

Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero*

Growth analysis of tomato in greenhouse

Antonio Juárez-Maldonado¹, Karim de Alba Romenus¹, Alejandro Zermeño González², Homero Ramírez¹ y Adalberto Benavides Mendoza^{1§}

¹Departamento de Horticultura- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, C. P. 25315. (juma841025@hotmail.com; kdealba@uaaan.mx; hrr_homero@hotmail.com). ²Departamento de Riego y Drenaje-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315. (azermenog@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: abenmen@gmail.com.

Resumen

En México el cultivo del tomate es de gran importancia, 70% de los cultivos que se producen bajo condiciones protegidas corresponde al tomate. Por esto es importante realizar un manejo eficiente en la agricultura intensiva para lo que se requieren conocer los factores que condicionan el potencial de producción de los cultivos. El objetivo de éste trabajo fue realizar un análisis de crecimiento de tomate en invernadero. Se desarrollaron dos ciclos de cultivo de tomate durante los años 2011 y 2012. Se eliminaron 4 plantas por semana en las que se determinó el peso fresco y seco de los diferentes órganos. Se realizaron análisis de correlación y de regresión entre los diferentes órganos de la planta de tomate, y una prueba de t-Student entre las variables climáticas de ambos ciclos. Con los datos obtenidos se generaron curvas de crecimiento de los diferentes órganos de la planta. Se encontró que el cultivo de tomate presentó una etapa de crecimiento exponencial y otra lineal. Se demostró que existe una fuerte correlación entre los pesos frescos y secos de los diferentes órganos de la planta ($p \leq 0.01$), y en las diferentes etapas de crecimiento ($p \leq 0.01$). También se observó que la generación y acumulación de biomasa por las plantas de tomate se afectó por las condiciones climáticas internas del invernadero, ya que fueron diferentes en ambos ciclos ($p \leq 0.05$). La información presentada es útil para diferentes factores del cultivo de tomate en invernadero.

Abstract

In Mexico tomato is of great importance, 70% of the crops grown under protected conditions correspond to tomato; therefore it is important to make an efficient management in intensive agriculture, for this is necessary to understand the factors that determine yield potential of the crop. The aim of this work was to perform a growth analysis of tomato under greenhouse. Two crop cycles of tomato were evaluated during 2011 and 2012. 4 plants per week were removed, to which were determined fresh and dry weight of the different organs. Correlation and regression analysis between the different organs of tomato plant and T Student test between climatic variables of both cycles were performed. With the data obtained, growth curves of different plant organs were generated. It was found that tomato showed an exponential and a linear growth stage. It was shown that there is a strong correlation between fresh and dry weight of different plant organs ($p \leq 0.01$), and at different growth stages ($p \leq 0.01$). It was also observed that the generation and accumulation of biomass by tomato plants were affected by the climatic conditions in the greenhouse, since they were different in both cycles ($p \leq 0.05$). The information in this paper is useful for different factors in tomato under greenhouse conditions.

* Recibido: octubre de 2014
Aceptado: marzo de 2015

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum*, correlación, curvas de crecimiento, regresión lineal.

Keywords: *Lycopersicon esculentum*, correlation, growth curves, linear regression.

Introducción

La producción de cultivos en invernaderos es de suma importancia ya que nos da una ventaja sobre la producción a cielo abierto porque se establece una barrera entre el ambiente externo y el cultivo, creando un microclima interno que permite proteger el cultivo de condiciones adversas (viento, granizo, plagas, etc.) y controlar factores como la temperatura, radiación, concentración de CO₂, humedad relativa, etc. En México, el uso de invernaderos para la producción de hortalizas ha aumentado rápidamente, de 721 ha en 1999 a 3 200 ha en 2005 (Ocaña-Romo, 2008), la cual en 2009 se extendió a una superficie de 10 000 ha (Perea, 2009).

Los datos más recientes muestran que en 2012 se llegó a 12 000 ha de invernaderos, esto sin incluir otras 8 000 has que corresponden a malla sombra y macrotúnel (SAGARPA, 2012). En México el cultivo del tomate es sumamente importante, ya que de los principales cultivos que se producen en condiciones protegidas este ocupa 70%, seguido por pimiento (16%) y pepino (10%) (SAGARPA, 2012). Aunado a esto, México es el principal exportador a nivel internacional, enviando el producto a Estados Unidos de América, Canadá y El Salvador, tan sólo en 2011 se produjeron 1 872 000 toneladas (MÉXICOPRODUCE, 2012).

Considerando el factor de importancia que tiene el cultivo del tomate es importante realizar un manejo eficiente en la agricultura intensiva por lo que se requieren conocer los factores que condicionan el potencial de producción de los cultivos.

En este sentido, la correcta aplicación de riego es uno de los principales factores que afecta el rendimiento del cultivo (Flores *et al.*, 2007), entendiendo que el rendimiento está determinado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos destinados a la cosecha (Casierra-Posada *et al.*, 2007). Además, aunque existen técnicas exitosas como el fertirriego, aún hay problemas con la dosificación de fertilizantes que deben aplicarse, por lo que se ha propuesto usar la acumulación de materia seca para cuantificar la demanda nutrimental (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002). Por

Introduction

Crop production under greenhouse is of great importance as it gives us an advantage over field production as it establishes a barrier between the external environment and the culture, creating an internal microclimate that protects the crop from adverse conditions (wind, hail, pests, etc.) and to control factors such as temperature, radiation, CO₂ concentration, relative humidity, etc. In Mexico, the use of greenhouse for vegetable production has increased rapidly, from 721 ha in 1999 to 3 200 ha in 2005 (Ocaña-Romo, 2008), which in 2009 extended to an area of 10 000 ha (Perea, 2009).

The latest data show that in 2012 reached 12 000 ha of greenhouse; this does not include other 8 000 ha that correspond to shade and Quonset greenhouse (SAGARPA, 2012). In Mexico tomato crop is extremely important, because of the major crops grown under protected conditions this occupies 70%, followed by pepper (16%) and cucumber (10%) (SAGARPA, 2012); added to this, Mexico is the leading exporter worldwide, sending the product to USA, Canada and El Salvador, just in 2011, 1.872 million tons were produced (MÉXICOPRODUCE, 2012).

Considering the importance factor that tomato crop has, it is important to perform an efficient management in intensive agriculture, therefore it is necessary to understand the factors that determine yield potential on the crop.

In this sense, the correct application of irrigation is one of the main factors affecting crop yield (Flores *et al.*, 2007), understanding that yield is determined by the ability to accumulate dry matter in the organs destined for harvest (Casierra-Posada *et al.*, 2007). Although there are successful techniques like fertigation, but there are still problems with fertilizer dosing, so it has been proposed to use dry matter accumulation to quantify the nutrient demand (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002). For this reason, practices such as fertilization and irrigation must be defined in relation to particular crop growth characteristics of the crop of interest (Fynn *et al.*, 1989; Enriquez-Reyes *et al.*, 2003).

esta razón, prácticas como la fertilización y el riego deben ser definidas en función de las características propias de crecimiento del cultivo de interés (Fynn *et al.*, 1989; Enriquez-Reyes *et al.*, 2003).

Aunado a lo anterior, los avances tecnológicos brindan técnicas novedosas como la simulación de cultivos bajo invernadero, principalmente en el tomate (Heuvelink y Marcelis, 1989; Marcelis *et al.*, 1989; Heuvelink, 1995; Heuvelink y Buiskool, 1995; Heuvelink, 1996; Heuvelink, 1999; Marcelis y Heuvelink, 1999; de Gelder *et al.*, 2005; Marcelis *et al.*, 2009). La simulación de cultivos trata de imitar el crecimiento de los cultivos mediante ecuaciones matemáticas; para estos modelos de simulación es de vital importancia conocer a fondo el crecimiento y distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta.

En este sentido y debido a la importancia económica del cultivo de tomate en México, el objetivo del presente estudio fue realizar un análisis de crecimiento bajo condiciones de invernadero, el cual nos permita entender de mejor manera el comportamiento de este cultivo para determinar un manejo eficiente de los recursos tanto de agua como fertilizantes, así como proveer de información para la generación de modelos de crecimiento.

Materiales y métodos

Desarrollo del cultivo de tomate

Se estableció un experimento con plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con el fin de conocer la dinámica de crecimiento del cultivo bajo condiciones de invernadero en la región norte de México. Para ello se realizaron dos repeticiones del cultivo durante los años 2011 y 2012, del 3 julio al 30 de octubre y del 6 de mayo al 23 de septiembre respectivamente. La semilla utilizada fue el híbrido "Caimán" de hábito de crecimiento indeterminado y de tipo bola. El invernadero en el que se estableció el experimento es de tipo capilla con cubierta de policarbonato, además de contar con un sistema automático para el control de las temperaturas en su interior.

Las plantas fueron establecidas en macetas plásticas de 19 L y con una densidad de 3 plantas m⁻²; se usó un sistema de cultivo sin suelo utilizando como sustrato una mezcla

Added to this, technological advances provide new techniques such as crop simulation under greenhouse, mainly in tomato (Heuvelink and Marcelis, 1989; Marcelis *et al.*, 1989; Heuvelink, 1995; Heuvelink and Buiskool, 1995; Heuvelink, 1996; Heuvelink, 1999; Marcelis and Heuvelink, 1999; de Gelder *et al.*, 2005; Marcelis *et al.*, 2009). Crop simulation tries to imitate crop growth through mathematical equations; for these simulation models is vital to know growth and dry matter partitioning between the different plant organs.

In this sense and due to the economic importance of tomato crop in Mexico, the objective of this study was to conduct a growth analysis under greenhouse conditions, which allows us to better understand the behavior of this crop to determine an efficient management of resources, both water and fertilizer, as well as to provide information to generate growth models.

Materials and methods

Development of tomato crop

An experiment with tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) was established in order to understand the dynamics of crop growth under greenhouse conditions in the northern region of Mexico. Two replication of the culture were conducted during 2011 and 2012, from July 3 to October 30 and from May 6 to September 23 respectively. The seed used was "Caiman" hybrid tomato of indeterminate growth and ball type. The greenhouse in which the experiment was established is Quonset with polycarbonate cover; it also counts with an automatic system to monitor temperatures inside.

The plants were established in 19 L plastic pots with a density of 3 plants m⁻²; a culture system without soil was used, using as substrate a mixture of perlite and *peat moss* in a ratio 1: 1. A sprinkler and drip stake irrigation system were used for each pot. Also automatic timers were installed to perform four irrigations per day at different times (8:00, 12:00, 16:00 and 20:00 h). The amount of water applied was different for each phenological stage, applying close to 2.4 L per plant per day in the stages with higher consumption. Crop nutrition was supplied with Steiner solution (Steiner, 1961) and managing different concentrations according to the phenological stage. The culture was managed to a stalk, and trying to keep five

de perlita y *peat moss* en proporción 1:1. Se utilizó un sistema de riego dirigido con microtubín y goteros tipo estaca de alto flujo para cada maceta. Además se instalaron temporizadores automáticos para realizar cuatro riegos por día a diferentes horarios (8:00, 12:00, 16:00 y 20:00 h). La cantidad de riego aplicada fue diferente para cada etapa fenológica aplicando alrededor de 2.4 L por planta por día en las etapas de mayor consumo. La nutrición del cultivo se dio con la aplicación de solución Steiner (Steiner, 1961) y manejando diferentes concentraciones de acuerdo a la etapa fenológica. El cultivo se trabajó a un tallo, y buscando que los racimos en la medida de lo posible fueran de cinco frutos, por lo que en la mayor parte del tiempo se realizaron aclareos de fruto. Las plantas se limitaron en su crecimiento eliminando la parte apical a las 13 semanas después del trasplante (SDT) alcanzando un promedio de 10 racimos por planta y una altura aproximada de 3.5 m.

Para determinar el crecimiento del cultivo se realizaron muestreos destructivos semanales de cuatro plantas de tomate; éstas se separaron en hojas, tallo y frutos y se obtuvieron sus pesos frescos. Después de secar en horno de secado a 80 °C durante 4 días se obtuvo el peso seco de las diferentes partes de la planta. Asimismo, se cuantificó el total de poda realizada a cada planta y el total de frutos cosechados, de los que se obtuvo también peso fresco y seco. Con estos datos se determinó a su vez el peso de la parte aérea que considera la suma de hojas, tallo y frutos tanto del peso fresco como del peso seco. También se obtuvo la biomasa acumulada total que considera la suma de la parte aérea más la hoja podada y el fruto cosechado, tanto de peso fresco como de peso seco. La suma de fruto en la planta más el fruto cosechado fue otra variable que se obtuvo para peso el fresco y seco.

Análisis estadísticos

El diseño del experimento fue completamente al azar y la obtención de las muestras fue de manera aleatoria. Para determinar el grado de correlación existente entre los diferentes órganos de la planta evaluados, se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson. Para dicho proceso se utilizó el complemento EZAnalyze® para Excel. Con esto se obtuvieron matrices de correlación entre las diferentes variables evaluadas, así como la correlación existente entre el peso fresco y seco de los diferentes órganos de la planta. Finalmente, para determinar las tendencias de crecimiento a lo largo de ambos ciclos de cultivo, se realizaron análisis

fruits on each bunch, so most part of the time fruit thinning was performed. Plants were limited in their growth by removing the apical part at 13 weeks after transplantation (SDT) averaging 10 bunches per plant and an approximate height of 3.5 m.

To determine crop growth, weekly destructive samplings from four tomato plants were performed; these were separated into leaves, stems and fruits and their fresh weight was obtained; after drying at 80 °C for 4 days on an oven, the dry weight from the different parts of the plant was obtained. Also, total pruning performed at each plant and total harvested fruit was quantified, from which fresh and dry weight was also obtained. With these data was determined the weight of the aerial part which considers the sum of leaves, stems and fruits of both fresh and dry weight. Total cumulative biomass was obtained which considers the sum of the aerial part plus leaf pruned and the fruit harvested, both fresh and dry weight. The sum of fruit on the plant plus fruit harvested was another variable that was obtained for fresh and dry weight.

Statistical analysis

The experimental design was randomized complete and sampling was made randomly. To determine the degree of correlation between different plant organs evaluated, Pearson correlation coefficient was obtained; the Plug EZAnalyze® for Excel was used for this process. With this were obtained the correlation matrices between different variables evaluated, thus the correlation between fresh and dry weight of the different plant organs. Finally, to determine growth trends over the two crop cycles, simple regression analysis were performed and to verify the fitting of the same, the coefficient of determination (R^2) was used, this process was conducted with the plug Regress © for Excel.

Results and discussion

After completing the experimental processes, growth curves of different organs of tomato plants were generated. Figures 1 and 2 show the curves corresponding to 2011 cycle for fresh and dry weight respectively while the curves for 2012 cycle are shown in Figures 3 and 4. These curves show the behavior of tomato crop with regard to time, so it can be used in the planning for crop management (Casierra-Posada, 2007). In Figures 1 and 2 can be seen that growth trends in fresh and dry weight are very similar, corroborating the previous in 2012 cycle (Figures 3 and 4).

de regresión simple y para verificar el ajuste de los mismos se usó el coeficiente de determinación (R^2), este proceso se realizó en el complemento Regress[®] para Excel.

Resultados y discusión

Después de concluir los procesos experimentales se generaron curvas de crecimiento de los diferentes órganos de las plantas de tomate. En las Figuras 1 y 2 se presentan las curvas correspondientes al ciclo 2011 para los pesos frescos y secos respectivamente, mientras que las curvas correspondientes al ciclo 2012 se muestran en las Figuras 3 y 4. Dichas curvas muestran el comportamiento del cultivo de tomate con respecto al tiempo por lo que se pueden utilizar en la planeación de las labores culturales (Casierra-Posada, 2007). En las Figuras 1 y 2 puede observarse que las tendencias de crecimiento tanto en peso fresco como seco son muy similares, corroborándose lo anterior en el ciclo 2012 (Figuras 3 y 4).

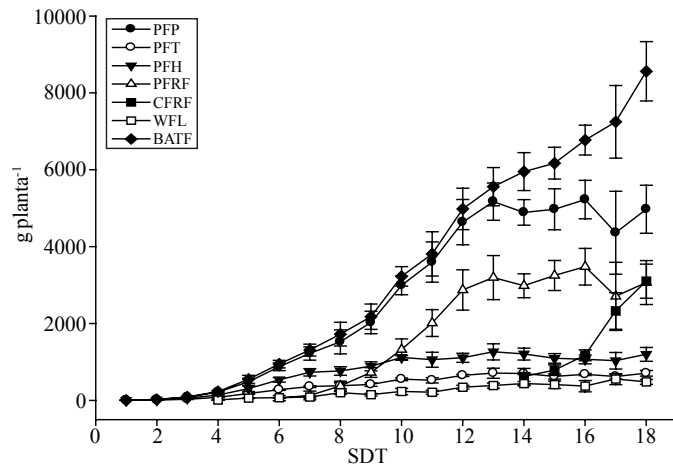


Figura 1. Curvas de crecimiento obtenidas con los pesos frescos de los diferentes órganos de la planta de tomate correspondientes al ciclo 2011. PFP= peso fresco de parte aérea; PFT= peso fresco de tallo; PFH= peso fresco de hojas. PFRF= peso fresco de fruto; CFRF= peso fresco de fruto cosechado; WFL= peso fresco de hoja podada; BATF= peso fresco de biomasa acumulada total.

Figure 1. Growth curves obtained with the fresh weights of the different organs from tomato plant for 2011 cycle. PFP= fresh weight of aerial part; PFT= fresh weight of stem; PFH= fresh weight of leaves. PFRF= fresh weight of fruit; CFRF= fresh weight of harvested fruit; WFL= fresh weight of leaf pruned; BATF= fresh weight of total cumulative biomass.

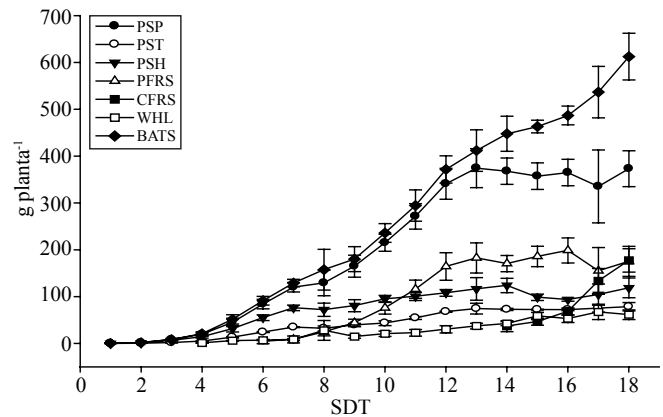


Figura 2. Curvas de crecimiento obtenidas con los pesos secos de los diferentes órganos de la planta de tomate correspondientes al ciclo 2011. PSP= peso seco de parte aérea; PST= peso seco de tallo; PSH= peso seco de hojas; PFRS= peso seco de fruto; CFRS= peso seco de fruto cosechado; WHL= peso seco de hoja podada; BATS= peso seco de biomasa acumulada total.

Figure 2. Growth curves obtained with the dry weights of the different organs from tomato plant for the 2011 cycle. PSP= dry weight of aerial part; PST= dry weight of stem; PSH= dry weight of leaves; PFRS= dry weight of fruit; CFRS= dry weight of harvested fruit; WHL= dry weight of leaf pruned; BATS= dry weight of total cumulative biomass.

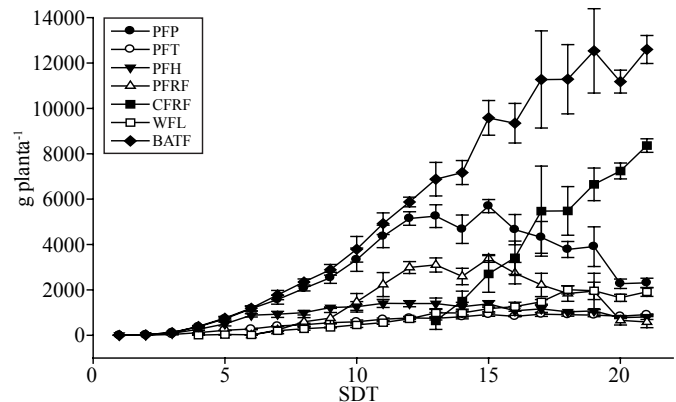


Figura 3. Curvas de crecimiento obtenidas con los pesos frescos de los diferentes órganos de la planta de tomate correspondientes al ciclo 2012. PFP= peso fresco de parte aérea; PFT= peso fresco de tallo; PFH= peso fresco de hojas; PFRF= peso fresco de fruto; CFRF= peso fresco de fruto cosechado; WFL= peso fresco de hoja podada; BATF= peso fresco de biomasa acumulada total.

Figure 3. Growth curves obtained with the fresh weights of the different organs from tomato plant for the 2012 cycle. PFP= fresh weight of aerial part; PFT= fresh weight of stem; PFH= fresh weight of leaves; PFRF= fresh weight of fruit; CFRF= fresh weight of harvested fruit; WFL= fresh weight of leaf pruned; BATF= fresh weight of total cumulative biomass.

Por otra parte, en el Cuadro 1 se presentan las correlaciones obtenidas entre los pesos frescos y secos de los diferentes órganos de la planta, además se muestran las ecuaciones de regresión generadas y su correspondiente R^2 . La similitud mostrada entre las curvas de crecimiento en peso fresco y seco, se debe a que el peso fresco está directamente correlacionado con el peso seco (Heuvelink y Marcelis, 1989), demostrándose esto con los coeficientes de correlación obtenidos entre los diferentes órganos de la planta, ya que todos fueron mayores a 0.97 (Pearson, $p \leq 0.01$) (Cuadro 1). Considerando estos resultados, es posible entonces estimar el peso seco a partir del peso fresco de cualquier parte de la planta de tomate con gran exactitud utilizando las ecuaciones de regresión generadas, ya que el R^2 para casi todos los casos fue mayor que 0.94, con excepción del correspondiente a hoja podada en 2011 ($R^2 = 0.8056$) pero en este caso puede emplearse la ecuación correspondiente al ciclo 2012 que fue significativamente mayor ($R^2 = 0.9813$) (Cuadro 1).

Tanto en el ciclo 2011 como en el 2012 se aprecian algunas tendencias de crecimiento presentadas en etapas específicas. En el Cuadro 2, se muestran las ecuaciones de regresión obtenidas mediante análisis de regresión junto con su correspondiente R^2 , además, se incluye el periodo de tiempo del que se tomaron los datos para realizar dicho análisis. En ambos ciclos se presenta un crecimiento exponencial en el tallo, hojas, parte aérea y BAT correspondiente a las primeras 4 SDT, esto sin importar si es peso fresco o seco. Esto se constata con las ecuaciones exponenciales obtenidas y sus correspondientes R^2 que para todos los casos fue mayor que 0.97 (Cuadro 2).

Cuadro 1. Correlación entre pesos frescos y secos de las diferentes partes de la planta de tomate.
Table 1. Correlation between fresh and dry weight from the different parts of tomato plant

	Pearson	Significancia	Ecuación de regresión	R^2
Parte aérea ¹	.995	≤ 0.01	$y = 0.0716x + 11.108$	0.9900
Peso de tallo ¹	.979	≤ 0.01	$y = 0.1103x - 3.3336$	0.9587
Peso de hoja ¹	.988	≤ 0.01	$y = 0.0911x + 3.0564$	0.9764
Peso de fruto ¹	1.000	≤ 0.01	$y = 0.0565x + 2.2191$	0.9996
Hoja podada ¹	.898	≤ 0.01	$y = 0.1161x - 0.066$	0.8056
Parte aérea ²	.984	≤ 0.01	$y = 0.0693x + 18.466$	0.9679
Peso de tallo ²	.985	≤ 0.01	$y = 0.0989x - 4.164$	0.9697
Peso de hoja ²	.973	≤ 0.01	$y = 0.0877x + 5.0599$	0.9471
Peso de fruto ²	.989	≤ 0.01	$y = 0.055x + 3.7822$	0.9786
Hoja podada ²	.991	≤ 0.01	$y = 0.07x + 4.232$	0.9813

¹Corresponde al año 2011. ²Corresponde al año 2012. El término x representa el peso fresco en la ecuación de regresión.

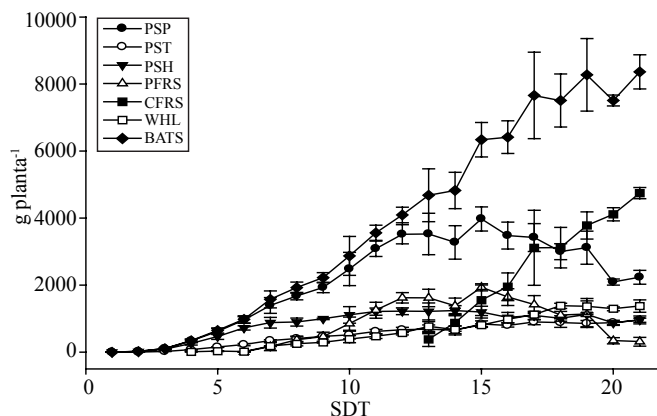


Figura 4. Curvas de crecimiento obtenidas con los pesos secos de los diferentes órganos de la planta de tomate correspondientes al ciclo 2012. PSP= peso seco de parte aérea; PST= peso seco de tallo; PSH= peso seco de hojas; PFRS= peso seco de fruto; CFRS= peso seco de fruto cosechado; WHL= peso seco de hoja podada; BATS= peso seco de biomasa acumulada total.

Figure 4. Growth curves obtained with the dry weights of the different organs from tomato plant for 2012 cycle. PSP= dry weight of aerial part; PST= dry weight of stem; PSH= dry weight of leaves; PFRS= dry weight of fruit; CFRS= dry weight of harvested fruit; WHL= dry weight of leaf pruned; BATS= dry weight of total cumulative biomass.

Moreover, Table 1 shows the correlations between fresh and dry weights of the different organs of the plant, along regression equations generated and its corresponding R^2 . The similarity shown between growth curves in fresh and dry

Cuadro 2. Tendencias de crecimiento en base a peso fresco y ecuaciones de regresión para los diferentes órganos de la planta de tomate.

Table 2. Growth Trends based on fresh weight and regression equations for the different organs of the tomato plant.

	Periodo considerado (SDT)	Ecuación de regresión	R ²
Parte aérea ¹	1-4	$y = 1.6238e^{1.262x}$	0.9766
	5-13	$y = 604.1x - 2932.2$	0.9306
Peso de tallo ¹	1-4	$y = 0.5547e^{1.2667x}$	0.9780
	5-13	$y = 62.35x - 110.73$	0.8685
Peso de hoja ¹	1-4	$y = 1.0686e^{1.2594x}$	0.9750
	5-13	$y = 109.38x - 119.59$	0.8134
Peso de fruto ¹	5-13	$y = 490.23x - 3319.2$	0.8925
Hoja podada ¹	4-18	$y = 37.054x - 139.28$	0.8148
Fruto cosechado ¹	14-18	$y = 620.98x - 8391$	0.8008
BATF ¹	1-4	$y = 1.5839e^{1.2776x}$	0.9786
	5-13	$y = 644.09x - 3097.9$	0.9342
Parte aérea ²	5-18	$y = 611.27x - 2833$	0.9557
	1-4	$y = 1.0373e^{1.5216x}$	0.9767
Peso de tallo ²	5-13	$y = 614.29x - 2620.3$	0.9452
	15-21	$y = -542.5x + 13598$	0.7864
Peso de hoja ²	1-4	$y = 0.3399e^{1.4905x}$	0.9813
	5-13	$y = 71.231x - 112.69$	0.9020
Peso de fruto ²	1-4	$y = 0.6913e^{1.5374x}$	0.9717
	5-13	$y = 105.84x + 159.38$	0.7248
	14-21	$y = -75.386x + 2391$	0.5806
	6-13	$y = 488.74x - 3216.4$	0.9099
Hoja podada ²	14-21	$y = -361.33x + 8305.1$	0.7017
	4-21	$y = 127.98x - 705.72$	0.9160
Fruto cosechado ²	13-21	$y = 966.94x - 11807$	0.9035
BATF ²	1-4	$y = 1.5839e^{1.2776x}$	0.9786
	5-13	$y = 644.09x - 3097.9$	0.9342
	5-21	$y = 611.27x - 2833$	0.9557

¹Corresponde al año 2011. ²Corresponde al año 2012. El término x representa el tiempo en la ecuación de regresión. BATF= peso fresco de biomasa acumulada total.

Asimismo, se observó que entre las semanas 5-13 el crecimiento cambia su comportamiento y se vuelve lineal para todos los órganos de la planta incluso en el fruto, parte aérea y BAT (Cuadro 2). Este comportamiento concuerda con el reportado por Enriquez-Reyes *et al.* (2003), al mencionar que el tomate de crecimiento indeterminado presenta dos etapas bien definidas, a las que denominan una de crecimiento juvenil y la otra de reproducción. También considerando sólo la BAT, la tendencia es similar a los resultados presentados en otros estudios (Heuvelink, 1995; Heuvelink y Buiskool, 1995; Heuvelink, 1999; Xiao *et al.*, 2004; de Gelder *et al.*, 2005; Marcelis *et al.*, 2009). Aunque las ecuaciones de regresión obtenidas mostraron valores del R² más bajos que en el crecimiento exponencial, sólo el de las hojas del ciclo 2012 mostró un R²= 0.7248 mientras que el resto de los órganos presentó valores superiores a 0.80 (Cuadro 2). Este hecho puede explicarse debido a que constantemente se realizó poda de hojas lo que generó variabilidad en los datos de esta variable en particular, tal como lo indica Heuvelink (1999).

weight, is because the fresh weight is directly correlated with dry weight (Heuvelink and Marcelis, 1989), demonstrating this with the correlation coefficients obtained between the different plant organs, since all were greater than 0.97 (Pearson, $p \leq 0.01$) (Table 1). Considering these results, it is then possible to estimate the dry weight from the fresh weight of any part of the tomato plant with high accuracy using regression equations generated, since R² for most all cases was higher than 0.94, except those corresponding to leaf pruned from 2011 (R²= 0.8056) but in this case the equation corresponding to 2012 cycle can be used, since it was significantly higher (R²= 0.9813) (Table 1).

Both in 2011 and 2012 cycle can be seen some growth trends present at specific stages. Table 2 shows the regression equations obtained by regression analysis along with its corresponding R²; also the time period from which the data were taken to perform the analysis is included. Both cycles present an exponential growth in stem, leaves, shoot and

Debido a que en el ciclo 2011 el cultivo del tomate se trabajó sólo por 18 SDT, solamente en el ciclo 2012 fue posible determinar una tendencia clara posterior a la semana 14 después del trasplante, ya que en este ciclo se trabajó 21 SDT. En dicho ciclo, la parte aérea, hojas y frutos mostraron una tendencia lineal decreciente entre las semanas 15-21, aunque los R^2 estuvieron entre 0.58 y 0.78 (Cuadro 2) esto fue debido posiblemente a la gran variabilidad de los datos. En las Figuras 3 y 4 se puede apreciar el comportamiento decreciente antes mencionado, éste se debió a que la planta se limitó en su crecimiento en la semana 13 después del trasplante, y a que la poda de hojas y cosecha de frutos se mantuvieron hasta el final del cultivo.

A diferencia de lo anterior, la BAT se mantuvo con una tendencia de crecimiento lineal desde la 5^a SDT hasta el final del cultivo para ambos ciclos, esto se confirma ya que el R^2 para ambos casos fue mayor que 0.95 (Cuadro 2). Esta tendencia es importante ya que a diferencia de otros estudios en los que se presenta solo el crecimiento lineal de tomate (Heuvelink, 1995; Heuvelink y Buiskool, 1995; Heuvelink, 1999; Xiao *et al.*, 2004; de Gelder *et al.*, 2005; Marcelis *et al.*, 2009), el conocer el comportamiento de este cultivo después de que se limita su crecimiento es útil para determinar de mejor manera el manejo tanto cultural como la aplicación de riego y nutrientes en esa etapa específica. Además, es posible estimar de manera más adecuada el tiempo de cosecha esperado cuando se trabaja el cultivo de tomate en ciclos cortos con el objetivo de concentrar la producción en periodos de demanda específicos tal y como lo resaltan Flores *et al.* (2007).

En los Cuadros 3 y 4, se presentan las matrices de correlación obtenidas para las diferentes variables evaluadas. En éstas, se detalla el grado de correlación, el ciclo de cultivo al que corresponde (2011 ó 2012) y adicionalmente se muestra el número de SDT (13 ó 18) empleado para realizar dicho análisis. En el Cuadro 5 se muestra la correlación obtenida 21 SDT y correspondiente solamente a los datos del ciclo 2012 debido a las fechas en que se trabajó dicho cultivo como ya se explicó anteriormente. En el Cuadro 3, se puede observar que sólo la variable fruto fresco cosechado no presenta alguna correlación clara con el resto, todas las demás presentan correlación altamente significativa (Pearson, $p \leq 0.01$). Esto se puede atribuir a las fechas en que se inicia la cosecha ya que en 2011 comenzó en la 14^{va} SDT mientras que en 2012 inició en la 13^{va} SDT y las correlaciones mostradas abarcan sólo hasta la semana 18.

BAT corresponding to the first 4 SDT, regardless if it is fresh or dry weight. This is shown with the obtained exponential equations and its corresponding R^2 that for all cases was greater than 0.97 (Table 2).

It was also noted that between week 5 to 13, growth changed its behavior and became linear for all plant organs, even in fruit, shoot and BAT (Table 2). This behavior is consistent with that reported by Enriquez-Reyes *et al.* (2003), by mentioning that tomato of indeterminate growth has two well defined stages, which are called juvenile growth and reproduction. Also considering only BAT, the trend is similar to those reported in other studies (Heuvelink, 1995; Heuvelink and Buiskool, 1995; Heuvelink, 1999; Xiao *et al.*, 2004; de Gelder *et al.*, 2005; Marcelis *et al.*, 2009). Although the regression equations showed R^2 values lower than in the exponential growth, only leaves from 2012 cycle showed an $R^2=0.7248$ while the rest of the organs showed values higher than 0.80 (Table 2). This fact can be explained due to constant pruning of leaves, which generated variability in the data of this particular variable, as indicated by Heuvelink (1999).

Because in 2011 the tomato crop was worked only 18 SDT, only in 2012 was possible to identify a clear trend after the 14th week after transplantation, since in this cycle was worked 21 SDT. In this cycle the aerial part, leaves and fruits showed a decreasing linear trend between weeks 15 to 21; although R^2 was between 0.58 and 0.78 (Table 2) this was possibly due to the high variability of the data. In Figures 3 and 4 can be see the decreasing trend mentioned before, this was due to the plant was limited in its growth at week 13 after transplantation and to pruning of leaves and fruit harvest remained until the crop ended.

Unlike the above, BAT maintained a linear growth trend from the 5th SDT until the end of the crop for the two cycles, this is confirmed as R^2 for both cases was greater than 0.95 (Table 2). This trend is important because unlike other studies that present only linear growth of tomato (Heuvelink, 1995; Heuvelink and Buiskool, 1995; Heuvelink, 1999; Xiao *et al.*, 2004; De Gelder *et al.*, 2005; Marcelis *et al.*, 2009), knowing the behavior of the crop after its growth is limited, is useful to better determine crop management, irrigation and nutrients application in that specific stage. Furthermore, it is possible to estimate more adequately the harvest time when the tomato crop is worked during short cycles in order to concentrate production in specific periods of demand as mentioned by Flores *et al.* (2007).

Cuadro 3. Matriz de correlaciones entre las diferentes variables de crecimiento evaluadas correspondientes a los pesos frescos del cultivo de tomate.

Table 3. Correlations matrix between different growth variables evaluated corresponding to fresh weights of tomato crop.

		PFP		PFT		PFH		PFRF		CFRF		FR+CF		WFL		BATF	
		11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12
PFP	13	1	1														
	18	1	1														
PFT	13	.942	.963	1	1												
	18	.942	.944	1	1												
PFH	13	.911	.898	.985	.964	1	1										
	18	.867	.884	.955	.876	1	1										
PFRF	13	.989	.988	.869	.908	.779	.708	1	1								
	18	.974	.989	.784	.814	.485	.606	1	1								
CFRF	13	-	.379	-	.236	-	-.317	-	.804								
	18	-.123	-.476	-.003	.622	-.031	-.468	-.090	-.529	1	1						
FR+CF	13	-	.970	-	.881	-	.676	-	.987	-	.958						
	18	.887	.688	.752	.883	.470	.180	.899	.686	.806	.954	1	1				
WFL	13	.896	.930	.906	.891	.853	.816	.814	.876	-	-.714	-	.880	1	1		
	18	.813	.715	.842	.869	.734	.458	.672	.601	.297	.712	.765	.908	1	1		
BATF	13	1.000	.995	.946	.948	.914	.879	.986	.981	-	.580	-	.983	.910	.953	1	1
	18	.961	.858	.906	.926	.822	.675	.899	.722	.877	.945	.983	.993	.875	.949	1	1

11 y 12 corresponden a los ciclos de cultivo de tomate (ciclos 2011 y 2012 respectivamente). 13 y 18 corresponden a número de semanas utilizadas para realizar las correlaciones. Los coeficientes de correlación altamente significativos se muestran en negrita (Pearson, $p \leq 0.01$). - correlación no disponible. PFP= peso fresco de parte aérea; PFT= peso fresco de tallo; PFH= peso fresco de hojas; PFRF= peso fresco de fruto; CFRF= peso fresco de fruto cosechado; FR+CF= peso fresco de fruto más fruto cosechado; WFL= peso fresco de hoja podada; BATF= peso fresco de biomasa acumulada total.

Cuadro 4. Matriz de correlaciones entre las diferentes variables de crecimiento evaluadas correspondientes a los pesos secos del cultivo de tomate.

Table 4. Correlation matrix between different growth variables evaluated corresponding to dry weights of tomato crop.

		PSP		PST		PSH		PFRS		CFRS		FR+CS		WHL		BATS	
		11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12
PSP	13	1	1														
	18	1	1														
PST	13	.984	.986	1	1												
	18	.977	.961	1	1												
PSH	13	.935	.936	.970	.960	1	1										
	18	.909	.921	.951	.880	1	1										
PFRS	13	.984	.978	.931	.918	.803	.758	1	1								
	18	.948	.975	.812	.817	.515	.675	1	1								
CFRS	13	-	.192	-	.108	-	-.135	-	.524								
	18	.004	-.180	.151	.612	.068	-.348	-.090	-.345	1	1						
FR+CS	13	-	.956	-	.895	-	.723	-	.984	-	.842						
	18	.886	.743	.825	.888	.527	.350	.898	.721	.806	.960	1	1				
WHL	13	.768	.943	.790	.922	.748	.838	.625	.899	-	-.447	-	.906	1	1		
	18	.787	.802	.854	.914	.691	.589	.626	.688	.349	.788	.770	.930	1	1		
BATS	13	.998	.995	.985	.977	.937	.916	.977	.973	-	.336	-	.974	.810	.967	1	1
	18	.970	.902	.963	.957	.870	.756	.876	.771	.874	.934	.967	.988	.885	.966	1	1

11 y 12 corresponden a los ciclos de cultivo de tomate (ciclos 2011 y 2012 respectivamente). 13 y 18 corresponden a número de semanas utilizadas para realizar las correlaciones. Los coeficientes de correlación altamente significativos se muestran en negrita (Pearson, $p \leq 0.01$). - correlación no disponible; PSP= peso seco de parte aérea; PST= peso seco de tallo; PSH= peso seco de hojas; PFRS= peso seco de fruto; CFRS= peso seco de fruto cosechado; FR+CS= peso seco de fruto más fruto cosechado; WHL= peso seco de hoja podada; BATS= peso seco de biomasa acumulada total.

Cuadro 5. Matriz de correlaciones entre las diferentes variables de crecimiento evaluadas durante el ciclo 2012 correspondientes a los pesos secos y frescos del cultivo de tomate considerando 21 semanas.

Table 5. Correlation matrix between different growth variables evaluated during the 2012 cycle corresponding to dry and fresh weights of the tomato crop, considering 21 weeks.

PSP	PST	PSH	PFRS	CFRS	FR+CS	WHL	BATS	PFP	PFT	PFH	PFRF	CFRF	FR+CF	WFL	BATF		
PSP	1							PFP	1								
PST	.888	1						PFT	.866	1							
PSH	.919	.830	1					PFH	.880	.800	1						
PFRS	.957	.500	.681	1				PFRF	.989	.602	.652	1					
CFRS	-.599	.645	-.502	-.710	1			CFRF	-.739	.471	-.710	-.756	1				
FR+CS	.503	.900	.169	.347	.939	1		FR+CF	.356	.867	-.175	.330	.944	1			
WHL	.629	.917	.469	.312	.851	.953	1	WFL	.493	.861	.222	.287	.786	.940	1		
BATS	.793	.956	.689	.405	.914	.991	.975	1	BATF	.696	.914	.534	.385	.918	.995	.965	1

Los coeficientes de correlación altamente significativos se muestran en negrita (Pearson, $p \leq 0.01$). – Correlación no disponible; PSP= peso seco de parte aérea. PST= peso seco de tallo; PSH= peso seco de hojas. PFRS: Peso seco de fruto; CFRS= peso seco de fruto cosechado; FR+CS= peso seco de fruto más fruto cosechado; WHL= peso seco de hoja podada; BATS= peso seco de biomasa acumulada total; PFP= peso fresco de parte aérea; PFT= peso fresco de tallo; PFH= peso fresco de hojas; PFRF= peso fresco de fruto; CFRF= peso fresco de fruto cosechado; FR+CF= peso fresco de fruto más fruto cosechado; WFL= peso fresco de hoja podada; BATF= peso fresco de biomasa acumulada total.

Cuando se consideró mayor tiempo de evaluación lo anterior cambió, ya que a las 21 SDT el fruto fresco cosechado mostró correlaciones altamente significativas (Pearson, $p \leq 0.01$), siendo positivas con respecto al peso fresco de tallo y negativas con respecto a la peso fresco de la parte aérea, peso fresco de hojas y al peso fresco del fruto en la planta (Cuadro 5). En el Cuadro 4 correspondiente a los pesos secos se observa prácticamente lo mismo que en el Cuadro 3, lo cual se esperaba debido a la alta correlación existente entre el peso fresco y seco (Cuadro 1) (Heuvelink y Marcelis, 1989).

Considerando lo mostrado en los Cuadros 3, 4 y 5, se puede afirmar que existe una distribución estable de la biomasa total generada entre los diferentes órganos de la planta en la etapa de crecimiento exponencial y en la de crecimiento lineal la cual puede variar principalmente por efecto de la temperatura (Heuvelink y Marcelis, 1989; Heuvelink, 1999; Enriquez-Reyes *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004). Aunque es importante recalcar que la proporción de biomasa distribuida cambia de acuerdo con la etapa fenológica (Marcelis *et al.*, 1989), lo cual se entiende ya que la aparición de frutos se da hasta después de la 4^{ta} SDT (Figuras 1-4). Dicha distribución se puede mantener siempre y cuando se mantenga en crecimiento la planta, ya que al momento en que se detiene el crecimiento cambia el comportamiento (Cuadro 2, Figuras 1-4) y por consecuencia la distribución de biomasa.

Tables 3 and 4, show the correlation matrices obtained for the different variables evaluated. In these, the degree of correlation is detailed, the corresponding cropping cycle (2011 or 2012) and the number of SDT (13 or 18) used to perform the analysis. Table 5 shows the correlation obtained for 21 SDT, data corresponding only to 2012 cycle, because the dates on which the crop is worked was already explained above. In Table 3, can be seen that only the variable for fresh fruit harvested do not show a clear correlation with the others, all others have highly significant correlations (Pearson, $p \leq 0.01$). This can be attributed to the dates on which the harvest begins, since in 2011 began in the 14th SDT while in 2012 began in the 13th SDT and the correlations shown cover only until week 18.

When considered a longer evaluation period the latter changed, since at 21 SDT the fresh fruit harvested showed highly significant correlations (Pearson, $p \leq 0.01$), being positive regarding to the fresh weight of stem and negative regarding to the fresh weight of the aerial part, fresh leaves and fresh weight of fruit in the plant (Table 5). Table 4 correspond to the dry weights and can be seen almost the same as in Table 3, which was expected due to the high correlation between fresh and dry weight (Table 1) (Heuvelink and Marcelis, 1989).

Considering the information shown on Tables 3, 4 and 5, it can be stated that there is a stable distribution of total biomass generated between the different organs of the plant at the exponential growth and linear growth stage, which can vary

Conclusiones

En éste trabajo se presentó un análisis de crecimiento de tomate en invernadero en el que se generaron las curvas de crecimiento de los diferentes órganos de la planta. El cultivo de tomate presentó dos etapas de crecimiento bien definidas, una exponencial en las primeras cuatro semanas después del trasplante y la otra lineal a partir de la cuarta semana. Adicionalmente, cuando se detiene el crecimiento del cultivo se presenta una etapa más con tendencia decreciente en frutos y hojas.

Se demostró que existe una fuerte correlación entre los pesos frescos y secos de los diferentes órganos de la planta. Además se encontró también correlación entre los diferentes órganos de la planta en las etapas de crecimiento exponencial y lineal.

La información presentada aquí puede ser útil en la planeación de los requerimientos de agua y nutrientes a lo largo de un ciclo de cultivo. También se puede utilizar para definir épocas de producción para aprovechar los mejores precios del mercado. Además, se puede aplicar en áreas poco exploradas como la modelación y simulación de tomate cultivado en invernadero.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento Forestal de la UAAAN, por facilitar el espacio necesario para la realización de este trabajo.

Literatura citada

- Bugarín-Montoya, R.; Galvis-Spinola, A.; Sánchez-García, P. and García-Paredes, D. 2002. Daily accumulation of aboveground dry matter and potassium in tomato. *Terra Latinoamericana*. 20(4):401-409.
- Casierra-Posada, F.; Cardozo, M. C. and Cárdenas-Hernández, J. F. 2007. Growth analysis of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivated in greenhouse. *Agron. Colombiana*. 25(2):299-305.
- De Gelder, A.; Heuvelink, E. and Opdam, J. J. G. 2005. Tomato yield in a closed greenhouse and comparison with simulated yields in closed and conventional greenhouses. *Acta Hort.* 691:549-552.

mainly by effect of temperature (Heuvelink and Marcelis 1989; Heuvelink, 1999; Enriquez-Reyes *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004). While it is important to note that the proportion of distributed biomass changes according to phenological stage (Marcelis *et al.*, 1989), which is normal as the appearance of fruit is given after the 4th SDT (Figures 1-4). This distribution can be maintained as long as the plant keeps growing, because at the moment growth stops, the behavior changes (Table 2, Figures 1-4) and consequently biomass distribution.

Conclusions

In this paper a growth analysis of tomato under greenhouse conditions, where growth curves of different plant organs were generated are presented. Tomato crop showed two well defined stages of growth, an exponential in the first four weeks after transplantation and other linear from the fourth week. Additionally, when crop growth stops, a stage with a decreasing trend in fruits and leaves occurs.

It was shown that there is a strong correlation between fresh and dry weight of different plant organs. Furthermore it was found a correlation between the different organs of the plant in the exponential and linear growth stages.

The information presented here may be useful in planning water and nutrients requirements throughout the growing season. It can also be used to define periods of production to take advantage of the best prices in the market. Furthermore, it can be applied in unexplored areas like modeling and simulation of tomato grown under greenhouses.

End of the English version



- Enriquez-Reyes, S. A.; Alcántar- González, G.; Castellanos- Ramos, J. Z.; Suárez, E. A.; González-Eguiarte D. and Lazcano-Ferrat, I. 2003. NUMAC-N tomato: mineral nutrition fit at growth. The nitrogen nutrition in tomato greenhouse production. 1. Model description and parameters adjust. *Terra Latinoamericana*. 21(2):167-175.
- Flores, J.; Ojeda-Bustamante, W.; López, I.; Rojano, A. and Salazar, I. 2007. Water requirements for greenhouse tomato. *Terra latinoamericana*. 25(2):127-134.
- Fynn, R. P.; Roller, W. L. and Keener, H. M. 1989. A decision model for nutrition management in controlled environment agriculture. *Agric. Systems*. 31:35-53.
- Heuvelink, E. 1995. Dry matter production in a tomato crop: measurements and simulation. *Ann. Bot.* 75:369-379.

- Heuvelink, E. 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of a dynamic simulation model. *Ann. Bot.* 77:71-80.
- Heuvelink, E. 1999. Evaluation of a dynamic simulation model for tomato crop growth and development. *Ann. Bot.* 83:413-422.
- Heuvelink, E. and Marcelis, L. F. M. 1989. Dry matter distribution in tomato and cucumber. *Acta Hortic.* 260:149-157.
- Heuvelink, E. and Buischool, R. P. M. 1995. Influence of sink-source interaction on dry matter production in tomato. *Ann. Bot.* 75:381-389.
- Marcelis, L. F. M. and E. Heuvelink, E. 1999. Modelling fruit set, fruit growth and dry matter partitioning. *Acta Hortic.* 499:39-49.
- Marcelis, L. F. M.; Heuvelink, E. and de Koning, A. N. M. 1989. Dynamic simulation of dry matter distribution in greenhouse crops. *Acta Hortic.* 248:269-276.
- Marcelis, L. F. M.; Elings, A.; de Visser, P. H. B. and Heuvelink, E. 2009. Simulating growth and development of tomato crop. *Acta Hortic.* 821:101-110.
- MÉXICOPRODUCE. 2012. Productos: jitomate. <http://www.mexicoproduce.mx/productos.html#jitomate>.
- Ocaña-Romo, C. R. 2008. En crecimiento. Desarrollo de invernaderos en México. www.hortalizas.com.
- Perea, 2009. Invernaderos y riego. Aun con crisis seguirá creciendo superficie de invernadero. La imagen agropecuaria. www.imagenagropecuaria.com.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación). 2012. Agricultura protegida 2012. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/paginas/agricultura-protegida2012.aspx>.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15:134-154.
- Xiao, S.; van der Ploeg, A.; Bakker, M. and Heuvelink, E. 2004. Two instead of three leaves between tomato trusses: Measured and simulated effects on partitioning and yield. *Acta Hortic.* 654:303-308.