

## ANÁLISIS BÁSICO DEL CRECIMIENTO EN FRUTOS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') CULTIVADOS A CAMPO ABIERTO

BASIC FRUIT GROWTH ANALYSIS OF FIELD-GROWN TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío')

Fánor Casierra Posada<sup>1</sup> y Maria Constanza Cardozo<sup>2</sup>

**Resumen.** El manejo de los cultivos se puede mejorar ampliamente mediante el análisis del crecimiento. En particular, el crecimiento de frutos representa un elemento importante, dado que está relacionado directamente con la productividad del cultivo y por tanto, con el manejo de técnicas relevantes relacionadas con la cosecha, almacenamiento y comercialización. Además, es posible monitorearlo por métodos no destructivos, durante el crecimiento. El diámetro del fruto es un índice muy notable en la dinámica del fruto y se relaciona en gran medida con la producción final. Sobre esta base, se realizó el análisis del crecimiento de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') en condiciones de campo abierto, en Villa de Leyva, Colombia. Desde el momento de la floración hasta la cosecha, se tomaron semanalmente veinte frutos a los que se les determinó el peso seco, el diámetro transversal y polar, y los sólidos solubles totales; además, se calculó la tasa de crecimiento absoluto y relativo en materia seca, y la relación diámetro polar/diámetro transversal. Se realizó un análisis de regresión para determinar el crecimiento de cada parámetro evaluado. El peso seco, el diámetro transversal y polar, y los sólidos solubles totales presentaron un tipo de crecimiento sigmoidal característico. La tasa de crecimiento relativo se redujo entre los intervalos 8-15 y 15-22 días después de floración, posteriormente continuó decreciendo lentamente, hasta el momento de la cosecha. Los resultados obtenidos presentaron coeficientes de regresión muy acertados con los datos observados, en cuanto a las variables de crecimiento.

**Palabras claves:** Diámetro transversal, diámetro polar, tasa de crecimiento absoluto, tasa de crecimiento relativo.

**Abstract.** Crop management can be really improved by the analysis of crop growth. Particularly fruit growth represents a relevant element, because it is directly related with crop yield, and thus with the management of important techniques connected with harvesting, storing and commercialising. Moreover, it can be monitored non-destructively during the growing season. Fruit diameter is a very important index of fruit dynamics, and strongly related with the final yield. On these basis the analysis and modelling of fruit growth was carried out on field-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') in Villa de Leyva, Colombia. From bloom to harvest time twenty fruits were weekly taked to determine dry weight, transversal and polar diameter, and total soluble solids; moreover the absolute and relative growth rate of dry matter, as well as the polar diameter / transversal diameter ratio were calculated. A regression analysis was done to determine the growth for each evaluated parameter. The dry weight, transversal and polar diameter, and total soluble solids showed a characteristic sigmoid shape. The relative growth rate decreased strongly from 8-15 to 15-22 time intervals (days) after bloom, later it decreased slowly until the harvest time. Obtained simulation outputs showed a good agreement with the observed data concerning fruit growth.

**Key words:** Polar diameter, transversal diameter, absolute growth rate, relative growth rate.

El crecimiento es una aproximación holística, explicativa e integral, para comprender la forma y funciones de los vegetales (Hunt, *et al.*, 2002; Hunt, 2003). En cualquier sistema biológico, el crecimiento es la consecuencia de la división celular (incremento en número) y de la elongación celular (aumento en tamaño). La humedad de los tejidos se excluye de los estudios de crecimiento debido a que es la masa seca la que usualmente determina la importancia económica de un producto agrícola (Taiz y Zeiger, 2000; Werner y Leihner, 2005).

Las curvas de crecimiento en los vegetales son un reflejo del comportamiento de una planta en un ecosistema particular con respecto al tiempo. Su

elaboración es indispensable para la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado, para garantizar una respuesta óptima del vegetal de acuerdo con nuestras necesidades y exigencias (Casierra-Posada *et al.*, 2003; Casierra-Posada *et al.*, 2004).

La elaboración de curvas de crecimiento permite conocer el modo como crece el fruto en función del tiempo. La curva que representa el crecimiento de un fruto varía con la especie evaluada; así los frutos de las especies que presentan fruto en pomo son del tipo sigmoide simple (Casierra-Posada, 2003), en cambio la mayoría de las especies de carozo, como *Prunus persica* y *P. salicina* son del tipo doble sigmoidea

<sup>1</sup> Profesor Asociado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal. A.A. 661, Tunja, Colombia. <fanor.casierra@uptc.edu.co>

<sup>2</sup> Ingeniera Agrónoma. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 661, Tunja, Colombia. <connye80@yahoo.com>

Recibido: Octubre 1 de 2007; Aceptado: Abril 13 de 2009.

(Coombe, 1976; Casierra-Posada, 2004). Por su parte, el diámetro de los frutos del tomate crece también describiendo una curva sigmoide simple (Bertin, 2005).

Las curvas de crecimiento del diámetro transversal en función del tiempo son las más empleadas por muchos autores. Tienen la ventaja de ser de fácil determinación, no destructivas y permiten el seguimiento a lo largo del periodo de crecimiento. Estas curvas de crecimiento sirven para identificar no solamente la evolución del crecimiento en el ciclo bajo las condiciones climáticas de la zona bajo estudio, sino también para estimar el peso que tendrá el fruto a cosecha (Coombe, 1976; Hunt, 1979).

El análisis de crecimiento de plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas tales como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, número de ramas, etc. (Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la razón de peso foliar (RPF), la tasa de asimilación neta (TAN), y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Ascencio y Fargas, 1973; Leopold, 1974; Hunt, 1990; Hunt *et al.*, 2002). Mientras los primeros (peso seco, longitud, etc), tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos (tasas de crecimiento) explican su eficiencia en acumular materia seca en los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Geraud *et al.*, 1995).

Se han desarrollado modelos dinámicos de simulación para tomate, como TOMSIN 1.0 (Spitters *et al.*, 1989) y TOMGRO (Jones *et al.*, 1991; Cooman y Schrevels, 2007), con los cuales se ha logrado una aproximación satisfactoria para la comprensión de la producción de materia seca en los frutos de la planta (Bertin y Heuvelink, 1994); sin embargo, la implementación de estos modelos requiere el establecimiento de las plantas en condiciones óptimas y la participación de una gran cantidad de variables independientes, como la temperatura y la radiación global, las cuales no están disponibles en muchas localidades de trabajo. Por otro lado, se han desarrollado para tomate, modelos empíricos de gran exactitud, con la participación de variables fácilmente cuantificables en las condiciones colombianas, confrontados con actividades de manejo agronómico, como la poda de racimos (Villegas *et al.*, 2004).

Se estima que en Colombia, el cultivo de tomate ocupó 0,6% del área total sembrada en cultivos transitorios, en 2006. Por su parte, en el departamento de Boyacá se sembró en el mismo año el 10,4% del área total cultivada con tomate a nivel nacional, con un rendimiento de 45,7 ton•ha<sup>-1</sup>, superado sólo por el departamento de Caldas, con un rendimiento de 47,5 ton•ha<sup>-1</sup>, lo cual es un índice de la importancia del cultivo para los agricultores boyacences (Corporación Colombia Internacional, 2006).

El objetivo del trabajo consistió en establecer la tendencia del crecimiento de frutos en un cultivar de tomate, en un cultivo comercial, en función del tiempo, en plantas cultivadas bajo condiciones de campo abierto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó el crecimiento en frutos de tomate cv. "Quindío", mantenido bajo condiciones de campo abierto. El estudio se desarrolló en Villa de Leyva (Boyacá), ubicado a 2400 msnm, en un cultivo comercial. Al iniciar el ensayo, se marcaron 300 flores recientemente abiertas, y luego del cuajado de frutos, se tomaron semanalmente, 20 frutos para las respectivas evaluaciones. Las mediciones se hicieron hasta la madurez de los frutos.

En los frutos colectados se determinaron los diámetros polar y transversal, por medición con un vernier, así como la relación entre los dos diámetros, como el cociente de las dos mediciones; el peso seco del fruto, por secado al horno a 105 °C, hasta peso seco constante; los sólidos solubles totales (SST), por lectura directa con un refractómetro manual. Con la información obtenida semanalmente relacionada con la materia seca acumulada en frutos, se calcularon las tasas de crecimiento absoluto y relativo, de acuerdo con la metodología propuesta por Hunt (1990).

La información resultante se analizó mediante el programa SPSS versión 11.5 con el cual se establecieron las curvas de crecimiento y las ecuaciones de regresión para cada una de las variables. Para la selección de la curva de crecimiento, se tuvo en cuenta el coeficiente de regresión (R<sup>2</sup>) más cercano a la unidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

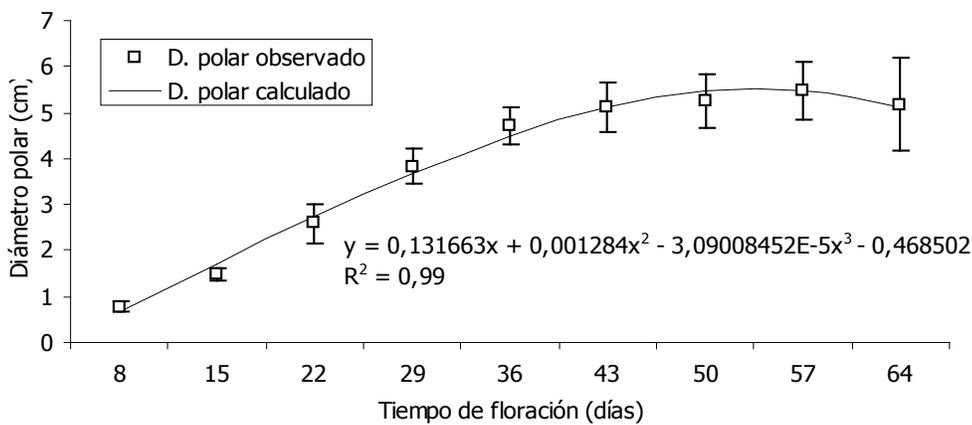
El comportamiento de la curva obtenida para el incremento del diámetro polar fue de tipo sigmoide.

La variable alcanzó su valor máximo a los 57 días después de floración (ddf), y empezó a estabilizarse alrededor de los 50 ddf (Figura 1).

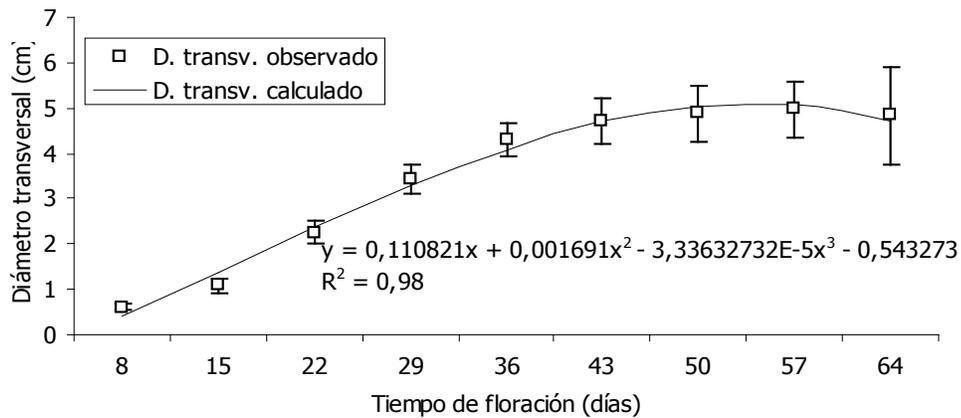
Se obtuvo un modelo sigmoide de crecimiento del diámetro transversal. Para las curvas de crecimiento de los diámetros transversal y polar (Figuras 1 y 2), se registró un descenso en los valores, a partir de 57 ddf (Figura 2).

Aunque en la mayoría de los frutos, el desarrollo temprano se divide en tres fases: desarrollo del ovario, división celular y expansión celular (Gillaspy

*et al.*, 1993), estas etapas no se hacen evidentes en la Figura 2, dado que las mediciones se realizaron semanalmente, y para detectar los cambios en la pendiente de la curva, especialmente en los primeros días de desarrollo del fruto, se hace necesario hacer las mediciones con mayor frecuencia. A pesar de esto, se observó que inicialmente se tiene un crecimiento ralentizado, posteriormente el crecimiento se incrementa, hasta que incluso puede disminuir después de 57 ddf, posiblemente a pérdidas excesivas por transpiración como producto de los cambios bioquímicos que tienen lugar en el fruto durante el proceso de maduración.



**Figura 1.** Diámetro polar acumulado en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Quindío) cultivado bajo condiciones de campo abierto.



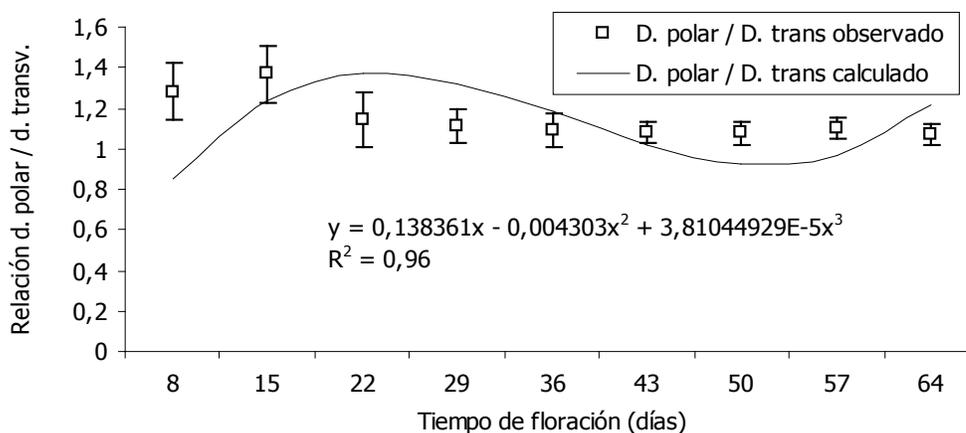
**Figura 2.** Diámetro transversal acumulado en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Quindío) cultivado bajo condiciones de campo abierto.

El fruto, como órgano vertedero, toma de la planta una serie de sustancias que transforma y convierte en sus propios constituyentes, moléculas de estructuras complejas y en principio muy diferentes a las que la planta toma del medio. La planta obtiene una ganancia de energía y de materia orgánica, las cuales, tomadas bajo cualquier forma, las utiliza el fruto para su crecimiento, tomando como parámetro para la expresión del crecimiento en volumen (Barceló *et al.*, 1987). Es así como el crecimiento en volumen de los frutos, tiene un aumento irreversible como consecuencia del incremento en masa y número de las células, y por consiguiente, se incrementa su tamaño. Sin embargo, después de los 57 ddf hay un descenso en el volumen de los frutos, posiblemente como consecuencia de las pérdidas de CO<sub>2</sub> durante el proceso de respiración, como efecto de los cambios bioquímicos que conllevan a la maduración del mismo, así como a los procesos degradativos de la senescencia y al consumo de reservas o a la excreción de minerales u otras sustancias al entorno.

El valor de la relación diámetro polar/diámetro transversal es alto inicialmente, pero luego se estabiliza alrededor de 22 ddf, lo que significa que

los frutos son inicialmente oblongos, pero a partir de ese momento, adquieren una forma redondeada y ligeramente alargada, característica del cv. Quindío, y la mantienen hasta el momento de la cosecha (Figura 3).

Según Kojima (2005), la forma que adquiere el fruto durante los primeros estados de su crecimiento es un efecto de los reguladores de crecimiento producidos por las semillas inmaduras, de los cuales, se ha encontrado que el ácido abscísico (ABA) está presente en altas cantidades en el pericarpo, en las axilas y en el tejido locular, en los estados tempranos de crecimiento de los frutos; sin embargo, posteriormente se encuentran grandes cantidades de ácido indolacético (AIA), las que determinan tanto el ritmo del crecimiento como la forma del fruto. La expansión del tejido del pericarpo no es causado directamente por el AIA, sino por la actividad vertedero del fruto, ocasionada por las semillas en desarrollo (Varga y Bruinsma, 1976). Por otro lado, el ABA puede estimular la descarga de asimilados, transportados a través del floema, logrando así una promoción del poder vertedero de los frutos, durante sus fases tempranas de crecimiento (Brenner, 1989; Kojima, 2005).



**Figura 3.** Relación diámetro polar/diámetro transversal en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Quindío) cultivado bajo condiciones de campo abierto.

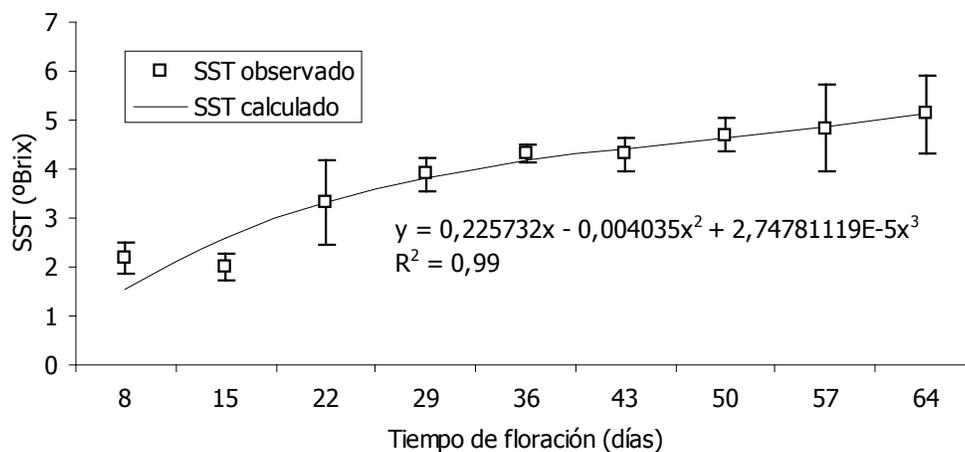
Se encontró un ascenso en el valor acumulado de sólidos solubles totales (SST), a partir de 15 ddf; posteriormente, el incremento del valor fue gradual y se mantuvo en ascenso hasta el momento de la cosecha (Figura 4).

El almidón se hidroliza para producir azúcares, responsables del incremento de los sólidos solubles

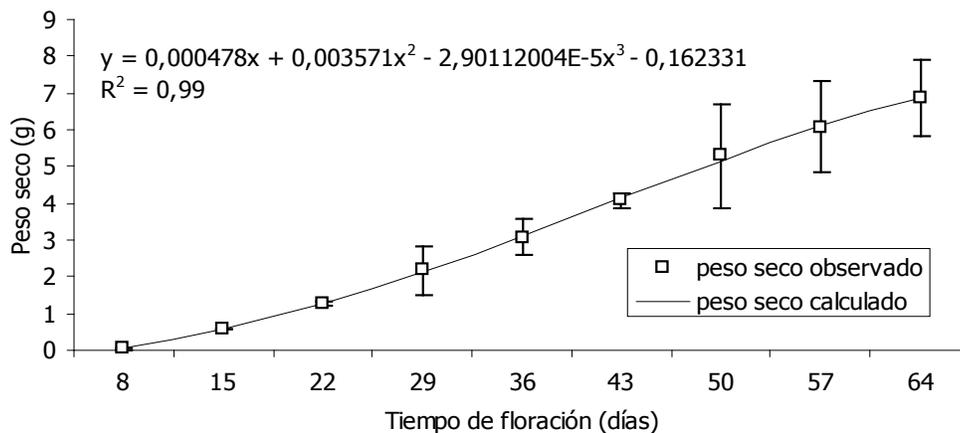
durante todo el periodo de crecimiento y desarrollo de los frutos. El azúcar libre proviene principalmente de la glucosa y la fructosa, las cuales se encuentran en concentraciones más o menos similares en los frutos de tomate. Además, según Herrmann (2001) el contenido de azúcares en los frutos es altamente dependiente de la intensidad luminosa, por tanto, los tomates cultivados en campo abierto presentan

mayores contenidos en sólidos solubles que aquellos que crecen bajo condiciones de invernadero. Adicionalmente se ha encontrado que la sacarosa se reduce considerablemente en frutos hechos que aún conservan su color verde hasta el estado de frutos rojos (Tarrach y Herrmann, 1986; Davies y Kempton, 1975).

La curva de acumulación de materia seca en valores absolutos, mostró una pendiente desde 8 hasta los 15 ddf, en relación con las pendientes presentes entre los demás muestreos sucesivos; a partir de ese momento, la pendiente se incrementó hasta 50 ddf y el aumento en el valor acumulado del peso seco del fruto se mantuvo hasta la cosecha (Figura 5).



**Figura 4.** Acumulación de sólidos solubles totales en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Quindío) cultivado bajo condiciones de campo abierto.



**Figura 5.** Acumulación de materia seca en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Quindío) cultivado bajo condiciones de campo abierto.

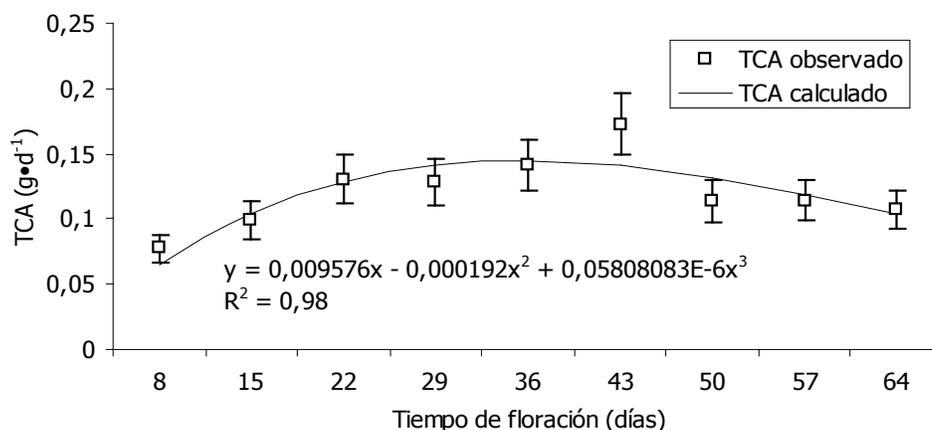
Aunque la fotosíntesis en los frutos inmaduros de tomate no es despreciable (Czarnowski y Starzecki, 1992), sólo es responsable de menos del 10% de la materia seca presente en el fruto (Ho y Grimbly, 1990). La mayoría de la materia seca de los frutos

del tomate proviene de los fotoasimilados producidos en las hojas y transportados a los frutos, acorde con la relación fuente/vertedero. El poder vertedero de un órgano es la capacidad o demanda potencial del mismo para acumular asimilados (Marcelis y

Heuvelink, 2007); por tanto, los frutos representan vertederos de alto poder, que en sus estados iniciales de crecimiento acumulan cantidades escasas de materia seca, cuando se tiene en cuenta el valor acumulado, pero este valor es alto, cuando se observa la tasa de crecimiento relativo. Además, las plantas de tomate presentan crecimiento vegetativo solamente en una primera fase muy corta de desarrollo inicial. Los frutos inician su desarrollo, pasando a ser recolectados continuamente durante un largo período, en el cual los restantes órganos de la planta continúan su crecimiento. Los frutos son los principales órganos sumideros y compiten entre ellos y con los órganos vegetativos por los asimilados disponibles (Peil y Galvez, 2005). En el cultivar en estudio, los frutos acumularon grandes cantidades de materia seca a partir de los 15 ddf, en forma casi lineal hasta el momento de la cosecha, por tanto, dado que los frutos en desarrollo se encuentran en diferentes grados de madurez en la planta, la demanda por asimilados será constante, así que las labores orientadas hacia el suministro de nutrientes, agua y luz, especialmente, se deben realizar con gran prontitud y exactitud. Se presenta una acumulación

creciente de materia seca en los frutos en crecimiento, que describen una curva sigmoide (Figura 5).

La tasa de crecimiento absoluto de la materia seca en el fruto se mostró en aumento desde el inicio, hasta los 43 ddf, posteriormente presentó un descenso hasta los 50 ddf y luego se estabilizó hasta el momento de la cosecha (Figura 6) El conocimiento de la tasa de crecimiento absoluto ofrece una visión acertada del poder vertedero de los frutos, en términos de acumulación de materia seca, medido de manera instantánea (Hunt, 1990; 2003); por ende, es importante reconocer que las labores agrícolas tendientes a mejorar la acumulación de materia seca en los frutos se deben llevar a cabo hasta los 43 ddf dado que es el periodo en que el fruto es sensible de influenciarse por actividades como la fertilización foliar, el suministro de agua e incluso por un mayor suministro de luz. En teoría este planteamiento sería válido, sin embargo en la planta se presentan frutos en diferentes estados de desarrollo a lo largo del tallo e incluso en un mismo racimo, por lo que las labores tendientes a incrementar el peso seco de los frutos deben realizarse de manera permanente, una vez el primer racimo inicie su crecimiento y desarrollo.



**Figura 6.** Tasa de crecimiento absoluto de la materia seca en el fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Quindío) cultivado bajo condiciones de campo abierto.

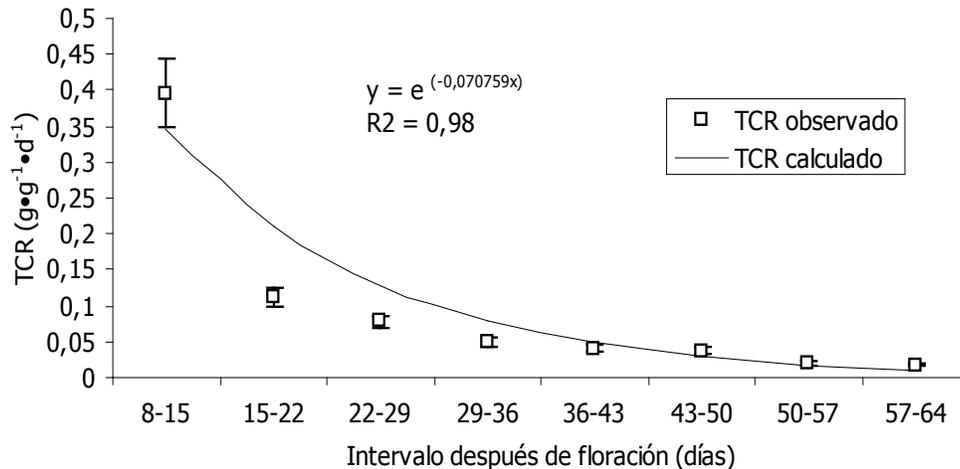
La tasa de crecimiento relativo presentó un descenso drástico hasta el intervalo 15-22 ddf; posteriormente, continuó en un descenso gradual hasta el momento de la cosecha (Figura 7).

Los altos valores encontrados en los primeros días de crecimiento de los frutos pueden relacionarse con las concentraciones elevadas de AIA en los estados

iniciales de crecimiento del fruto (Varga y Bruinsma, 1976), lo que manifiesta el importante papel de este regulador sobre la tasa de multiplicación celular en los estados tempranos de crecimiento de los frutos de tomate. Por otro lado, varios autores informan que el pedúnculo del fruto del tomate es rico en haces vasculares, con floema, a través del cual, los asimilados pueden migrar hacia el fruto en

crecimiento. Adicionalmente, se menciona que el contenido de ABA en el pericarpo y lóbulos del fruto de tomate es muy alto, hasta cerca de 19 ddf. El ABA estimularía la descarga de asimilados en el

fruto, lo que promueve la actividad vertedero del fruto de tomate en los primeros días de su crecimiento, (Brenner, 1989; Kojima *et al.*, 1993; Kojima, 2005).



**Figura 7.** Tasa de crecimiento relativo de la materia seca en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Quindío) cultivado bajo condiciones de campo abierto.

Como resultado de los análisis de regresión, se encontró que las curvas presentadas son altamente significativas ( $P < 0,01$ ). El alto valor de los coeficientes de regresión encontrados es un índice de que las ecuaciones propuestas se ajustan en gran medida a los datos observados; por tanto, pueden servir de ayuda para predecir una respuesta similar. Con excepción de la ecuación de regresión encontrada para la tasa de crecimiento relativo del peso seco en el fruto, todos los modelos estadísticos que mejor se ajustaban a la información observada, fueron cúbicos, ( $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ ) mientras que Villegas *et al.* (2004) mencionan que el modelo de curva más ajustada a las condiciones de su ensayo fue el modelo de Gauss ( $y = a \cdot \exp(-x+b)^2 / 2c^2$ ); sin embargo, estos autores encontraron valores de  $R^2$  muy similares entre el modelo de Gauss y el cúbico, por tanto, es válido aceptar modelos cúbicos para la expresión de la cinética del crecimiento para las variables reportadas.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se desarrolló con el apoyo de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el marco del plan de trabajo del grupo de investigación Ecofisiología Vegetal, adscrito al programa de Ingeniería Agronómica, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

### BIBLIOGRAFÍA

- Ascencio, J. y J.F. Fargas. 1973. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva. Turrialba 23 (4): 420-428.
- Barceló, C.J., G.R. Nicolás, B.G. Sabater y R.T. Sánchez. 1987. pp. 429-441. Fisiología vegetal. Cuarta edición. Ediciones Pirámide, Madrid. 823 p.
- Bertin, N. 2005. Analysis of the tomato fruit growth response to temperature and plant fruit load in relation to cell division, cell expansion and DNA endoreduplication. Ann. Bot. 95(3): 439-447.
- Bertin, N. and E. Heuvelink. 1994. Dry-matter partitioning in a tomato crop: comparison of two simulation models. J. Hort. Sci. 69(5): 885-903.
- Brenner, M.L. 1989. Hormonal control of assimilate partitioning: regulation in the sink. Acta Hort. 239: 141-148.
- Casierra-Posada, F., D.I. Hernández, P. Lüdders y G. Ebert. 2003. Crecimiento de frutos y ramas de manzano 'Anna' (*Malus domestica* Borkh) cultivado en los altiplanos colombianos. Agronomía Colombiana 21(1-2): 69-74.

- Casierra-Posada, F., V.E. Barreto y O.L. Fonseca. 2004. Crecimiento de frutos y ramas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch, cv. 'Conservero') en los altiplanos colombianos. *Agronomía Colombiana* 22(1): 40-45.
- Cooman, A. and E. Schrevens. 2007. Sensitivity of the Tomgro model to solar radiation intensity, air temperature and carbon dioxide concentration. *Biosystems Engineering* 96 (2): 249-255.
- Coombe, B.G. 1976. The development of fleshy fruits. *Annu. Rev. Physiol.* 27: 207-228.
- Corporación Colombia Internacional (CCI). 2006. pp. 14-62. Oferta agropecuaria ENA-Cifras 2006. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá. 108 p.
- Czarnowski, M. and W. Starzecki. 1992. Spectral properties and CO<sub>2</sub> exchange of tomato fruits. *Photosynthetica* 27(4): 513-519.
- Davies, J.N. and R.J. Kempton. 1975. Changes in the individual sugar of tomato fruit during ripening. *J. Sci. Food Agric.* 26(8): 1103-1110.
- Geraud, F., D. Chirinos, M. Marín y D. Chirinos. 1995. Desarrollo de la planta de tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, cv. Río Grande en la zona del río Limón del estado Zulia, Venezuela. II. Índice de crecimiento relativo, razón de peso foliar y gamma. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 12: 15-23.
- Gillaspy, G., H. Ben-David and W. Gruissem. 1993. Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5: 1439- 1451.
- Herrmann, K. 2001. Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse. pp. 73-89. Ulmer Verlag. Stuttgart. 200 p.
- Ho, L.C. and P. Grimby. 1990. The physiological basis for tomato quality. *Grower* 22: 33-36.
- Hunt, R. 1979. Plant growth analysis: The rationale behind the use of the fitted mathematical function. *Ann. Bot.* 43: 245-249.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. *Plant growth analysis for beginners*. Unwin Hyman, Boston. 112 p.
- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. 579-588. En: Thomas, B., D.J. Murphy and B.G. Murray (Eds). *Encyclopaedia of applied plant sciences*. Academic Press, London. 1618 p.
- Hunt, R., D.R. Causton, B. Shipley and A.P. Askew. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann. Bot.* 90: 485-488.
- Jones, J.W., E. Dayan, L.H. Allen, H. Van Keulen and H. Challa. 1991. A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Trans. ASAE* 34(2): 663-672.
- Kojima, K. 2005. Phytohormones in shoots and fruits of tomato; Apoplast solution and seedless fruit. *JARQ.* 39(2): 77-81
- Kojima, K., S. Kuraishi, N. Sakurai and K. Fusao. 1993. Distribution of abscisic acid in different parts of the reproductive organs of tomato. *Sci. Hort.* 56(1): 23-30.
- Leopold, C. 1974. *Plant growth analysis and development*. McGraw-Hill Book Company, New York. 466 p.
- Manrique, L.A. 1990. Plant morphology of cassava during summer and winter. *Agron. J.* 82(5): 881-886.
- Marcelis, L.F.M. and E. Heuvelink. 2007. Concepts of modelling carbon allocation among plant organs. pp. 103-111. In: Vos, J., L.F.M. Marcelis, P.H.B. de Visser, P.C. Struik and J.B. Evers (eds.). *Functional-structural plant modelling in crop production*. Springer, Holanda. 269 p.
- Peil, R.M. y J.L. Galvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. Bras. Agrociência* 11(1): 05-11.
- Spitters, C.J.T., H. Van Keulen and D.W.G. Van Kraalingen. 1989. A simple and universal growth crop simulator: SUCROSS 87. pp. 147-181. In: Rabinge, R., S.A. Ward and H.H. Laar (eds.). *Simulation and system management in crop protection*. Produc, Wageningen. 420 p.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2000. *Physiologie der pflanzen*. pp. 445-485. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. 773 p.
- Tarrach, F. and K. Herrmann. 1986. Organische säuren der gemüsearten. IV. Die veränderungen der säuren sowie der zucker in tomaten, Gemüsepaprika und Gurken während Entwicklung und Reife. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 183: 410-415.
- Varga, A. and J. Bruinsma. 1976. Roles of seeds and auxins in tomato fruit growth. *Z. Pflanzenphysiol.* 80: 95-104.
- Villegas, J.R., V.A. González, J.A. Carrillo, M. Livera, F. Sánchez y T. Osuna. 2004. Modelos empíricos del crecimiento y rendimiento de tomate podado a tres racimos. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1): 63-67.
- Werner, R. y D. Leihner. 2005. Análisis del crecimiento vegetal. pp. 4-20. Villalobos R.E. (ed.). *Volumen siete*. Editorial Universidad de Costa Rica, Turrialba. 41 p.