{-1} , además se considera un agua con contenido ligero de sales entre 500 y 1000 μS .

Biomasa total

La acumulación y distribución de biomasa en los vegetales son características genotípicas fácilmente afectadas por el ambiente y su interacción (Manrique y Bartholomew, 1991; Rajwade et al., 2000). Así, la proporción de biomasa asignada a hojas, tallos y frutos en cada momento del desarrollo, depende de la cinética de crecimiento y de la tasa de distribución, que están gobernadas por el área foliar, clima y disponibilidad de nutrientes (Heemst, 1986).

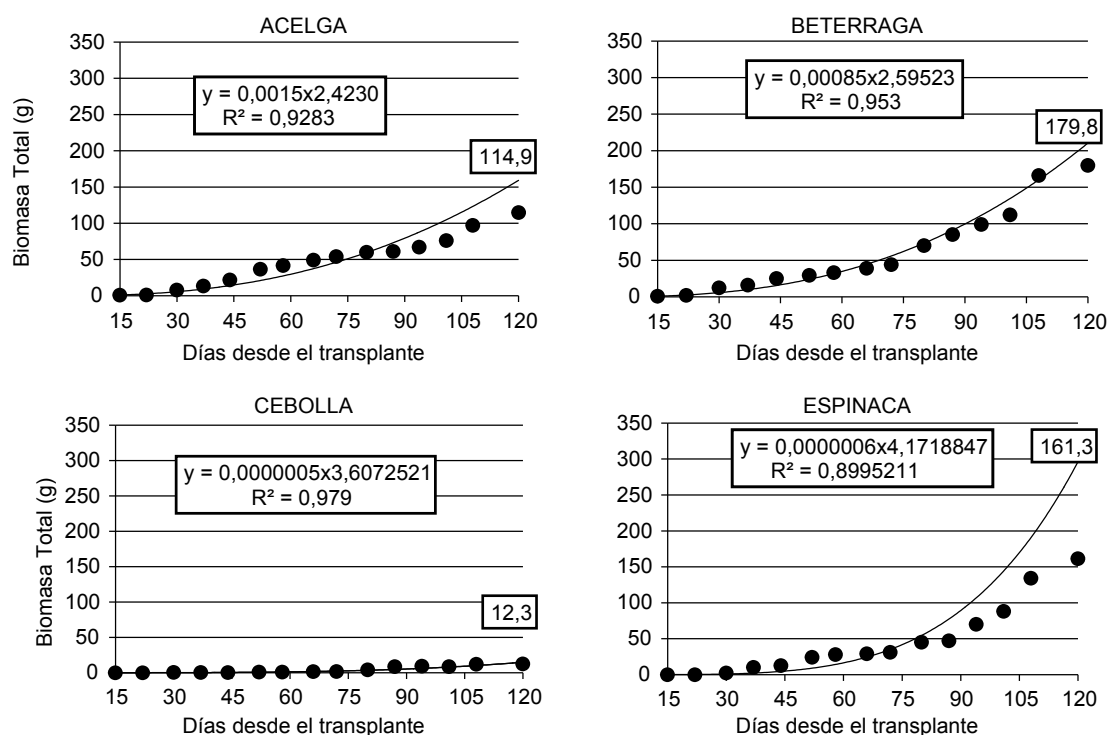


Figura 1. Acumulación de Biomasa total de Acelga, Beterraga, Cebolla, Espinaca, tendencia exponencial y valor máximo registrado a los 120 días del estudio.

La Figura 1 y 2 detallan la acumulación de biomasa total para las ocho hortalizas estudiadas. La acelga presenta un crecimiento gradual, es decir tiene un desarrollo de órganos proporcional con el tiempo de crecimiento, alcanzando un valor máximo de acumulación de biomasa total de 114,9 gramos. La acelga utilizada corresponde a la variedad Fordhook giant, que genera bastantes hojas, pero su cualidad esencialmente es la de generar tallos gruesos y succulentos, además el peso no refleja el contenido de materia seca.

La beterraga estudiada de la variedad Detroit Red Dark a los 120 días de estudio no generó una raíz comercial, se comportó como una hortaliza de hojas o forrajera, presentó un máximo de biomasa total a los 120 días con 179,8 gramos. Esta variedad mostró un incremento en la generación de biomasa a partir de los 75 días, este cultivo demuestra que si no existen factores de estrés tienden a desarrollar órganos diferentes al órgano comercial, ya que no necesitan acelerar su reproducción ni formar órganos de sobrevivencia, siendo para este cultivo necesario generar factores de estrés hídrico, nutricional y climático para obtener resultados de rendimiento ideales.

La cebolla fue el cultivo que menos generó biomasa hasta el final del periodo de evaluación (120 días) debido a que el cultivo fue estudiado desde la siembra por semilla botánica, este cultivo presenta un crecimiento reducido pero con

tendencia lineal con relación al tiempo. La cebolla alcanzó un valor máximo de 12,3 gramos un valor demasiado bajo comparado con la producción convencional que utiliza plántulas trasplantadas de tres o cuatro hojas bien desarrolladas. Otro factor limitante en el desarrollo de este cultivo fue la época de siembra que al estar totalmente a destiempo generó problemas fisiológicos evidentes, así mismo la cebolla requiere de alta radiación y estrés controlado para desarrollar de mejor manera los bulbos que son el órgano comercial, también influyó de manera determinante la variedad, en este caso la Blanca Navideña, que además requiere tratamientos pre germinativos, ser trasplantadas a terreno definitivo cuando alcanza un tamaño considerable y 3 a 4 hojas consolidadas.

La espinaca presentó dos momentos de cosecha claves, uno entre los 45 y 60 días donde la generación de biomasa sufre una disminución con respecto a la tendencia que presenta, pasados los 60 días la espinaca vuelve a retomar la generación de múltiples hojas nuevas por consiguiente un aumento en la ganancia de biomasa. El valor máximo obtenido para este cultivo fue de 161,3 gramos de biomasa total, cabe señalar que no se procedió a cosecha de hojas en el transcurso del estudio, ya que la espinaca resiste eficazmente varias cosechas a lo largo de su ciclo productivo que puede extenderse a un año completo.

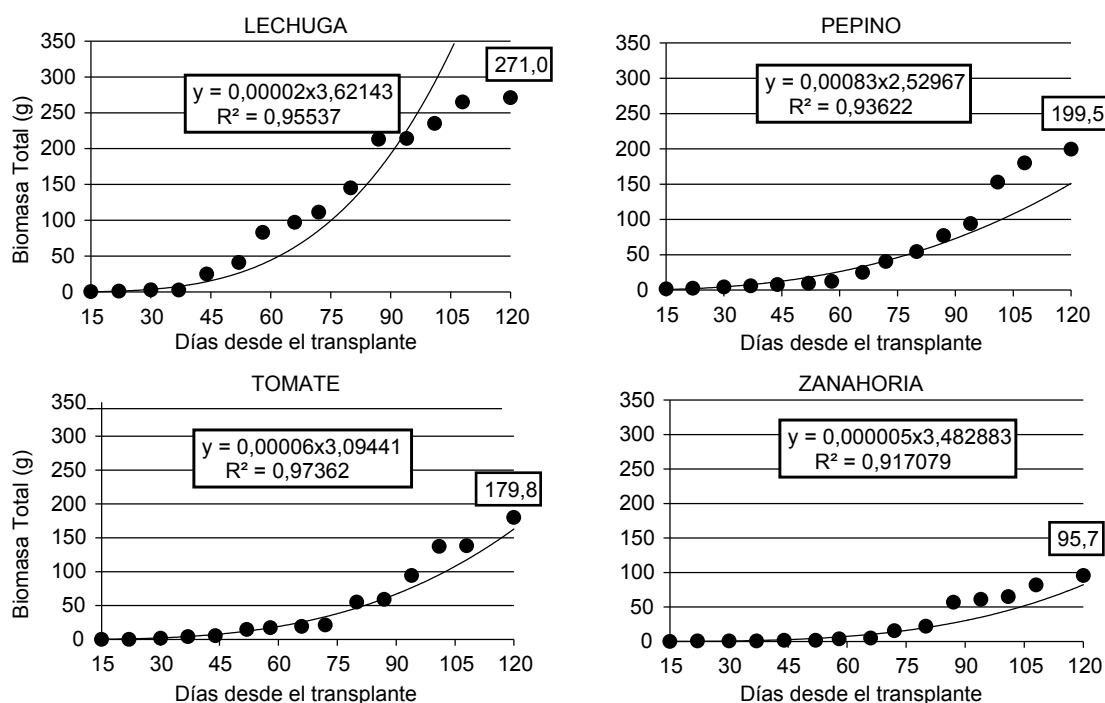


Figura 2. Acumulación de Biomasa total de Lechuga, Pepino, Tomate, Zanahoria tendencia exponencial y valor máximo registrado a los 120 días de estudio.

La lechuga es el cultivo más eficiente en generar biomasa, ya que alcanzó los 271,0 gramos a los 120 días, este cultivo es altamente eficiente en generar biomasa total, sin tomar en cuenta la generación de materia seca, además este cultivo viene siendo un productor de hojas de alto rendimiento. La lechuga de la variedad Wallman Green en los primeros estadios tiene un crecimiento lineal, es a partir de los 40 días que comienza a generar gran cantidad de hojas las mismas que crecen a su máxima expresión y se convierten en órganos fuente de asimilatos para las hojas más jóvenes que aparecen en el transcurso de su ciclo productivo. Muchos productores intensivos cosechan la lechuga desde los 45 a 60 días, en nuestro caso dejamos que el cultivo siga su desarrollo hasta los 120 días.

El pepino de la variedad Pointset comienza a generar biomasa de manera exponencial a partir de los 60 días donde comenzó un crecimiento en altura y de generación de hojas zarcillos y en estadios finales del estudio órganos florales. El mayor peso alcanzado por el pepino fue de 199,5 gramos. A partir de los 90 días el pepino comenzó con el llenado de algunos frutos, demostrando que no fue necesario alcanzar alturas de planta altas para que suceda esta producción, el pepino además no tiene inconveniente en dejar de formar raíces y comportarse como una planta rastrera, es por eso que el tutoraje es determinante para tener óptimos en captación de luz y la respectiva formación y acumulación de materia seca.

El tomate presentó un valor máximo de biomasa total de 179,8 gramos a los 120 días, mostrando un punto de inflexión a partir de los 45 días momento en el cual comenzó con la generación de órganos florales, expansión foliar, y engrosamiento de tallos. La variedad Flora Dade utilizada mostró que se adapta al sustrato orgánico, a su vez el tomate requiere de tutoraje, raleo de frutos, riego constante, además requiere gran luminosidad en la fase de maduración para el adecuado llenado de frutos y la maduración correcta de los mismos.

La zanahoria para la variedad estudiada Chantenay mostró un crecimiento constante hasta los 75 días momento en el cual comienza la diferenciación de órganos, en especial el desarrollo de la raíz como órgano de reserva. Además la zanahoria es eficiente en captura de

luz ya que por el reducido marco de plantación no tienen inconveniente para desarrollar adecuadamente, las raíces de la zanahoria comienzan a desarrollar cuando las hojas alcanzan su mayor altura y expansión. El valor máximo a los 120 días fue de 95,7 gramos.

La Tasa relativa de crecimiento (TRC) es un índice de eficiencia que expresa el crecimiento en términos de una tasa de incremento en tamaño por unidad de tamaño y tiempo, representa la eficiencia de la planta como productor de nuevo material y depende de la fotosíntesis total y de la respiración (Sivakumar y Shaw, 1978); además se propone como una medida que integra el comportamiento fisiológico de las plantas (Radford, 1967). Es una medida del balance entre la capacidad potencial de fotosíntesis y el costo respiratorio (Archila et al., 1998). Expresa el incremento en masa seca de la planta en un intervalo de tiempo dado, tomando como referencia el valor inicial de la masa seca producida y acumulada.

La Figura 3 presenta la Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de cada hortaliza estudiada, además muestra la tendencia exponencial de la TRC y el coeficiente de determinación de la curva. La TRC decrece a medida que el cultivo desarrolla, además la tasa es un valor relativo en función de la masa presente, se obtiene por diferencia de los pesos acumulados y la diferencia del tiempo de muestreo. La función exponencial obtenida es la que ajusta con altos grados del coeficiente de determinación, demostrando que la tendencia de la TRC es decreciente en función del tiempo para las hortalizas estudiadas.

Puede observarse, en concordancia con lo reportado por Jarma et al., (1999) que la TRC inicialmente presentó valores altos que fueron disminuyendo conforme avanzó el ciclo de vida del cultivo. Nótese que hubo una disminución de la TRC en el periodo comprendido entre los 65 y 80 días después de la emergencia, en el cual se dio el proceso de floración. Es posible que esta situación, según Barraza (2000) se deba a que al ocurrir dicho proceso, las hojas inferiores del canopi entraron en senescencia y no fueron ganando peso en vista de que se convirtieron en fuentes que atendían la demanda de fotoasimilados que requerían las flores para su amarre y posterior cuajado de frutos.

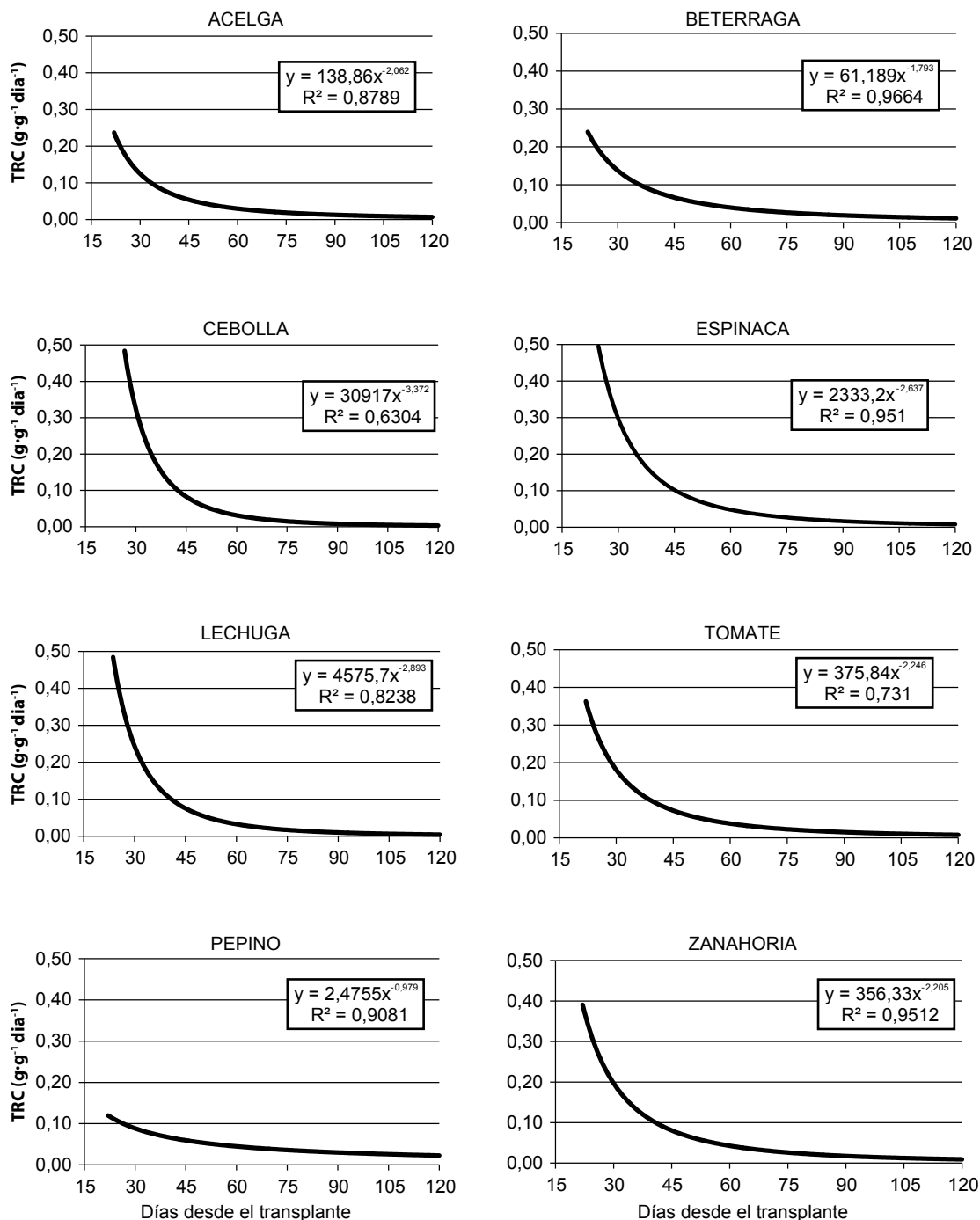


Figura 3. Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de las ocho hortalizas, tendencia exponencial y coeficientes de determinación a los 120 días de estudio.

La Tasa de asimilación neta (TAN) indica la eficiencia fotosintética promedio, individual o en una comunidad de plantas. La capacidad de la planta para incrementar su masa seca en función del área asimiladora en periodos cortos a lo largo del ciclo de crecimiento depende del área foliar, de la disposición, edad de las hojas y de los procesos de regulación interna relacionados con

la demanda de los asimilados (Hunt, 1982). La TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta o del canopi de un cultivo (Brown, 1984), es decir, es una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo; esta no es constante y decrece con la edad de la planta o población.

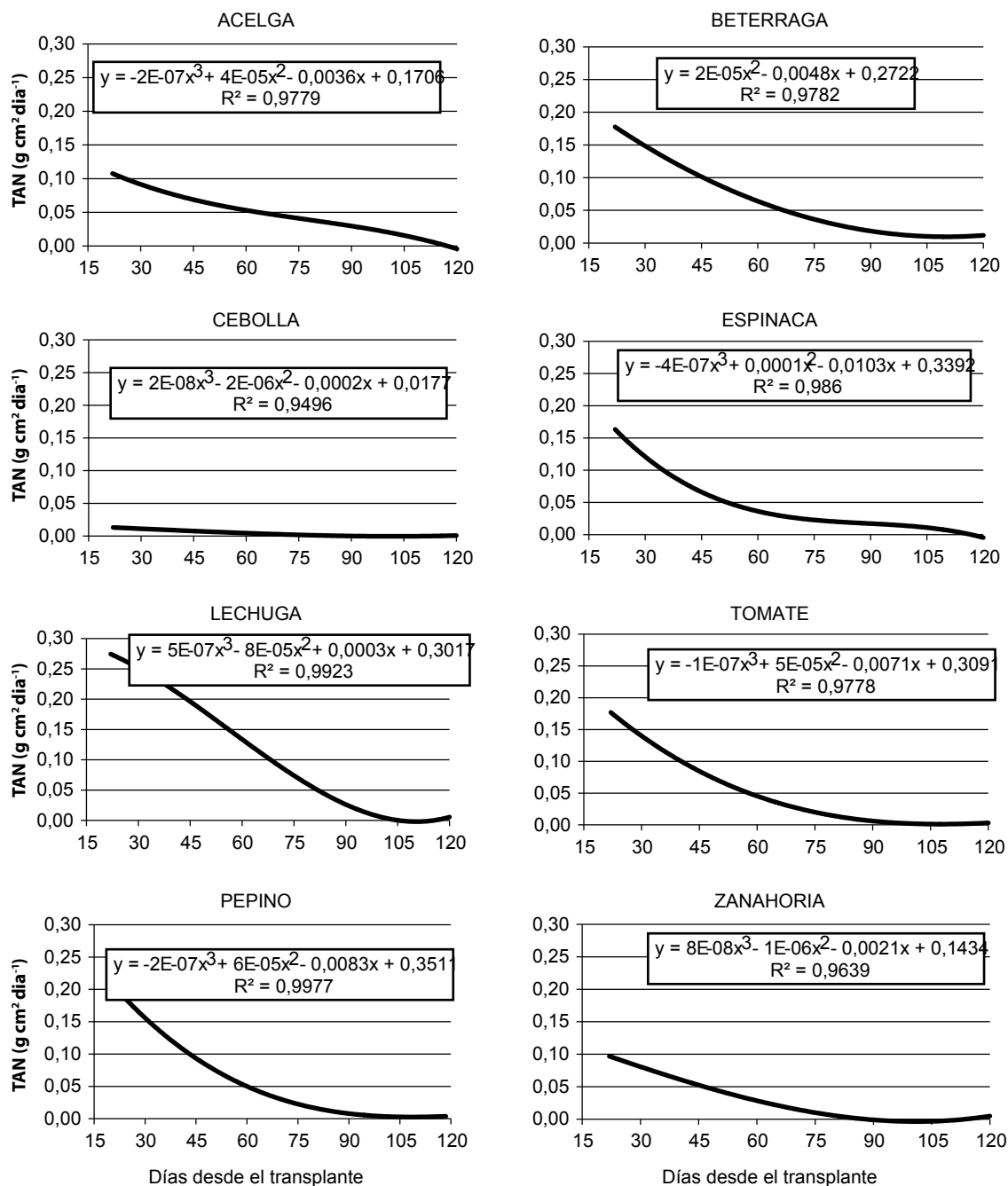


Figura 4. Tasas de Asimilación Neta para las ocho hortalizas estudiadas, funciones polinómicas de tendencia y coeficientes de determinación obtenidos hasta los 120 días de estudio.

Las ocho hortalizas estudiadas demuestran que la TAN (figura 4) es elevada en los primeros días del ciclo de los cultivos y decrece proporcionalmente con el tiempo. Las causas de este decremento en la tasa corresponden en gran medida a que en los primeros días de vida de las plántulas cuando se debe asegurar su sobrevivencia creciendo rápidamente, el segundo factor corresponde a que cada plántula debe mantener todo el crecimiento con dos o tres hojas, siendo estas hojas totalmente eficientes en la producción

de nutrientes, ya que estas dos o tres hojas deben ser la fuente de nutrientes elaborados por la fotosíntesis para la generación de nuevas hojas, alargamiento de raíces, engrosamiento de tallos y la posterior especialización de órganos. Esta tasa demuestra a su vez la eficiencia de los cultivos en términos fotosintéticos, ya que esta relación sugiere en términos de peso por unidad de superficie por el tiempo, la cantidad de asimilatos procedentes de la fotosíntesis que genera la planta.

La determinación de la materia seca (figura 5) se calculó a partir de la diferencia de pesos entre el peso fresco y el peso seco luego del

secado en horno. Esta diferencia pudo ser diferenciada separando el peso de las raíces y el peso aéreo.

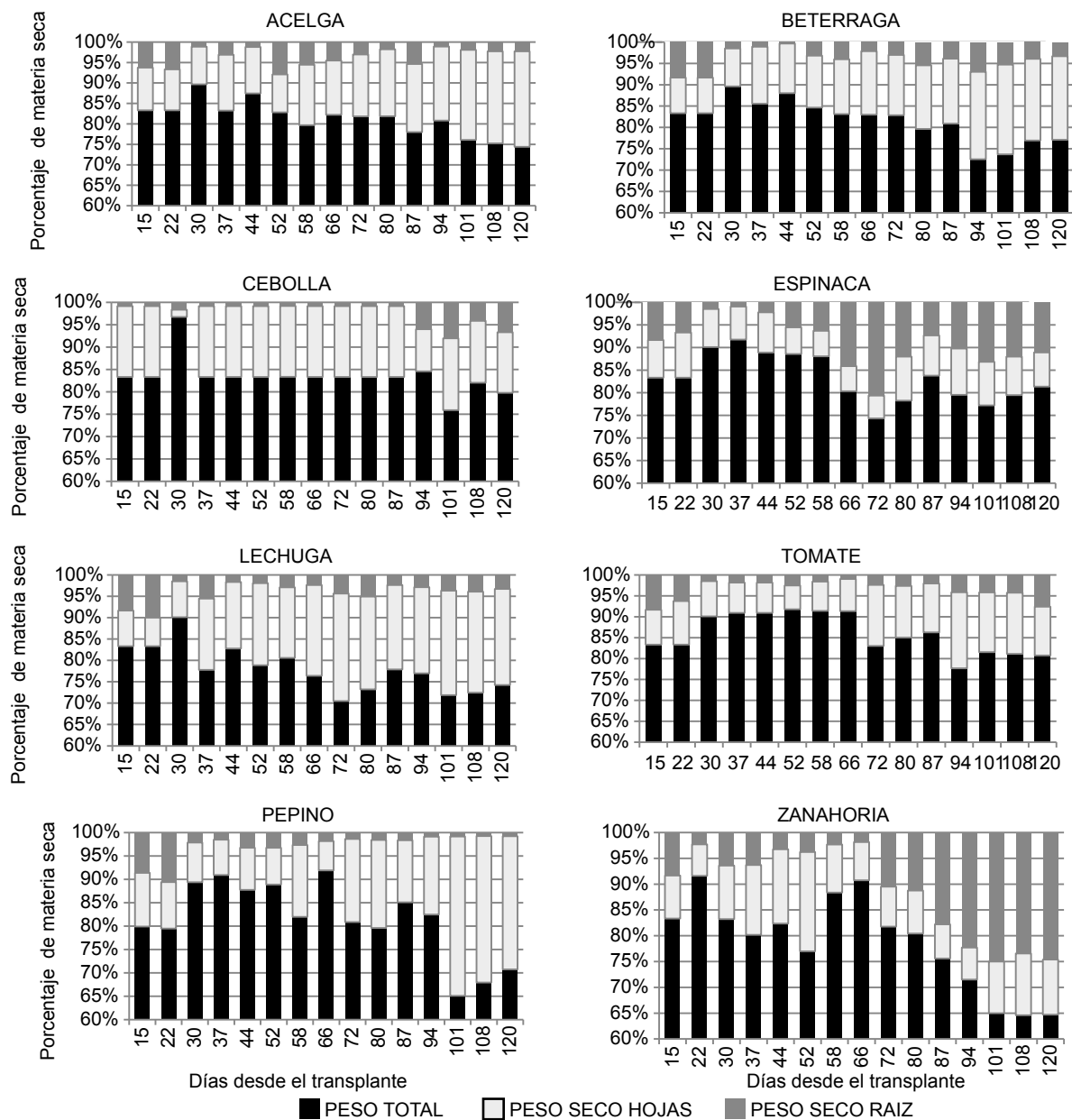


Figura 6. Distribución de materia seca en porcentaje en relación al peso total de plantas de ocho hortalizas estudiadas hasta los 120 días.

Los asimilatos, producidos por la fotosíntesis en los órganos fuente (principalmente las hojas), pueden ser almacenados o translocados, vía floema, a los diferentes órganos sumideros. En cucurbitáceas, la estaquiosa es el principal azúcar translocado (Webb y Gorham, 1964; Milthorpe y Moorby, 1969), a diferencia de gran parte de las especies cultivadas, donde la sacarosa asume este papel (Daie, 1985). En dichas especies, la estaquiosa translocada a los frutos es metabolizada a sacarosa en el pedúnculo,

la cual parece que entra en el fruto para ser posteriormente metabolizada a glucosa y fructosa (Gross y Pharr, 1982). Asimismo, aminoácidos y ácidos orgánicos pueden ejercer un papel importante en la translocación del carbono en el floema del fruto.

CONCLUSIONES

Todos los cultivos estudiados indican que la máxima eficiencia fotosintética se desarrolla en

las primeras fases del desarrollo, ya que requieren generar cantidades importantes de asimilatos procedentes de la fotosíntesis para desarrollar nuevos órganos y translocar esos asimilatos a las hojas y órganos jóvenes que aún no puede realizar fotosíntesis efectiva.

La estimación del área foliar es determinante para la comprensión del desarrollo de los cultivos, ya que permite saber y cuantificar la superficie efectiva fotosintetizante, además permite conocer que secciones del canopi de las plantas son las que efectivamente realizan fotosíntesis.

La determinación de materia seca de los cultivos estudiados permitió establecer las relaciones de fuente / sumidero entre los órganos de la plantas, siendo los órganos fuente las raíces y hojas primarias, y los órganos sumideros las hojas nuevas, raíces nuevas, tallos secundarios, flores y frutos; además permiten establecer si el órgano estudiado es determinante para la acumulación de biomasa y las porciones de materia seca que estas generan.

La translocación de nutrientes en los cultivos se debe a la capacidad de generación de asimilatos útiles a la planta, tomando en cuenta que las plantas requieren cantidades importantes de los asimilatos para su subsistencia, siendo los excedentes de esta manutención los que se destinan a la generación de nuevos órganos y de la especialización morfológica, y a su vez los excedentes de asimilatos son los que se almacenan como materia seca dentro de los órganos de reserva o de mayor edad.

El manejo del cultivo es determinante para la generación de biomasa ya que las practicas correctas de riego, fertilización, tutoraje, desojado, raleo de frutos y manejo de la luz aceleran la translocación de asimilatos y la ganancia de biomasa, en especial a los órganos que se desean cosechar. Las tasas más altas de fotosíntesis expresada como TAN se desarrollan a temperaturas medias y a bajas intensidades luminosas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alpi, A. y Tognoni, F.** 1999. "Cultivo en invernadero". Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 347 p.
- Archila, J., U. Contreras, H., Pinzon, H., Laverde y G. Corchuelo.** 1998. Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). Agronomía Colombiana.
- Barraza, F. V.** 2000. Crecimiento del Chile Manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestria en ciencias en horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 142 p.
- Brown, R. H.** 1984. Growth of the green plant. pp. 153-174. In: Physiological basis of crop growth and development. American Society of Agronomy, Madison.
- Challa, H., Heuvelink, E., Van Meeteren, U.** 1995. Crop growth and development. Long-term responses. Crop growth. In: Bakker, J.C.; Bot, G.P.A.; Challa, H.; Van de Braak, N.J. Greenhouse climate control: an integrated approach. Wageningen: Wageningen Pers.
- Clawson, K. L., J. L. Spetch, y B. L. Blad.** 1986. Growth analysis of soybean isolines differing in pubescence density. Agronomy Journal. 78 p.
- Daie, J.** 1985. Carbohydrate partitioning and metabolism in crops. Horticultural Review, v.7.
- Gross, K. C., Pharr, D. M. A.** 1982. Potential pathway for galactose metabolism in *Cucumis sativus* L., a stachyose transporting species. Plant Physiology, v.69,
- Heemst, H. D. J. Van.** 1986. The distribution of dry matter during growth of a potato crop. Potato Res. 29.
- Hunt, R.** 1979. Plant Growth analysis: The rationale behind the use of the fitted mathematical function. Ann. Bot. 43.
- Hunt, R.** 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London.
- Hunt, R., D.R. Causton, B. Shipley y P. Askew.** 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. Annals of botany 90: 485-488. Disponible en línea en: www.aob.oup.journals.org.
- Jarma, A., C. Buitrago y S. Gutierrez.** 1999. Respuesta del crecimiento de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Blue Lake) a tres niveles de radiación incidente. Revista COMALFI 26.
- Manrique, L. A., Bartholomew, D. P.** 1991. Growth and yield performance of potato grown at three elevations in Hawaii: II. Dry matter production and efficiency of partitioning. Crop Sci. 31.
- Matallana, J.** 2001. "Invernaderos", Escobar Impresores. Almería, España.
- Milthorpe, F. L., Moorby, J.** 1969. Vascular transport and its significance in plant growth. Annual Review of Plant Physiology, v.20.

Neuhauser, C. 2004. Matemáticas para ciencias/ Claudia Neuhauser; traducción, Ana Torres Suárez. Madrid [etc.]; Pearson, (2ª ed.)

Patrick, J. W. 1988. Assimilate partitioning in relation to crop productivity. Hort science, v.23,

Peil, R. M. N. y Gálvez, J. L. 2005. Effect of fruit removal on growth and biomass partitioning in cucumber. Acta Horticulturae, v.588.

Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae. Their use and abuse. Crop Sci. 7

Sivakumar, M. V. K., Shaw, R. H. (1978). Methods of growth analysis in field-grown soya beans (*Glicine max L.*) Merrill. Ann. Bot. 42.

Webb, J. A., Gorham, P. R. 1964. Translocation of photosynthetically assimilated C14 in straight-necked squash. Plant Physiology, v.39.