

Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura

Phenological behavior of three red rose varieties according to temperature accumulation

Wbeymar E. Rodríguez¹ y Víctor J. Flórez²

Resumen: Un modelo fenológico permite predecir el tiempo en que ocurrirá un evento en el desarrollo de un organismo, y el calor acumulado en este proceso se conoce como tiempo fisiológico o grados-día de crecimiento. El estudio fue realizado en una finca de producción de flores, ubicada en el municipio de Suesca (Cundinamarca), con el objetivo de evaluar el comportamiento fenológico de las variedades de rosas 'Madame Delbard', 'Charlotte' y 'Freedom', como respuesta a la acumulación de grados-día. Para esto, a los estadios fenológicos denominados 'arroz', 'garbanzo', 'mostrando color' y 'cosecha' se les hizo un seguimiento desde el momento de la poda. Para la primera cosecha de la variedad 'Madame Delbard', se obtuvo una acumulación total de 1085,3 grados-día y el pico de cosecha se presentó a los 86 d y 904,4 grados-día. La variedad 'Charlotte' tuvo sus primeras flores a los 49 d, finalizando la cosecha a los 87 d y con 906,3 grados-día. El pico de cosecha se dio a los 69 d y 718,5 grados-día. En el caso de la variedad 'Freedom', se necesitaron 50 d después de poda para cortar las primeras flores, a los 80 d y 779,9 grados-día se acentuó la cosecha, finalizando a los 93 d y 892,9 grados-día. Las curvas de producción obtenidas de las tres variedades presentaron un modelo cuadrático, definido por el modelo de regresión de Poisson, excepto para la curva de la 'Freedom', que se comportó como un modelo lineal.

Palabras claves adicionales: predicción de cosecha, desarrollo fenológico, grados-día

Abstract: A phenological model allows predicting the time in that an event occurs during the organism development; the heat accumulated in this process is known as physiological time or growing degree days. This work was undertaken in flower farm in Suesca (Cundinamarca) with the purpose to evaluate the phenological behavior of the reproductive phase of rose varieties 'Madame Delbard', 'Charlotte', and 'Freedom' as responding to the accumulation of degree-days. A monitoring starting from pruning up to phenological phases 'rice', 'chickpea', 'showing color', and 'harvest' was done. At the first harvest 'Madame Delbard' had a total accumulation of 1085.3 degrees-day, and the harvest peak was at day 86 after pruning and 904.4 degrees-day. The variety 'Charlotte' developed first flowers at day 49 and ended production at day 87 after pruning with 906.3 degrees-day accumulated; the harvest peak was at day 69 and 718.5 degrees-day. The variety 'Freedom' needed 50 days after pruning to produce its first flowers, the harvest was accentuated at day 80 and 779.9 degrees-day and ended at the day 93 and 892.9 degrees-day. The production curves of the three varieties were described using a quadratic model, definite for the Poisson regression model, except 'Freedom' harvest curve that behaved according to a lineal model.

Additional key words: harvest time prediction, phenological development, degree-days

Fecha de recepción: 18 de enero de 2006

Aceptado para publicación: 30 de noviembre de 2006

¹ Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: wbeymarrod@hotmail.com

² Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: jfllorezr@unal.edu.co

Introducción

EN COLOMBIA HAY 6.544 HA de cultivos bajo invernadero que producen más de 50 tipos de flor, como rosa, pompón, alstroemeria, clavel, *statice*, gerbera y tropicales, entre otras especies; un área pequeña, si se compara con otras actividades agropecuarias del país (Asocolflores, 2005).

Las rosas modernas (híbridos de té) por lo general son triploides o tetraploides, altamente vigorosas, presentan usualmente una flor única por tallo y cumplen con ciertas características como: tallo largo entre 50 y 90 cm, follaje verde brillante, flores de apertura lenta, colores vivos, buena conservación en florero, resistencia a plagas y enfermedades, altos rendimientos por metro cuadrado y la posibilidad de ser cultivadas a temperaturas no muy elevadas. Esto permite que sean utilizadas en programas extensivos de flor de corte bajo invernadero (Bastidas *et al.*, 2000).

Debido a las variaciones del clima, las fechas calendario no son una buena base para la toma de decisiones de manejo del cultivo de la rosa, por lo que se ha venido implementando en los cultivos de flores en Colombia el uso de curvas de crecimiento y de la técnica de grados-día, con el fin de predecir con más exactitud el desarrollo de los estadios fenológicos de las plantas y, en consecuencia, el momento del corte de la flor.

Con este trabajo no se refuta la definición o el cálculo de la técnica de grados-día, más bien se propone la evaluación de la producción de forma directa en campo. Su objetivo fue determinar el comportamiento fenológico de tallos florales de rosa (*Rosa spp.*), variedades 'Madame Delbard', 'Charlotte' y 'Freedom', como respuesta a la acumulación de temperatura (grados-día).

Manejo de las podas

Existen diferentes técnicas de poda, como por ejemplo la poda 'en verde' (plantas que no están en periodo reproductivo), cosecha 'en picos' y 'forzado'. La poda 'en verde' se practica sobre todo en los cultivos en suelo y, en particular, en aquellas variedades que son difíciles de calentar de forma continua. Con el sistema de cosecha 'en picos', las rosas se podan en el lugar donde se han cortado las flores y, en función de la rutina de manejo del cultivo, esta práctica se hace varias veces a la semana. El 'forzado' es un proceso en el que se poda primero y luego se suministra calor; lo anterior requiere fertilización y humedecimiento del suelo, inmediatamente

después de podar. En principio, se contempla la posibilidad de dar a las plantas un periodo de descanso antes de podar, entre cuatro y seis semanas, dependiendo de la variedad (Hoog, 2001).

La altura a la que se pode el tallo parece afectar el crecimiento del vástago formado a continuación. Al variar la altura de la poda, también varían la posición, la edad de la yema que ha de brotar y el número de hojas que queda sobre el tallo. Las diferencias en el tamaño final del tallo recién formado parecen deberse en gran parte a diferencias de asimilación, resultantes, a su vez, de las diferencias de masa foliar (Hoog, 2001).

Fenología de la rosa

La rosa es una planta perenne que forma tallos florales continuamente, con variaciones en cantidad y calidad, presentando diversos estadios de desarrollo que van, desde una yema axilar que brota siendo la base estructural de la planta y de la producción de flores, hasta un tallo listo para cosechar. Las yemas ubicadas en las hojas superiores de un tallo con frecuencia parecen ser más generativas, mientras que las yemas inferiores son vegetativas (Hoog, 2001).

En promedio, el ciclo de un tallo floral es de 10 a 11 semanas. Se considera que la mitad de este periodo es de crecimiento vegetativo y la otra mitad, reproductivo. El periodo vegetativo se subdivide en inducción del brote y desarrollo del tallo floral, presentado en la mayoría de los casos un color rojizo característico. El periodo reproductivo se inicia con la inducción del primordio floral, que coincide con una variación del color del tallo y hojas de rojo a verde, seguido de los estadios fenológicos llamados 'arroz' (sobre diámetro de 0,4 cm), 'arveja' (0,5-0,7 cm), 'garbanzo' (0,8-1,2 cm), 'rayar color (muestra color) y 'corte' (cosecha), en razón a la similitud de los tres primeros estadios con el tamaño del botón floral. El estadio 'rayar color' indica el momento cuando se separan ligeramente los sépalos por efecto del crecimiento del botón dejando ver el color de los pétalos y el 'corte', el momento en que la flor llega a un punto de apertura comercial, más no fisiológica (Cáceres *et al.*, 2003).

Efecto de la temperatura en rosas

La velocidad con que se desarrolla el botón hasta convertirse en vástago está influenciada por la temperatura, por lo que el promedio de ésta es el factor más signifi-

ficativo. La temperatura influye poco sobre la iniciación floral, aunque afecta el número de sépalos y el porcentaje de flores malformadas (Hoog, 2001).

La temperatura promedio de producción y la estrategia de manejo de la temperatura influyen sobre el desarrollo de las plantas de rosa, aunque con frecuencia este efecto se combina con aquéllos producidos por otros factores, tales como la luz, la humedad relativa y el CO₂ (Hoog, 2001).

La luz influye positivamente sobre el periodo de tiempo que requiere un tallo floral para su desarrollo (Hoog, 2001). En la variedad 'Sonia', la tasa de brotación de yemas, en el estadio de brotes de 0-1 cm de longitud, estuvo en función de la temperatura promedio del invernadero. En los estadios subsiguientes, otros factores fueron más relevantes, por ejemplo, la cantidad de luz que afectó la tasa de brotación en el estadio dos, de 1 cm a botón visible (Berninger y Barrade, 1993, citados por Hoog, 2001).

Las temperaturas elevadas conducen a la producción de un mayor número de tallos, aunque también, de flores más cortas y menos pesadas. Existe una relación lineal entre el número de tallos cosechados y la temperatura promedio en 24 h, en el rango de 15-21 °C (Hoog, 2001); sin embargo, Berninger y Barrade (1993), citados por Hoog (2001), demostraron que hay variaciones entre cultivares. Entre tanto, las diferencias de temperatura entre el día y la noche no tienen efecto sobre la velocidad de desarrollo, cuando la temperatura promedio en las 24 h permanece igual (Hoog, 2001).

Los umbrales de desarrollo inferior y superior son dos parámetros para considerar, cuando se refieren al efecto de la temperatura en el desarrollo de las plantas. El umbral de desarrollo inferior es la temperatura por debajo de la que una especie detiene su desarrollo y el umbral de desarrollo superior, la temperatura en que la tasa de desarrollo comienza a decrecer. Dichos umbrales son únicos para cada organismo. Para rosa se estableció el umbral inferior de desarrollo alrededor de los 5 °C (Pasian y Lieth, 1994). Estos valores también son conocidos como temperaturas cardinales. En algunos casos pueden utilizarse segmentos de la curva de desarrollo para fines específicos, como la estimación de la temperatura base (Ruiz, 1991).

La temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos que requieren la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estadio a otro en su ciclo de vida. La medida de este calor acumulado se

conoce como tiempo fisiológico (WMO, 1993). El tiempo fisiológico es frecuentemente expresado en unidades llamadas grados-día. Por ejemplo, si la rosa tiene un umbral de desarrollo inferior de 5 °C y la temperatura permanece en 6 °C durante 24 h, se habrá acumulado un grado-día (Cáceres *et al.*, 2003).

Modelos fenológicos

Un modelo fenológico permite predecir el tiempo en que ocurrirá un evento en el desarrollo de un organismo. Debido a las variaciones anuales del clima, las fechas calendario no son una buena base para la toma de decisiones de manejo (UCLA, 2002).

Existen dos maneras para obtener un modelo de crecimiento, un modelo empírico y un modelo mecanístico, y dos aproximaciones para el análisis de los datos de las curvas de crecimiento, uno estadístico y otro biológico. La aproximación estadística permite el ajuste de los datos a curvas polinomiales, usando modelos multivariados. Para el crecimiento biológico, la aproximación mecanística considera un modelo con una base biológica y parámetros biológicamente interpretables (Seber y Wild, 1989).

Para datos de crecimiento, la tasa se incrementa hasta un punto máximo y luego decae hasta cero. De acuerdo a este comportamiento se obtienen dos modelos, que corresponden al modelo logístico (autocatalítico), que describe el crecimiento de una población u órgano, y al modelo Gompertz, que se usa para estudios de población y crecimiento animal (Seber y Wild, 1989).

En particular en las áreas de fenología y desarrollo de cultivos, el concepto de unidad calórica, medida en grados-día de crecimiento (GDC, °C-día), ha mejorado ampliamente la descripción y predicción de los eventos fenológicos, comparado con otras aproximaciones, como la época del año o el número de días. La forma para calcular los GDC es:

$$GDC = (T_{max} + T_{min})/2 - T_{base}$$

donde T_{max}, temperatura máxima diaria del aire; T_{min}, temperatura mínima diaria del aire; T_{base}, temperatura en que el proceso de interés no progresa.

T_{base} varía entre especies y posiblemente entre variedades; de igual manera, puede variar entre estadios de desarrollo o de acuerdo al proceso que se considere (UCLA, 2002).

Se han realizado modificaciones a esta ecuación con el propósito de mejorar su significado biológico. Por ejemplo, la incorporación de un umbral superior, la conversión a unidades fototermales, añadiendo una variable de fotoperiodo, con sólo la temperatura máxima o mínima o la porción del día, e incorporando funciones para otros factores ambientales que afectan el desarrollo fenológico, como agua, nutrientes, calidad y cantidad de luz, CO₂ (McMaster y Wilhelm, 1997).

Existen además otras maneras de calcular los grados-día, basadas en fórmulas matemáticas más precisas y complejas que la exhibida arriba, como son, en su orden creciente de complejidad matemática, los métodos del triángulo sencillo y doble y del seno y del seno doble (UCLA, 2002).

Cálculo de grados-día

Para ajustar los datos por medio del modelo de grados-día, se toman los datos originales de temperatura durante 24 h. Se establece un rango que va entre 5,3 y 30,0 °C, los umbrales inferior y superior, respectivamente. En este rango las plantas de rosa tendrán un buen funcionamiento fisiológico y, por fuera de estos umbrales, las plantas no tendrán un desarrollo significativo. Se hace el promedio para obtener una lectura diaria que, sumada a través del tiempo, representa el acumulado de la temperatura (Universidad de los Andes, 2003).

Variedades

La variedad 'Madame Delbard' se distingue en belleza, forma, color y tamaño dentro de las variedades comerciales de rosa, con características de gran vigor en la formación de botones y hojas, considerándose una excelente productora de tallos florales de gran calidad (Asocolflores, 1993). Es una rosa de tipo híbrido de té, de color rojo aterciopelado luminoso y su botón es grueso, de tipo tulipán. Presenta pétalos grandes y rígidos, en número de 50 a 55; de acuerdo al ambiente, puede conservarse en florero de 10 a 15 d, la producción anual puede estar entre 100 flores por metro cuadrado en corte regulado y 120 flores en corte continuo. Sus tallos son fuertes, derechos y largos (0,80-1,10 m), sus hojas son largas, resistentes, con un colorido verde brillante. La temperatura mínima de producción está en 12-14 °C hasta el botón y luego 12 °C hasta el corte; la poda debe hacerse sobre un brote bien constituido. Las yemas de la base de los tallos se anulan a menudo; para esta variedad es preferible el corte en continuo (Delbard, 1980).

La variedad 'Freedom' presenta una flor roja de botón grande, seleccionada para el cultivo en ambientes frescos con alta intensidad de luz, especialmente en Sur y Centroamérica. La planta es robusta y resistente a enfermedades, especialmente al mildew veloso. Las flores tienen una larga vida en florero y se transportan muy bien. Se puede alcanzar una productividad aproximada de 1,2 tallos por planta por mes. Ha tenido buena acogida en el mercado norteamericano (Rosen Tantau, 2005).

La variedad 'Charlotte' es una rosa de color rojo-terciopelo brillante, adecuada para el cultivo bajo invernadero. Los botones florales se abren lentamente, permitiendo que se conserven entre 10 y 14 d. La longitud de los tallos es de unos 70-80 cm y esta variedad ofrece una buena producción. La oferta actual le permite contar con una alta aceptación, pese a ser de botón mediano (Rosen Tantau, 2005). Es una variedad con un ciclo de desarrollo de aproximadamente 72 d; presenta tallos gruesos y largos, con 10 hojas verdaderas; los pétalos de la flor son entre rojos y violetas y la dimensión de la flor al momento del corte es 52 mm x 29 mm (Cáceres *et al.*, 2003).

Materiales y métodos

Este ensayo se realizó en Flores Aurora Ltda. C.I., empresa productora y exportadora de flores ubicada en la vereda Palmira, municipio de Suesca (Cundinamarca), a una altura de 2.584 msnm. La localidad presenta una temperatura promedio de 14 °C y una humedad relativa promedio de 70%. El brillo solar está entre 1300 y 1700 h · año⁻¹. La radiación solar diaria es 350-400 cal · cm⁻². El confort térmico está entre 13-15 °C y la precipitación media anual es de 500-1000 mm · año⁻¹ (Ideam, 2005).

El estudio se realizó en rosa, variedades 'Madame Delbard', 'Charlotte' y 'Freedom', injertadas sobre el patrón 'Manetti' y cultivadas bajo condiciones de invernadero. Para cada una de estas variedades se seleccionaron 5 camas de la misma edad y aproximadamente 330 plantas por surco. Para el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa se utilizó un termohigrógrafo Hobo H-8.

Para la variedad 'Madame Delbard' se realizó 'poda plana' o inducción total de tallos, teniendo el criterio de 'subiendo a tijera y bajando a yema buena', es decir, considerando 15 a 20 cm de longitud (longitud de una tijera)

y, a partir de ahí, se corta sobre la yema más basal en mejores condiciones, o sea, 'bajando a yema buena'.

La variedad 'Freedom' se manejó con poda selectiva, cortando tallos 'ciegos' y tallos de cortes recientes o de cosechas anteriores, manteniendo aquellos tallos que iban para cosecha entre diciembre y enero, para mantener así la producción. Durante la evaluación las plantas se mantuvieron con agobio.

Para la variedad 'Charlotte' se hizo una poda semi-plana a 50 cm del piso, conservando únicamente los botones que serían cosechados entre la primera y segunda semana de diciembre, por razones comerciales.

Inicialmente, en cada una de las camas escogidas de las tres variedades del ensayo, se realizó un conteo del número de cortes que se hicieron a las plantas en el momento de la poda, para luego definir el número probable de flores para obtener en cosecha. Así mismo, se realizó el seguimiento de la fase fenológica reproductiva en los estadios 'arroz', 'garbanzo', 'mostrando color' y 'cosecha'. Estos estadios específicos fueron escogidos como representación de la fase de formación de flores y se convirtieron en un aspecto de control para determinar el tiempo de obtención de flores.

Los datos de temperatura se modelaron entre un rango de 5,3 a 30,0 °C. El ajuste de las temperaturas dentro de los umbrales críticos se hizo de la siguiente forma: si el dato estaba entre 5,3-30,0 °C, se restó a este valor 5,3 °C, de modo que los datos iguales o inferiores a 5,3 °C tomaron el valor cero (0) como umbral inferior y los datos iguales o superiores a 30,0 °C adquirieron el umbral superior de 24,7 °C (Universidad de los Andes, 2003). Con los datos de temperatura ajustados se procedió a promediar por día, obteniéndose el acumulado de temperatura a través del tiempo.

Para la valoración estadística de la información, se usó el modelo de regresión de Poisson con su función de enlace de tipo logarítmico, que a la vez permitió definir un modelo de estimación para cada estadio fenológico evaluado en las tres variedades. Para definir si el modelo estaba ajustado a la información de campo, se probó la bondad del ajuste con desviación estándar y ji-cuadrado de Pearson.

Modelo de regresión de Poisson: $\ln(\lambda | x = x) = \alpha_0 + \alpha_1 x$

Simplificando: $\ln \lambda = \alpha_0 + \alpha_1 x$

Generalizando para K variables independientes:

$$\ln \lambda = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_n x_n$$

donde α_0 y α_1 son constantes y x es variable aleatoria o no, continua o discreta.

Por lo tanto, α_0 es el logaritmo de l (probabilidad de que ocurra un evento en un intervalo de tamaño unitario), cuando todas las variables independientes son cero. α_1 representa el cambio en el logaritmo de l (o logaritmo del cociente de l), cuando la variable x_1 aumenta una unidad, siempre y cuando se mantenga constantes las demás variables (Hospital Ramón y Cajal, 2005).

La fórmula de desviación estándar para la distribución de Poisson (McCullagh y Nelder, 1989) es:

$$2 \sum_i w_i [y_i \log(y_i / \mu_i) - (y_i - \mu_i)]$$

donde w_i , variable; μ_i , valor estimado; y_i , valor de respuesta.

La fórmula de ji-cuadrado de Pearson es:

$$X^2 = \sum_i w_i (y_i - \mu_i)^2 / v(\mu_i)$$

donde v es la varianza.

Resultados y discusión

Se obtuvo un modelo de predicción para cada uno de los estadios de desarrollo fenológico propuestos en el presente ensayo, con las variedades 'Madame Delbard', 'Charlotte' y 'Freedom'. De acuerdo con los resultados, cada modelo obtenido se expresa en forma cuadrática, excepto en el estadio fenológico 'cosecha' de la variedad 'Freedom', que se comportó como lineal.

También se generó una tabla de predicción para la producción de botones florales, que permite estimar por medio de grados-día el número de botones probables de obtener en una fase de desarrollo específico.

La relación de tiempo expresada en días acumulados no se analizó, ya que existe una relación directa con los grados-día acumulados hasta el corte de flor. Lo anterior se sustenta con el concepto de tiempo fisiológico, que involucra el incremento directo de grados-día con el tiempo cronológico (WMO, 1993).

En forma general, los análisis de varianza de los valores estimados de los datos que corresponden a cada fase de desarrollo fenológico en las tres variedades fueron significativos al 95%. A la vez, mediante la evaluación

de la bondad de ajuste, se definió que el modelo de regresión de Poisson era el más indicado para obtener un modelo cuadrático que explicara el comportamiento de las variedades en la formación y desarrollo de botones florales, a partir del incremento de la temperatura en un tiempo dado, lo que permite que sea usado como un modelo de predicción.

Variedad 'Madame Delbard'

En la figura 1 se observa la relación de producción de botones florales a través del tiempo. Se muestra cómo estos botones florales van pasando de un estadio de desarrollo fenológico a otro, diferenciándose los estadios evaluados con respecto al tiempo.

El número de botones florales obtenidos en el tiempo es similar en cada estadio de desarrollo fenológico, excepto en la curva de cosecha, puesto que, por manejo o problemas fitosanitarios, no llegan al final del ciclo todos los botones florales con que se comenzó la evaluación.

En la figura 1 también se aprecia que, a partir de la poda realizada en esta variedad y hasta el último día de cosecha, se acumularon 103 d, con pico de cosecha a los 86 d. A los 43 d después de la poda se observaron los primeros botones florales en el estadio conocido como punto 'arroz' y, en menor porcentaje, en el punto 'garbanzo'.

Al hacer un análisis de los picos en cada estadio fenológico (figura 1), se determinó que el periodo para llegar a obtener botones en las diferentes fases fue: en punto 'arroz', 57 d; en punto 'garbanzo', entre 69 y 76 d y en la fase 'mostrando color', entre 76 y 79 d. El corte de flores se realizó a partir del día 63 hasta el 103, con pico entre 86 y 90 d después de poda.

Para obtener un ciclo de producción de botones florales en la variedad 'Madame Delbard' se requirieron 1085,3

grados-día (figura 2). La variedad presentó sus primeros botones florales en los estadios 'arroz' y 'garbanzo', con aproximadamente 464 grados-día. Los picos de producción de los respectivos estadios y el correspondiente en grados-día fueron: en punto 'arroz', 617 grados-día; en 'garbanzo', 807,3 grados-día y en 'mostrando color', 836 grados-día. Al pico de cosecha se llegó con un acu-

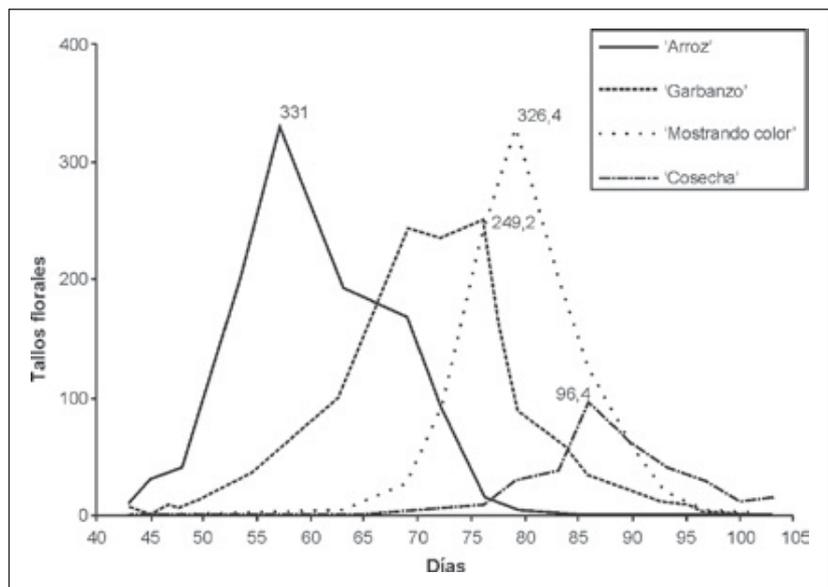


Figura 1. Curvas de producción de tallos florales en función de la acumulación de días, en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad 'Madame Delbard'.

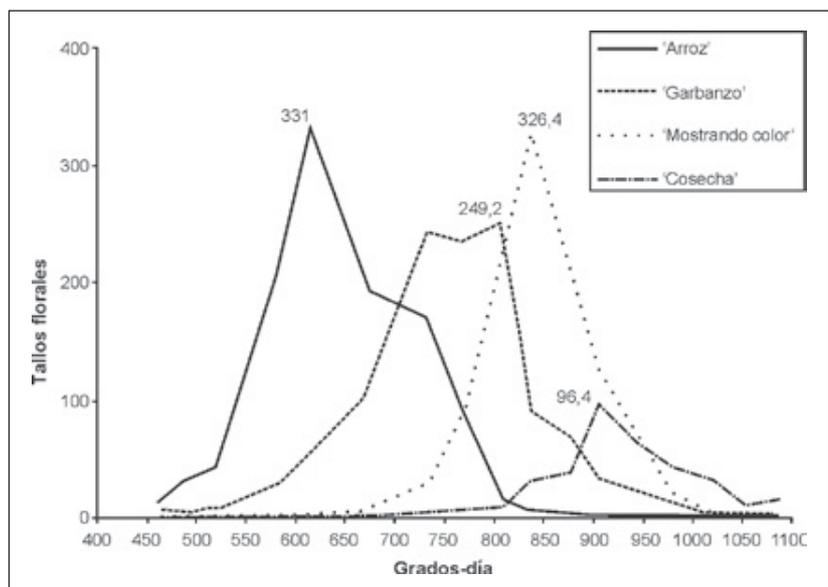


Figura 2. Curvas de producción de tallos florales en función de la acumulación de grados-día, en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad 'Madame Delbard'.

mulado de 904,4 grados-día, siendo ésta la referencia para programar el tiempo ideal de poda para una época determinada. En promedio se cosecharon 974 flores por cama.

Para la variedad ‘Madame Delbard’, los modelos obtenidos para el comportamiento de la curva en cada estadio fenológico son:

$$\log(\text{'arroz'}) = -35,5604 + 0,1275 (\text{grados-día}) - 0,0001(\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'garbanzo'}) = -36,2325 + 0,1105 (\text{grados-día}) - 0,0001 (\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'mostrando color'}) = -98,3328 + 0,2467 (\text{grados-día}) - 0,0001 (\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'cosecha'}) = -82,6930 + 0,1884 (\text{grados-día}) - 0,0001 (\text{grados-día})^2$$

Para la variedad ‘Madame Delbard’, se puede hacer un estimado del número de flores a través del tiempo

(tabla 1) como respuesta fisiológica a la acumulación de temperatura, expresada en grados-día.

Variedad ‘Charlotte’

Para la variedad ‘Charlotte’ (figura 3) se obtuvieron los primeros tallos florales en el estadio fenológico ‘arroz’ a los 29 d y el pico respectivo, a los 43 d después de poda; para los estadios ‘garbanzo’ y ‘mostrando color’, los picos de producción se encontraron a los 49 y 62 d, respectivamente. La ‘cosecha’ se obtuvo entre los 49 y los 87 d, con pico a los 69 d después de la poda. En promedio se cosecharon 1176,4 flores por cama.

En la figura 4 se relaciona la producción de tallos florales en los diferentes estadios del desarrollo fenológico y los respectivos acumulados de temperatura, expresados en grados-día. Los primeros botones florales en el estadio ‘arroz’ se obtuvieron con 312 grados-día, con pico de producción a los 458,1 grados-día; en los estadios ‘garbanzo’, ‘mostrando color’ y ‘cosecha’, para alcanzar los respectivos picos se acumularon

Tabla 1. Predicción del número de tallos florales y su respectivo porcentaje de producción en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad ‘Madame Delbard’.

Días	Grados-día	Predicción del número de tallos florales							
		Estadios de desarrollo fenológico							
		‘Arroz’		‘Garbanzo’		‘Mostrando color’		‘Cosecha’	
Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)		
43	464,0	11,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45	487,6	24,4	3,2	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
48	521,5	63,2	8,9	4,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
54	585,2	205,0	27,5	28,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
57	616,4	272,4	52,1	56,5	8,0	0,1	0,0	0,0	0,0
63	673,8	278,6	77,3	141,0	20,4	4,1	0,4	0,2	0,0
69	733,0	144,3	90,4	218,8	39,7	45,7	4,6	3,4	0,4
72	767,5	71,6	96,9	222,9	59,4	116,0	15,2	12,2	1,6
76	807,3	23,8	99,0	183,4	75,6	220,3	35,3	39,6	5,7
79	835,9	8,9	99,8	138,1	87,7	262,3	59,3	75,7	13,4
83	877,3	1,6	100,0	74,2	94,3	221,0	79,5	144,5	28,2
86	904,4	0,4	100,0	43,0	98,1	150,4	93,3	183,0	46,9
90	947,0	0,0	100,0	14,7	99,4	53,3	98,2	196,6	67,0
93	978,9	0,0	100,0	5,5	99,9	17,3	99,7	163,2	83,7
97	1021,5	0,0	100,0	1,2	100,0	2,4	100,0	92,4	93,1
100	1053,4	0,0	100,0	0,3	100,0	0,4	100,0	47,5	98,0
103	1085,3	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	19,9	100,0
Totales		1105,2		1133,8		1093,4		978,2	

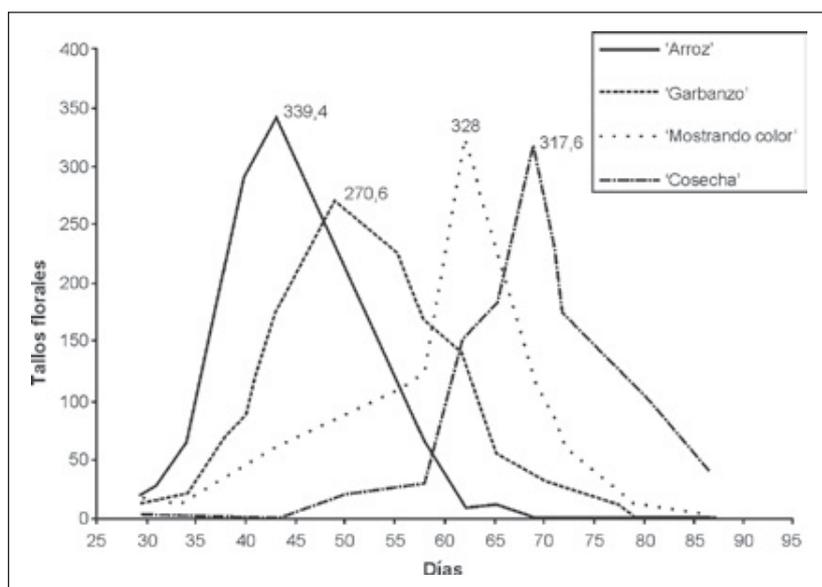


Figura 3. Curvas de producción de tallos florales en función de la acumulación de días, en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad 'Charlotte'.

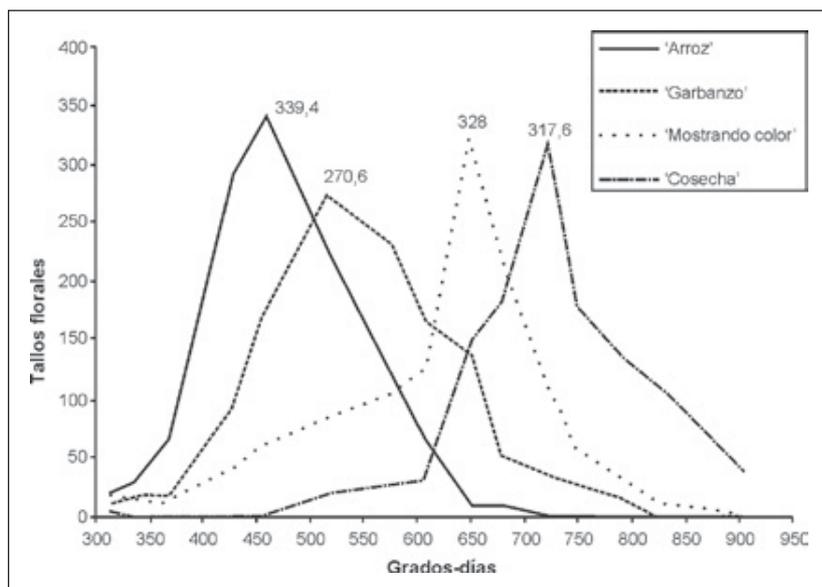


Figura 4. Curvas de producción de tallos florales en función de la acumulación de grados-día, en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad 'Charlotte'.

515,5, 647,8 y 718,5 grados-día, respectivamente. Se finalizó corte con la acumulación de 906,2 grados-día. Esta es la base de programación de esta variedad para una fecha determinada.

Por su parte, Cáceres *et al.* (2003) informan que la variedad 'Charlotte' requirió 755 grados-día en prome-

dio y 76 d desde la inducción de brotes hasta el corte, valores diferentes a los 69 d y 718,5 grados-día definidos en este trabajo. Sin embargo, tanto Cáceres *et al.* (2003) como la Universidad de los Andes (2003) usaron una metodología diferente en la escogencia de la unidad experimental, el tamaño de la muestra y el diseño estadístico utilizado. Realizaron evaluación directa a tallos florales como unidad y escogieron un tamaño de muestra entre 20 y 100 tallos florales, por lo que obtuvieron datos individualizados por tallo. En cambio, en el presente ensayo se hizo seguimiento a la producción de tallos florales en una cama, con tamaño de muestra de 5 camas, combinando la información de la producción de tallos florales provenientes de 330 plantas por cama. Pero es posible que el aspecto más relevante para justificar la diferencia sea la variación ecofisiológica a la que estuvieron sometidas las plantas en las zonas de los respectivos ensayos, si se considera que el desarrollo fenológico puede ser variable entre plantas cuando son expuestas a diferentes condiciones climáticas.

Otro aspecto para tener en cuenta fue la incidencia de mildew veloso en el cultivo, encontrándose sintomatología de la enfermedad en un número significativo de plantas. Esto trascendió en la prolongación del periodo de cosecha y, por ende, en el acumulado de grados-día, que, para el último corte, estuvo en 906. La variedad 'Charlotte' es particularmente susceptible a mildew veloso.

A continuación se presentan los modelos obtenidos para el comportamiento de las curvas de los diferentes estadios fenológicos de la variedad 'Charlotte', modelos cuadráticos obtenidos a partir del modelo de regresión de Poisson:

$$\log('arroz') = -19,1480 + 0,104325 (\text{grados-día}) - 0,000109105 (\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'garbanzo'}) = -13,1680 + 0,0686(\text{grados-día}) - 0,0001(\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'mostrando color'}) = -12,1059 + 0,0564(\text{grados-día}) - 0,0000457(\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'cosecha'}) = -31,0857 + 0,0997(\text{grados-día}) - 0,0001(\text{grados-día})^2$$

En la tabla 2 se relacionan los porcentajes estimados de producción de tallos florales según la acumulación de grados-día.

Variedad 'Freedom'

En la variedad 'Freedom' se obtuvieron los primeros botones florales en el estadio 'arroz' 30 d después de la poda (figura 5). Los picos de producción de tallos florales ocurrieron a 56, 70 y 77 d después de poda, para los estadios fenológicos 'arroz', 'garbanzo' y 'mostrando color', respectivamente. La cosecha se dio a partir del día 50 hasta 93 d después de poda, con un promedio de 482 flores recolectadas por cama (tabla 3).

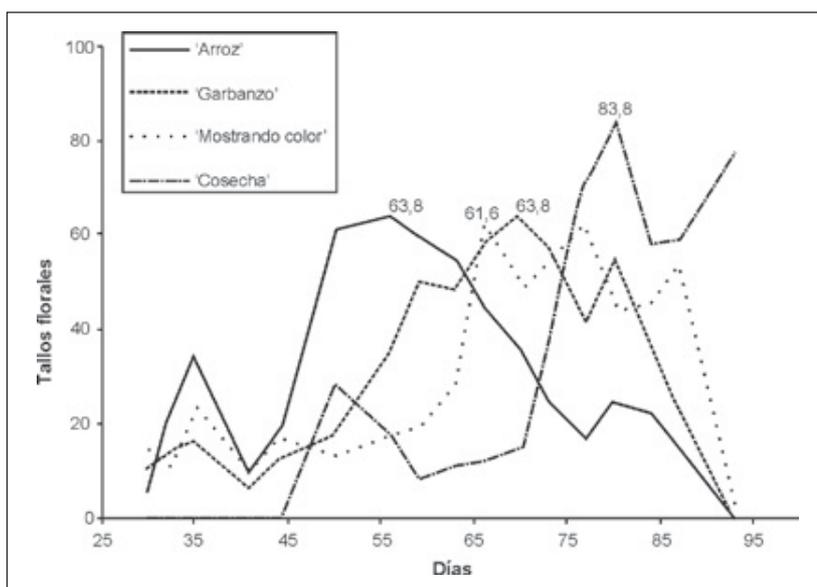


Figura 5. Curvas de producción de tallos florales en función de la acumulación de días, en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad 'Freedom'.

En la figura 6 se muestra que en los picos de producción de tallos florales en los estadios 'arroz', 'garbanzo', 'mostrando color' y 'cosecha' se acumularon 527, 675, 748 y 780 grados-día, respectivamente. El

Tabla 2. Predicción del número de tallos florales y su respectivo porcentaje de producción en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad 'Charlotte'.

Días	Grados-día	Predicción del número de tallos florales							
		Estadios de desarrollo fenológico							
		'Arroz'		'Garbanzo'		'Mostrando color'		'Cosecha'	
Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)		
34	367,5	86,2	11,8	34,4	4,7	11,3	1,6	0,0	0,0
40	427,7	248,0	32,9	104,5	13,2	37,6	4,7	0,4	0,0
43	458,1	313,2	59,6	154,0	25,6	60,8	9,7	1,3	0,1
49	515,5	280,8	83,5	233,1	44,4	119,7	19,5	9,0	0,9
55	573,7	120,7	93,8	232,1	63,1	174,9	33,9	39,5	4,3
58	607,1	53,2	98,4	190,9	78,6	189,0	49,4	75,1	10,6
62	647,8	14,1	99,6	124,4	88,6	180,9	64,2	133,6	22,0
65	677,0	4,4	99,9	80,4	95,1	159,7	77,3	175,7	36,9
69	718,5	0,6	100,0	36,0	98,0	117,0	86,9	212,5	55,0
72	748,2	0,1	100,0	17,7	99,4	85,0	93,9	210,7	72,9
76	790,4	0,0	100,0	5,3	99,8	47,0	97,8	169,4	87,3
79	822,1	0,0	100,0	1,9	100,0	27,0	100,0	122,5	97,7
87	906,3	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	27,0	100,0
Totales		1121,2		1214,8		1210,0		1176,7	

Tabla 3. Predicción del número de tallos florales y su respectivo porcentaje de producción en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad ‘Freedom’.

Días	Grados-día	Predicción del número de tallos florales							
		Estadios de desarrollo fenológico							
		‘Arroz’		‘Garbanzo’		‘Mostrando color’		‘Cosecha’	
Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)	Número	(%)		
35	312,4	19,5	8,9	10,0	4,2	13,4	6,7	0,0	0,0
41	376,7	30,6	14,9	17,2	7,4	17,1	9,9	0,0	0,0
44	408,5	36,4	22,0	21,5	11,4	19,2	13,5	0,0	0,0
50	467,9	45,8	31,0	30,7	17,0	23,5	17,9	12,6	2,6
56	526,8	51,3	41,0	39,8	24,4	28,3	23,2	16,4	6,0
59	561,1	51,9	51,1	44,4	32,6	31,3	29,1	19,2	10,0
63	602,2	50,0	60,9	48,7	41,6	35,1	35,7	23,1	14,8
66	632,3	46,9	70,1	50,7	51,0	37,9	42,8	26,4	20,3
70	675,1	40,7	78,0	51,6	60,5	42,1	50,7	32,0	26,9
73	705,1	35,5	84,9	50,8	69,9	45,0	59,2	36,7	34,5
77	747,8	27,7	90,4	47,7	78,7	49,3	68,4	44,5	43,7
80	779,9	22,2	94,7	44,1	86,8	52,4	78,2	51,4	54,4
84	822,6	15,6	97,8	38,1	93,9	56,5	88,8	62,3	67,3
87	854,7	11,5	100,0	33,1	100,0	59,5	100,0	72,0	82,3
93	893,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	85,5	100,0
Totales		485,411		528,5		510,8		482,0	

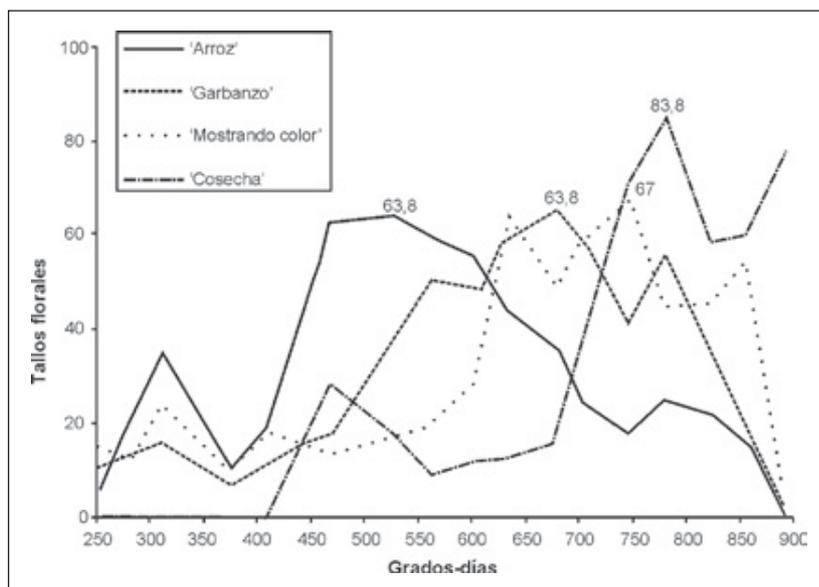


Figura 6. Curvas de producción de tallos florales en función de la acumulación de grados-día, en diferentes estadios del desarrollo fenológico, en rosa variedad ‘Freedom’.

ciclo de producción finalizó con la acumulación de 893 grados-día.

La variedad ‘Freedom’ mostró que a través del tiempo se obtuvieron tallos florales en diferentes estadios de desarrollo y en cantidades similares. Este crecimiento no permitió observar un estadio específico dentro de las camas del cultivo. Lo anterior se evidencia en las figuras 5 y 6 y en los modelos obtenidos estadísticamente. El modelo de predicción de cosecha se comportó como lineal, considerado como una respuesta al tipo de ‘poda selectiva’ que se realizó en esta variedad. Esta es una variedad nueva en Colombia, de la que poco se conoce, por lo que no se sabe acerca del efecto de la poda en su manejo y productividad.

Los modelos de predicción de cosecha obtenidos para cada estadio fenológico en la variedad 'Freedom' fueron:

$$\log(\text{'arroz'}) = -1,1886 + 0,0185 (\text{grados-día}) - 0,000016722 (\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'garbanzo'}) = -1,8163 + 0,0172 (\text{grados-día}) - 0,0000128698 (\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'mostrando color'}) = 1,1322 + 0,0054 (\text{grados-día}) - 0,0000226448 (\text{grados-día})^2$$

$$\log(\text{'cosecha'}) = 0,4239 + 0,0045 (\text{grados-día})$$

En la tabla 3 se observa la probabilidad de producción de tallos florales de la variedad 'Freedom', en diferentes estadios fenológicos con respecto a la acumulación de la temperatura (grados-día).

Conclusiones

El comportamiento fenológico de rosa en las variedades 'Madame Delbard', 'Charlotte' y 'Freedom' es diferente entre ellas en cuanto al periodo de tiempo requerido para la obtención de la cosecha. Se observaron diferencias en lo referente a los grados-día acumulados para obtener los picos de producción en los diferentes estadios de desarrollo fenológico, en los grados-día y en los días acumulados al final de un ciclo de cosecha. También se vieron diferencias en el número de tallos florales producidos según el criterio de poda utilizado.

Para conocer el número de días y los grados-día acumulados que se requieren para obtener la cosecha, así como el porcentaje de tallos florales en uno u otro estadio del desarrollo fenológico, se debe consultar la tabla de predicción generada para cada una de las variedades evaluadas.

Se debe tener en cuenta que, para una lectura del 100% en cualquier estadio fenológico que se vaya a observar, se define el final de un estadio al acumular ciertos grados-día. Esto es independiente del número de tallos florales que inició el ciclo de desarrollo, puesto que la producción varía de acuerdo con la región, los factores ecofisiológicos, la densidad de plantas y el manejo agronómico del cultivo; lo que hace que no todos los tallos que inician su desarrollo alcancen una fase fenológica e incluso culminen su ciclo de producción.

Los modelos que se ajustaron al comportamiento de las curvas de predicción en función de la acumulación de grados-día, no determinan el número de tallos florales que se va a obtener en un intervalo de tiempo.

Literatura citada

- Asocollfiores (Asociación Colombiana de Cultivadores de Flores). En: www.colombianflowers.com.co; consulta: julio 2005.
- Bastidas, E. y C. Santana. 2000. Respuesta del cultivo de la rosa (*Rosa adorata* var. Madame Delbard) a diferentes láminas de riego, bajo invernadero en la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Cáceres, L.A., D.E. Nieto, V.J. Flórez y B. Chaves C. 2003. Efecto del ácido giberélico (GA3) sobre el desarrollo del botón floral en tres variedades de rosa (*Rosa* sp.). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ceniap (Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela). En: www.ceniap.gov.ve/bdigital/monografias/fenologia/fenologia.htm#Ruiz#Ruiz. 1991; consulta: julio 2005.
- Delbard, G. 1980. Le grand pepinieriste rosieriste. Catálogo. Flores Aurora. En: www.floresaurora.com; consulta: julio 2005.
- Hoog, J. de. 2001. Handbook for modern greenhouse rose cultivation. Appl. Plant Res. 220 p.
- Hospital Ramón y Cajal. Material docente de la Unidad de Bioestadística Clínica. Modelo regresión de Poisson. En: www.hrc.es/bioest/poisson_2.html; consulta: marzo 2006.
- Ideam (Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). En: www.ideam.gov.co; consulta: diciembre 2005.
- McCullagh, P. y J.A. Nelder. 1989. Generalized linear models (logarithmic models), Science. Chapman and Hall, London. pp. 193-207. En: www.sfsu.edu/~efc/classes/biol710/Glz/Generalized%20Linear%20Models.htm; consulta: julio 2005.
- McMaster, G.S. y W.W. Wilhelm. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. Agric. Forest Meteorol. 87, 291-300.
- Pasian, C.C. y J.H. Lieth. 1994. Prediction of flowering rose shoot development based on air temperature and thermal units. Scientia Hort. 59, 131-145.
- Rosen Tantau. En: www.rosen-tantau.com; consulta: julio 2005.
- Seber, G.A.F. y C.J. Wild, 1989. Nonlinear regression. John Wiley and Sons, New York. pp. 325-335.
- Universidad de los Andes. 2003. Curso-taller Construcción del modelo de grados-día para predicción y manejo de cultivos de rosa. Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Bogotá.
- University of California [UCLA]. 2002. Degree-days and phenology models. En: University of California. Statewide Integrated Pest Management program. www.ipm-ucdavis.edu/WEATHER/ddconcepts.html; consulta: mayo 2005.
- World Meteorology Organization [WMO]. 1993. Practical use of meteorological data and information for planning and operational activities in agriculture. World Meteorology Organization. Publication N° 60. Geneve.