

Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos

Node appearance model for substrate grown carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi

Miguel Ángel López M.^{1,3}, Bernardo Chaves, Víctor Julio Flórez R.¹ y Melba Ruth Salazar²

RESUMEN

Los modelos fenológicos son herramientas diseñadas para conocer y predecir el desarrollo de las plantas. El objetivo de este trabajo fue determinar la temperatura base (Tb) para la aparición de nudos y en función de este parámetro generar un modelo fenológico para tallos florales de clavel estándar cv. Delphi a primer pico de producción. El ensayo se estableció en un invernadero, en el SENA ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca, Colombia). Se sembraron esquejes en tres tipos de sustrato (100% cascarilla de arroz quemada; mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada y 35% de fibra de coco; mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada y 65% de fibra de coco). La Tb se estimó mediante el ajuste de un modelo exponencial entre la tasa de aparición de nudos y la temperatura acumulada. Se usó el método de Euler para la simulación de nudos y el desarrollo fenológico de la planta se determinó a través del tiempo térmico. El tipo de sustrato no influyó la tasa promedio de aparición de nudos (0,102 nudos/día). El valor estimado de la Tb fue de 0,12°C. A partir del *pinch*, y hasta la aparición del botón floral se acumularon 1.363,2 grados día (gdd); y el pico de cosecha se alcanzó a los 2.226,5 gdd. La aparición de nudos fue un proceso acelerado en los primeros estadios de desarrollo, que disminuyó paulatinamente luego de la aparición del botón floral. El máximo número de nudos observado fue 16,18 y el máximo estimado por el modelo fue 16,89. El modelo se ajusta de manera satisfactoria para las condiciones evaluadas y presenta un bajo índice de raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RSME = 0,28).

Palabras clave: desarrollo, temperatura base, tiempo térmico, simulación.

ABSTRACT

Phenological models are designed to understand and predict plant development. The aim of this study was to determine the base temperature (Tb) for node appearance, and according to this relationship, to generate a phenological model for the first production peak of standard carnation cv. Delphi. The trial was established in the SENA facilities of the municipality of Mosquera (Cundinamarca, Colombia). There, under greenhouse conditions, carnation cuttings were planted in three different substrates (100% burnt rice husks; mixture of 65% burnt rice husks and 35% coconut fiber; mixture of 35% burnt rice husks and 65% coconut fiber). Tb was estimated by adjusting the exponential model for node appearance rate and accumulated temperature. Euler's method was used for node simulation, and plant phenological development was determined through thermal time. The type of substrate did not influence node appearance average rate (0.102 nodes/day). Estimated Tb was 0.12°C, whereas 1,363.2 degree day (dd) accumulated from the pinch to flower bud appearance, and the harvest peak was reached at 2,226.5 dd. Node appearance proceeded rapidly in the earlier development stages, to gradually decline after flower bud appearance. While the maximum number of observed nodes was 16.18, the model estimated the same parameter in 16.89. The model fits adequately the observed data, and shows a low square root of mean square error index (RSME = 0.28).

Key words: development, base temperature, thermal time, simulation.

Introducción

Colombia es el primer proveedor de flores de corte a Estados Unidos y el segundo exportador a nivel mundial. El clavel estándar y el miniclavel son, después de la rosa, los cultivos de flores de mayor importancia para el país con un 20% del área sembrada (Asocolflores, 2008).

El desarrollo de un cultivo depende en gran medida de la temperatura y del fotoperíodo; sin embargo, en el trópico la temperatura es la variable ambiental con mayor influencia en el desarrollo de los cultivos. El efecto de la temperatura se ejerce a través de su acción sobre las reacciones enzimáticas

Fecha de recepción: 28 de septiembre de 2009. Aceptado para publicación: 5 de marzo de 2010

¹ Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia).

² Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana, Bogotá (Colombia).

³ Autor de correspondencia. malopezm@unal.edu.co

que directa o indirectamente intervienen en los procesos de desarrollo (Baker y Reddy, 2001; Normand y Léchaudel, 2006). En clave de acuerdo con Holley y Baker (1991) una vez se inicia el botón floral, la temperatura es el factor más importante en su desarrollo, aún más que el fotoperíodo.

En la agricultura la combinación del tiempo y la temperatura resulta en el denominado tiempo térmico (TT) o también conocido como suma de calor, grados día, grados día de desarrollo o tiempo fisiológico. Este enfoque se ha utilizado en numerosos estudios para describir la fenología de cultivos como maíz, caña de azúcar, melón, garbanzo y algodón (Campbell *et al.*, 1998; Baker *et al.*, 2001; Ruiz *et al.*, 2002; Viator *et al.*, 2005; Soltani *et al.*, 2006).

La velocidad de desarrollo se puede determinar a través del inicio y el final de las fases y las etapas (Schwartz, 1999) o, mediante el conteo semanal del número de nudos, con la duración o el tiempo transcurrido desde la aparición de un nudo hasta el siguiente (Angulo, 2003). En condiciones de la Sabana occidente de Bogotá y para clave estándar variedad Nelson, Baracaldo *et al.* (2010) determinaron que el número de nudos varía entre 18 y 21.

Las tasas de aparición de nudos, hojas y frutos regulan el desarrollo de las plantas; a su vez, estas tasas son una función fenológica dependiente de la temperatura (Cooman, 2002). El incremento del índice de área foliar y, por tanto, la capacidad de intercepción de la radiación y el crecimiento, dependen de la aparición de nudos en el tallo (Robertson *et al.*, 2002), ya que la aparición de un nudo es un requisito indispensable para la inserción de una hoja.

Según Ruiz *et al.* (2002), la relación entre la tasa de desarrollo y la temperatura es frecuentemente lineal para plantas y algunos invertebrados, y de esta relación se derivan dos conceptos importantes: el tiempo térmico y la temperatura base (Tb).

El concepto de TT se aplica ampliamente en agricultura y silvicultura y se define como la cantidad de grados día (gdd) necesarios para finalizar un determinado proceso de desarrollo o fase fenológica (Trudgill *et al.*, 2005). En diversos cultivos se utiliza para el cálculo de la tasa de aparición de nudos, hojas, inflorescencias y desarrollo de frutos (NeSmith, 1997; Brown y Moot, 2004; Normand y Léchaudel, 2006; Fleisher y Timlina, 2006; Salazar, 2006 y Pulido, 2008); y para la producción potencial (Clifton-Brown *et al.*, 2000; Salazar, 2006).

De acuerdo con Bonhomme (2000), para la aplicación del concepto de tiempo térmico se requiere linealidad o

una relación indiscutible entre la tasa de desarrollo y la temperatura.

Autores como Steinmaus *et al.* (2000), Normand y Léchaudel (2006) y Pulido (2008) coinciden en que la calidad de la predicción y la aplicación de un modelo desarrollado a partir del concepto de tiempo térmico depende de la correcta estimación de un único parámetro, la Tb.

El concepto de Tb se puede describir desde la perspectiva fisiológica o estadística. Fisiológicamente, se define como el valor de la temperatura bajo el cual el desarrollo de un cultivo o un órgano específico de una planta se detiene. Sin embargo, la Tb fisiológica es difícil de determinar y para cada fase del desarrollo y para cada órgano puede existir un valor determinado (Trudgill *et al.*, 2005; Pulido, 2008). Estadísticamente, la Tb es un parámetro con el cual se obtiene la menor variación en la acumulación de grados día para un estadio fenológico en particular (Yang *et al.*, 1995; Bonhomme, 2000; Trudgill *et al.*, 2005; Normand y Léchaudel, 2006).

Los modelos fenológicos son herramientas dirigidas a conocer y predecir el desarrollo de las plantas. Su aplicación incluye la estimación de las épocas de cosecha de algunos cultivos, ya que un modelo de aparición de nudos hace implícita la aparición de hojas y la mayoría de cultivos de crecimiento determinado, luego de un cierto número de nudos, se producen estructuras reproductivas, que determinan la cosecha. De esta forma, si se registra la temperatura y se conoce su relación, en términos del tiempo térmico, con la tasa de aparición de nudos, es posible estimar las épocas de cosecha a partir de diferentes escenarios de temperatura promedio diaria.

El objetivo de este trabajo fue determinar la temperatura base para la aparición de nudos en clave cv. Delphi en el primer pico de producción y con base en la estimación de este parámetro, generar un modelo de simulación de aparición de nudos.

Materiales y métodos

La investigación se llevó cabo en los invernaderos del Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA, ubicado en el municipio de Mosquera (Colombia) a 74,2° W; 4,7° N, 2.556 msnm, precipitación promedio anual de 645 mm, temperatura media anual de 14,7°C y 80% de humedad relativa. Los datos utilizados en esta investigación se obtuvieron entre el 28 de junio y el 15 de noviembre de 2008.

TABLA 1. Fórmula media de fertilizantes aplicados al cultivo de clavel estándar cv. Delphi durante el ciclo de crecimiento (mg L⁻¹).

Etapa de desarrollo	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	B	Mo
Etapa vegetativa	200	30	150	150	60	0	4	1	0,5	1	0,1
Producción	150	30	150	150	60	0	2	1	0,5	1	0,1

Se utilizaron esquejes con raíz de clavel estándar variedad Delphi, de color blanco. La siembra se llevó a cabo el 15 de mayo, en camas elevadas con dimensiones de 15,00 x 0,85 m. Cada cama estuvo compuesta por dos contenedores plásticos. De esta manera, en cada cama se sembraron 540 plantas, para una densidad de siembra de 24,7 plantas/m². El *pinch* se realizó el 25 de junio sobre el nudo seis, cuando los tallos laterales centrales presentaban aproximadamente cuatro nudos.

Los sustratos empleados fueron 100% cascarilla de arroz quemada (100CAQ), mezcla de 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco (65CAQ) y la mezcla de 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco (35CAQ).

Para la aplicación del fertirriego se utilizó un equipo automatizado con cuatro líneas portagotero de 17 mm de diámetro por cama, con goteros Hydro PC AD distanciados 20 cm y caudal 1,2 L h⁻¹.

En la Tab. 1 se presentan las dos fórmulas del programa de fertilización utilizadas durante el ciclo de cultivo.

Las variables climáticas se obtuvieron de la estación agroclimatológica HOB0 (Onset Computer Corporation, Pocasset, MA), ubicada en el lugar del ensayo. La temperatura promedio diaria fue la única variable considerada para el desarrollo del modelo fenológico. Los datos de temperatura fueron registrados cada 30 min, de tal forma que en un día se obtuvieron 48 datos, de los cuales se obtuvo la temperatura promedio diaria.

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con tres tratamientos (sustratos), cada uno replicado tres veces, para un total de nueve unidades experimentales. La unidad experimental fue de 12,8 m².

Muestreo

Los datos utilizados para la construcción del modelo fenológico se obtuvieron a través de un muestreo de tipo continuo. Luego del *pinch* se seleccionaron de manera aleatoria siete plantas por unidad experimental, es decir, 21 plantas por tratamiento. Luego, se marcaron dos tallos del tercio medio de las plantas seleccionadas (nudos 3 y 4), a los cuales semanalmente se les contó el número de nudos.

A las plantas seleccionadas se les garantizó perfecta competencia ubicándolas tanto en la línea como en la fila central de la cama. Se evaluaron 14 tallos por unidad experimental, para un total de 42 tallos por tratamiento.

El número de nudos se registró desde el *pinch* (programación) hasta cuando se detuvo la aparición de nudos (dos semanas después de la aparición del botón floral). También se registró la época de aparición del botón floral.

Modelo fenológico

A partir del número de nudos observado, se calculó la tasa semanal de aparición de nudos (TAN) y el número de nudos producidos a partir del *pinch* (NN). Este último es la sumatoria de la TAN semanal.

Se graficaron los valores de NN en función de la sumatoria de las temperaturas promedio diarias (temperatura acumulada). Una vez determinada la tendencia se ajustó la curva de von Bertalanffy (1) como modelo para describir el NN. Esta curva es una variante del modelo de crecimiento exponencial (Hunt, 1978).

$$NN_t = a(1 - e^{-b(TT)}) \quad (1)$$

$$y, TT = \sum_{i=1}^n (Ti - Tb)$$

donde NN_t , número de nudos en el tiempo t ; a , máximo número de nudos estimado por el modelo; b , tasa de crecimiento y TT , tiempo térmico, calculado como la sumatoria de la diferencia entre Ti y Tb . Tb es el valor teórico de temperatura en el cual la TAN es cero y n es el número de días de registro de temperaturas usado para el cálculo de TT (Guisande *et al.*, 2006).

Para estimar los parámetros a , b y Tb se utilizó el procedimiento NLIN y el método de optimización de Marquardt del programa estadístico SAS® (SAS, 2003). En este caso la Tb es el valor de temperatura con el cual se obtiene la menor variación en la acumulación de grados día para la aparición de nudos.

La tasa diaria de aparición de nudos (δn) se calculó a partir del modelo desarrollado. La δn es la derivada de la ecuación de aparición de nudos (2).

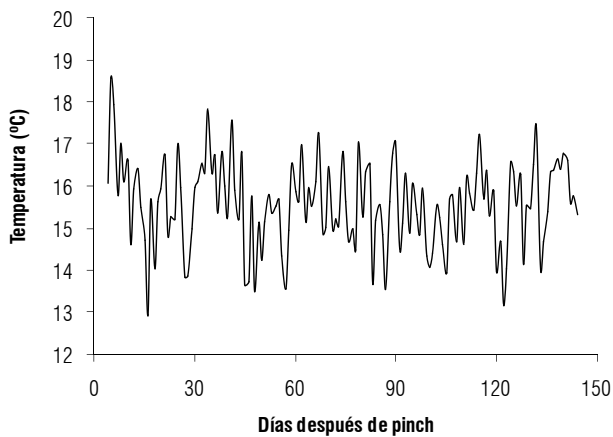


FIGURA 1. Variación de la temperatura promedio diaria entre los meses de junio a noviembre de 2008, en el Centro de Biotecnología Agropecuaria del SENA, Mosquera (Colombia).

$$\delta n = abe^{-bTT} \quad (2)$$

Una vez determinada la δn se llevó a cabo el proceso de simulación usando el método de Euler (Salazar, 2006; Pulido, 2008) considerando como intervalo de tiempo un día, ecuación 3.

$$NN_t = NN_{t-1} + (\delta n \times gdd) \times \Delta t \quad (3)$$

Donde, NN_t es el valor simulado del número de nudos en el tiempo t ; NN_{t-1} es el valor simulado del número de nudos en el tiempo $t-1$, δn es la tasa diaria de aparición de nudos, gdd es grados día y $\Delta t=1$.

Resultados y discusión

Temperatura y tasa de aparición de nudos

Durante el transcurso del ensayo la temperatura presentó un valor promedio de 15,60°C, con valores máximos y mínimos promedio de 26,21°C y 9,10°C, respectivamente. La temperatura acumulada desde el *pinch* hasta el pico de cosecha fue 2.243,67°C. En la Fig. 1 se presenta la variación de la temperatura promedio durante la investigación.

El número de nudos observado en función de la temperatura acumulada desde el *pinch* se presenta en la Fig. 2. Los datos presentan una tendencia exponencial con alta tasa de aparición de nudos en las etapas iniciales de desarrollo del tallo, la cual disminuye en la época que antecede la aparición del botón floral y cesa con el inicio visible de su desarrollo.

La tasa de aparición de nudos registró valores promedio de 0,714; 0,717 y 0,716 nudos/semana para los tratamientos

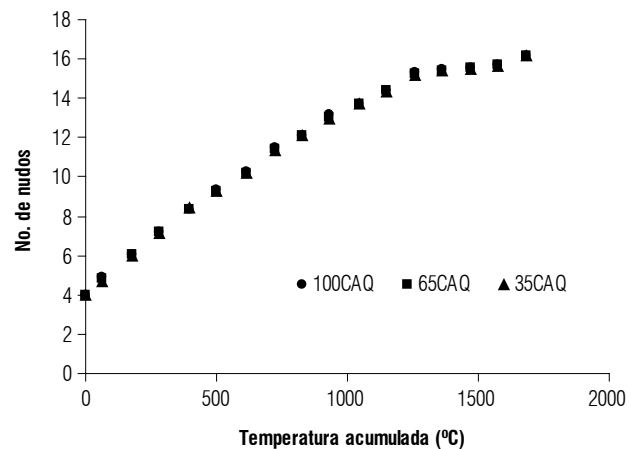


FIGURA 2. Número de nudos de tallos florales de plantas de clavel estándar cv. Delphi cultivadas en tres tipos de sustratos, en función de la temperatura acumulada después de *pinch*. 100CAQ = 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ = 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ = 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco.

100CAQ, 65CAQ y 35CAQ, respectivamente. A partir de este comportamiento se plantea que el tipo de sustrato utilizado para establecer el clavel estándar cv. Delphi no influenció la tasa de aparición de nudos, respuesta que también se corrobora en la Fig. 2 y que probablemente obedece a que esta variable presenta una elevada dependencia genética.

La tasa de aparición de nudos es similar a los 0,77 nudos/semana determinados por Baracaldo *et al.* (2010) en clavel cv. Nelson cultivado en los mismos sustratos.

Parametrización y simulación

Con la tendencia de los datos y a partir del modelo exponencial modificado propuesto para estimar la temperatura base, se realizó la parametrización del modelo para la aparición de nudos y posteriormente se llevó a cabo la simulación. Los parámetros estimados estadísticamente para el modelo se presentan en la Tab. 2.

La forma del modelo utilizado para la parametrización se refleja en la ecuación 4.

$$NN = a(1 - \exp^{-b(Tac - (DDP * Tb))}) \quad (4)$$

donde, NN , número de nudos; a , máximo número de nudos estimado por el modelo; b , tasa de crecimiento; Tac , es la temperatura acumulada a partir del *pinch*; DDP , son los días después del *pinch* y Tb , es la temperatura base.

Este modelo de tipo exponencial se utilizó previamente por Pulido (2008), para determinar la Tb en lulo sembrado en tres localidades de Colombia; mientras que Salazar

TABLA 2. Parámetros estimados (a , b y T_b), error estándar y límites de confianza del modelo de regresión exponencial para la tasa de aparición de nudos en clavel estándar cv. Delphi en función del tiempo térmico.

Parámetro	Estimado	Error estándar	Límites de confianza**	
			Inferior	Superior
a^*	16,89	0,4324	16,02	17,76
b	0,000799	0,000036	0,000727	0,000871
T_b	0,1194	0,0762	-0,0338	0,2725

* a , máxima tasa de aparición de nudos; b , tasa en la cual se alcanza a ; T_b , temperatura base estadística.
** Intervalos del 95% de confianza.

(2006) implementó un modelo no lineal segmentado para estimar la T_b en uchuva sembrada en cuatro localidades del país. Otros autores como Ruiz *et al.* (2002) utilizaron un modelo de regresión cuadrática para la estimación de las temperaturas cardinales y duración del ciclo de un híbrido de maíz.

La T_b estimada en esta investigación es estadísticamente igual a 0°C , el mismo valor que Larsen y Gertsson (1992) determinaron para la elongación de entrenudos en crisantemo y cercano a 1°C estimado por Bois *et al.* (2006) para aparición de hojas en quinua en condiciones controladas. De igual manera, es similar a los 2°C reportados por Bertero (2001) para la aparición de hojas en quinua en condiciones de campo y a los 2°C determinados por Stapper (2001) para la aparición de la espiga en trigo. La T_b determinada es menor a la reportada para otros procesos fenológicos, como los $5,2^\circ\text{C}$ para la aparición de hojas en rosa (Mattson y Lieth, 2007).

El valor de T_b estimado para la aparición de nudos en los tallos de clavel se puede explicar en función de las condiciones climáticas de su centro de origen. Al respecto, Office of the Gene Technology Regulator (2005) indica que el rango de origen de los miembros del género *Dianthus* abarca desde el sur de Rusia hasta la Grecia alpina y las montañas Auvergne de Francia. En este contexto, el género *Dianthus* estaría adaptado a regiones frías.

Es importante aclarar que para determinar la T_b no se utilizaron datos de temperatura y número de nudos de diferentes zonas o localidades del país, sino datos obtenidos de tallos florales de clavel establecidos en tres tipos de sustratos pero bajo una misma condición de temperatura.

El modelo exponencial modificado representó adecuadamente la aparición de nudos de las plantas cultivadas en los tres sustratos. En la Fig. 3 se presenta el número de nudos observados y simulados en función del tiempo térmico

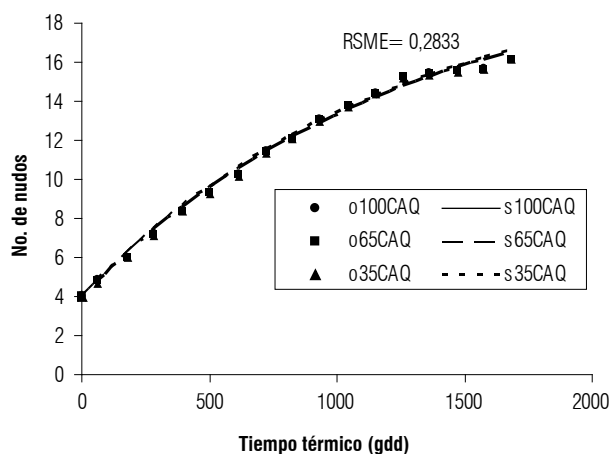


FIGURA 3. Aparición de nudos en tallos florales de clavel estándar cv. Delphi en función del tiempo térmico en grados día (gdd). o100CAQ, o65CAQ, o35CAQ corresponden a los nudos observados para los sustratos 100% cascarilla de arroz quemada; mezcla de 65% cascarilla de arroz quemada - 35% fibra de coco; y mezcla de 35% cascarilla de arroz quemada - 65% fibra de coco, respectivamente. s100CAQ, s65CAQ, s35CAQ representan los nudos simulados para los mismos sustratos.

en grados día (gdd). Los datos simulados siguen la misma tendencia de los datos observados; sin embargo, en la etapa final los valores simulados son ligeramente superiores a los observados.

En términos generales el modelo de simulación presenta un ajuste adecuado, respuesta corroborada por el bajo valor (0,28) del índice estadístico de la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RSME).

Las tasas promedio de aparición de nudos observada y estimada por el modelo se presentan en la Tab. 3. Se infiere que el modelo estima de manera adecuada la aparición de nudos en los tallos florales de plantas de clavel estándar cv. Delphi cultivadas en los tres tipos de sustrato. En todos los casos la sobreestimación en la tasa de aparición de nudos fue inferior o igual a 0,0043 nudos/d.

TABLA 3. Tasa promedio observada y estimada de aparición de nudos en clavel estándar cv. Delphi, cultivado en tres tipos de sustrato.

Tipo de sustrato	Tasa observada (nudos/d)	Tasa estimada (nudos/d)	Diferencia (nudos/d)
100CAQ*	0,1020	0,1055	-0,0035
65CAQ	0,1024	0,1055	-0,0031
35CAQ	0,1023	0,1066	-0,0043

* 100CAQ = 100% cascarilla de arroz quemada; 65CAQ = 65% de cascarilla de arroz quemada - 35% de fibra de coco; 35CAQ = 35% de cascarilla de arroz quemada - 65% de fibra de coco.

Duración de la aparición de nudos

En la Tab. 4 se presenta el tiempo térmico necesario para que los tallos florales de clavel produzcan cada uno de los nudos, el botón floral y alcancen el pico de cosecha. A medida que el tallo floral incrementa el número de nudos, el tiempo térmico necesario para la aparición del siguiente nudo es más prolongado. Por ejemplo, para la formación del nudo cinco se necesitaron 76,5 gdd acumulados a partir de la aparición de nudo cuatro, mientras que para la aparición del nudo 16 fueron necesarios 232,6 gdd contados a partir de la formación del nudo 15. Este comportamiento indica que la aparición de nudos es un proceso acelerado en los primeros estadios de desarrollo, que se vuelve lento en la medida que transcurre el tiempo.

TABLA 4. Tiempo térmico promedio entre aparición de nudos, botón floral y pico de cosecha en tallos de clavel estándar cv. Delphi cultivado en sustratos.

Número de nudo	días	gdd ¹	gdd acumulados (TT) ²
5	4,9	76,5	76,5
6	10,2	81,3	157,8
7	15,8	87,1	244,9
8	21,9	93,5	338,4
9	28,4	101,1	439,5
10	35,5	110,0	549,5
11	43,3	120,7	670,2
12	51,9	133,6	803,8
13	61,6	149,2	953,0
14	72,6	170,3	1.123,3
15	85,2	196,2	1.319,5
Botón	88,0	43,7	1.363,2
16	100,3	232,6	1.552,1
Pico de cosecha	143,8	863,3	2.226,5

¹ gdd: grados día necesarios para la aparición del nudo siguiente

² TT: sumatoria de grados día (gdd).

Un comportamiento similar fue reportado por Baracaldo e Ibagué (2006) para la longitud de los entrenudos del tallo floral de clavel cv. Nelson cultivado en los mismos sustratos. Los autores indican la existencia de una relación directa entre la longitud de los entrenudos 5 al 13 y el tiempo cronológico de aparición del nudo. De esta forma, los entrenudos más jóvenes (11, 12, 13) presentan mayor longitud que los entrenudos viejos (5, 6, 7).

La aparición del botón floral se produjo como resultado de la acumulación de 1.363,2 gdd mientras que el pico de cosecha se presentó cuando el tallo floral acumuló 2.226,5 gdd, sumados a partir del *pinch* o despunte. La acumulación de temperatura necesaria para la aparición del botón es superior a los 1.245 gdd reportados para la aparición del primer botón floral en lulo (Pulido, 2008).

Con base en la Tb determinada en el presente trabajo, los requerimientos de TT presentados en la Tab. 4 y la temperatura promedio obtenida a partir de los datos históricos registrados por la estación HOBO entre los meses de septiembre de 2007 y junio de 2009 (15,38°C), se desarrolló una tabla de monitoreo del desarrollo de clavel estándar cv. Delphi orientada a conocer el estado del desarrollo del cultivo (atrasado, normal o adelantado), de acuerdo al tiempo en días y al número de nudos de los tallos florales. Esta herramienta se presenta en la Tab. 5.

TABLA 5. Herramienta para el monitoreo fisiológico para clavel estándar cv. Delphi, de acuerdo con el número de nudos, al tiempo en días transcurridos después del *pinch* (DDP) y al tiempo térmico (TT).

Evento fenológico	DDP transcurridos	TT
Nudo 5	5	76,5
Nudo 6	10	157,8
Nudo 7	16	244,9
Nudo 8	22	338,4
Nudo 9	29	439,5
Nudo 10	36	549,5
Nudo 11	44	670,2
Nudo 12	53	803,8
Nudo 13	63	953,0
Nudo 14	74	1.123,3
Nudo 15	87	1.319,5
Botón floral	90	1.363,2
Nudo 16	102	1.552,1
Pico de cosecha	146	2.226,5

La herramienta de la Tab. 5 es aplicable a los cultivos de clavel donde el *pinch* se realice cuando los tallos laterales centrales cuenten en promedio con 4 nudos. De acuerdo con la herramienta de monitoreo fisiológico se puede decir, por ejemplo, que cuando un cultivo de clavel estándar cv. Delphi de la sabana occidente de Bogotá tenga 44 DDP, es decir, 670 gdd debe presentar en promedio 11 nudos en los tallos laterales centrales. Si luego de realizar la evaluación se encuentra un número de nudos inferior, se puede concluir que el desarrollo del cultivo está “atrasado” y, por tanto, es necesario planear estrategias de manejo orientadas a superar dicho “atraso”.

Conclusiones

El modelo desarrollado presenta un buen ajuste para las condiciones de estudio. Para su validación, se recomienda su evaluación en otras localidades con diferentes condiciones medioambientales.

La aparición de nudos en los tallos florales de clavel estándar cv. Delphi presentó un comportamiento de tipo exponencial en función del tiempo térmico y se ajustó de manera satisfactoria a la curva de crecimiento de von Bertalanffy.

La tasa de aparición de nudos en el tallo floral fue igual para los tres sustratos evaluados.

La temperatura base estimada a partir del modelo para la aparición de nudos en el tallo floral de clavel estándar cv. Delphi fue de 0,12°C, con un número máximo de nudos estimado por el modelo de 16,89.

La aparición de nudos en clavel es un proceso acelerado en los primeros estadios de desarrollo, que disminuye en la medida que transcurre el tiempo. De esta manera, para la aparición de los primeros nudos se necesita una menor acumulación de gdd con respecto a la aparición de los últimos nudos.

La aparición del botón floral en los tallos de clavel estándar cv. Delphi se produjo como resultado de la acumulación de 1.363,2 gdd, mientras que el pico de cosecha se alcanzó a los 2226,5 gdd, sumados a partir del *pinch* o despunte de las plantas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Colciencias, al SENA - Centro de Biotecnología Agropecuaria, a Ceniflores - Asocolflores y a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional

de Colombia, sede Bogotá, entidades financiadoras del proyecto Producción más limpia de rosa y clavel con dos sistemas de cultivo sin suelo en la Sabana de Bogotá, en el marco del cual se desarrolló la presente investigación. A Suata Plant S.A. por donar el material vegetal y a Brenntag Colombia S.A. por suministrar las soluciones nutritivas.

Literatura citada

- Angulo C., R. 2003. Frutales exóticos de clima frío. Bayer Crop Science, Bogotá.
- Asocolflores. 2008. Actividades 2007. Asociación Colombiana de Productores de Flores, Bogotá.
- Baker, J., D. Leskovar, V. Reddy y F. Dainello. 2001. A simple phenological model of muskmelon development. *Ann. Bot.* 87, 615-621.
- Baker, J. y V. Reddy. 2001. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. *Ann. Bot.* 87, 605-613.
- Baracaldo A., A. del P., A. Ibagué O., V.J. Flórez R. y B. Chaves C. 2010. Crecimiento en clavel estándar cv. Nelson, en suelo y en sustratos. *Bragantia* 69(1), 1-8.
- Baracaldo, A. del P. y A. Ibagué. 2006. Evaluación de crecimiento en clavel estándar cv. ‘Nelson’ a segundo pico de cosecha en suelo y en sustratos. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Bertero, H.D. 2001. Effects of photoperiod, temperature and radiation on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under field conditions. *Ann. Bot.* 87, 495-502.
- Bois, J.F., T. Winkel, J.P. Lhomme, J.P. Raffailac y A. Rocheteau. 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *Eur. J. Agron.* 25, 299-308.
- Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using ‘degree.day’ units. *Eur. J. Agron.* 13, 1-10.
- Brown, H.E. y D.J. Moot. 2004. Main-stem node appearance of Lucerne regrowth in a temperate climate. En: 14th International Crop Sciences Congress. Lincoln University, Canterbury, New Zealand.
- Campbell, J., M. Robertson y C. Grof. 1998. Temperature effects on node appearance in sugarcane. *Aust. J. Plant Physiol.* 25, 815-818.
- Clifton-Brown, J.C., B. Neilson, I. Lewandowski y M.B. Jones. 2000. The modelled productivity of *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu) in Ireland. *Ind. Crops Prod.* 12, 97-109.
- Cooman, A. 2002. Feasibility of protected tomato cropping in the high altitude tropics using statistical and system dynamic models for plant growth and development. Tesis de doctorado. Faculteit Landbouwkundige en Toegespaste Biologische, Katholieke Universiteit Leuven, Weterischappen, Belgium.
- Fleisher, D.H. y D. Timlina. 2006. Modeling expansion of individual leaves in the potato canopy. *Agr. For. Met.* 139, 84-93.
- Guisande, C., A. Barreiro, I. Maneiro, I. Riveiro, A. Vergara y A. Vaamonde. 2006. Tratamiento de datos. Ediciones Díaz Santos, Madrid.

- Holley, W.D. y R. Baker. 1991. Carnation production II. Kendall Publishing Company. Colorado State University, Denver, CO.
- Larsen, R. y U. Gertsson. 1992. Model analysis of shoot elongation in *Chrysanthemum X morifolium*. *Scientia Hort.* 49(3-4), 277-289.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London.
- Mattson, N.S. y J.H. Lieth. 2007. The effect of temperature on year-round development of rose shoots initiated using cutting or bending. *Acta Hort.* 751, 121-129.
- NeSmith, S.D. 1997. Summer squash (*Cucurbita pepo* L.) leaf number as influenced by thermal time. *Scientia Hort.* 68, 219-225.
- Normand, F. y M. Léchaudel. 2006. Toward a better interpretation and use of thermal time models. *Acta Hort.* 707, 159-164.
- Office of the Gene Technology Regulator. 2005. The Biology and ecology of *Dianthus caryophyllus* L. (Carnation). Department of Health and Ageing, Australian Government, Canberra, Australia.
- Pulido, S. 2008. Desarrollo de un modelo fenológico de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). Tesis de maestría, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Robertson, M.J., P.S. Carberry, N.I. Huth, J.E. Turpin, M.E. Probert, P.L. Poulton, M. Bell, G.C. Wright, S.J. Yeates y R.B. Brinsmead. 2002. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. *Austral. J. Agr. Res.* 43, 15-25.
- Ruiz, J., H. Flores, J. Ramírez y D. González. 2002. Cardinal temperatures and length of maturation cycle of maize hybrid H-311 under rain fed conditions. *Agrociencia* 36, 569-577.
- Salazar, M.R. 2006. Un modelo simple de producción potencial de uchuva. Tesis de doctorado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- SAS, SAS Institute Inc. 2003. The NLIN procedure. SAS/STAT User's quick start guide, Version 9.1. and Online Support. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Schwartz, M.D. 1999. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *Intl. J. Biometeorol.* 42(3), 113-118.
- Soltani, A., G.L. Hammer, B. Torabi, M.J. Robertson y E. Zeinali. 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Res.* 99, 1-13.
- Stapper, M. 2001. Variation in phenology of wheat genotypes grown at different temperatures under similar photoperiod in southern NSW. En: Australian Society of Agronomy, <http://www.regional.org.au/au/asa/2001/p/4/stapper.htm?print=1>; consulta: marzo de 2010.
- Steinmaus, S.J., T.S. Prather y J.S. Holt. 2000. Estimation of base temperatures for nine weed species. *J. Exp. Bot.* 51, 275-286.
- Trudgill, D.L., A. Honek, D. Li y N.M. Van Straalen. 2005. Thermal time – Concepts and utility. *Ann. Appl. Biol.* 146, 1-14.
- Viator, R.P., C.N. Russell, K.L. Edmisten y R. Wells. 2005. Predicting cotton boll maturation period using degree days and other climatic factors. *Agron. J.* 97, 494-499.
- Yang, S., J. Logan y D. Coffey. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agr. For. Met.* 74, 61-74.