

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

TIEMPO TÉRMICO PARA ESTADOS FENOLÓGICOS REPRODUCTIVOS DE LA FEIJOA (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret)

Thermal Time for Reproductive Phenological Stages of Pineapple Guava (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret)

Alfonso PARRA-CORONADO¹, Gerhard FISCHER², Bernardo CHAVES-CORDOBA³

¹ Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

³ Agricultural Weather Net Program, Washington State University, United States.

For correspondence. aparrac@unal.edu.co

Received 8th May 2014, Returned for revisión 11th July 2014, accepted 21st July 2014.

Citation / Citar este artículo como: Parra-Coronado A, Fischer G, Chaves-Cordoba B. Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Acta biol. Colomb. 2015;20(1):163-173 . doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n1.43390>

RESUMEN

El desarrollo del cultivo de feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) es principalmente estimulado por la temperatura, pero también es afectado por otros factores climáticos. La determinación del desarrollo en términos de tiempo térmico o grados día de crecimiento (GDC) es más precisa que en días calendario. El objetivo de este estudio fue proponer un modelo fenológico para la feijoa cv. Quimba, en el que se estima la temperatura base (Tb) para cuatro períodos fenológicos reproductivos diferentes y su duración en términos de GDC, para predecir las fechas de anthesis, cuaje de fruto y cosecha. Se marcaron veinte árboles por finca en dos localidades del departamento de Cundinamarca, Colombia, durante los años 2012 a 2014, se registraron las fechas de aparición de los estados fenológicos, desde la formación del botón floral. Se estimó Tb usando el método de mínimo coeficiente de variación, así como la duración de los cuatro estados fenológicos reproductivos en términos de GDC. Los resultados mostraron que Tb y GDC varían dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo; en general, se requiere una media de 2651 GDC y 189 días para llegar de botón floral a la cosecha del fruto. Los parámetros del análisis de regresión mostraron que el modelo predijo satisfactoriamente las etapas fenológicas cuando se usó la Tb estimada para cada una de ellas, con alto coeficiente de determinación. La validación cruzada mostró buen ajuste estadístico entre valores pronosticados y observados; la intercepción no fue significativamente diferente de cero ($p < 0,05$) y la pendiente fue estadísticamente igual a uno.

Palabras clave: desarrollo, grados día de crecimiento, modelo fenológico, temperatura base.

ABSTRACT

Crop development of feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) is mainly stimulated by temperature, but is also affected by other climatic factors. The determination of the development in terms of thermal time or growing degree days (GDD) is more precise than calendar days. The aim of this study was to propose a phenological model for feijoa cv. Quimba, in which the base temperature (Tb) for four different phenological stages and its duration in terms of GDD is estimated to predict the timing of anthesis, fruit setting and harvesting. During the years 2012 to 2014, in two localities of the department of Cundinamarca, Colombia, twenty trees per farm were labeled, dates of occurrence of phenological stages, starting from floral button were recorded. Tb was estimated using the method of minimum coefficient of variation, as well as duration of the four reproductive phenological stages in terms of GDD. The results showed that Tb and GDD vary depending on the stage of development of the crop; in general, an average of 2651 GDD and 189 days is required to reach the flower bud to the fruit harvest. The parameters of the regression analysis showed that the model successfully predicted phenological stages when estimated Tb for each of them was used, with high determination coefficient. Cross-validation showed good statistical fit between predicted and observed values; intercept was not significantly different from zero ($p < 0.05$) and the slope was statistically equal to one.

Keywords: base temperature, development, growing degree days, phenology model.

INTRODUCCIÓN

La temperatura es una de las principales fuerzas impulsoras para el crecimiento y el desarrollo de los cultivos y varios estados fenológicos se manifiestan a través de su desarrollo (Salazar, 2006; Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). La fenología se describe comúnmente como los cambios que se producen en las plantas desde la emergencia hasta la madurez de cosecha, tales como la brotación, floración, desarrollo del fruto, y cómo estos cambios se ven afectados por las condiciones ambientales locales (García-Carbonell *et al.*, 2002; Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). El principio y el fin de las etapas fenológicas son buenos indicadores del crecimiento potencial de los cultivos (Calviño *et al.*, 2003). El estudio fenológico permite evaluar la adaptabilidad de las especies frutales a determinadas condiciones del medio, de tal manera que puede permitir un mejor manejo del cultivo, en labores como la poda, fertilización, polinización, raleo, cosecha, etc. (Medel y Orueta, 1986).

Con frecuencia, el tiempo calendario se ha utilizado para la predicción de las etapas de crecimiento y desarrollo de los cultivos (Slafer y Savin, 1991; Mendoza López *et al.*, 2004); sin embargo, se han propuesto varios modelos para mejorar el uso del tiempo calendario en la predicción del desarrollo, los cuales describen el efecto de la temperatura sobre el desarrollo fenológico (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). Uno de los métodos más ampliamente utilizado es la acumulación de temperatura media diaria por encima de una temperatura base (T_b), conocido como tiempo térmico, grados-día de crecimiento o desarrollo (GDC), unidades de calor (Ruiz-Corral *et al.*, 2002; López *et al.*, 2010) o tiempo fisiológico, y se define como la cantidad de grados día necesarios para finalizar un determinado proceso de desarrollo o fase fenológica (Trudgill *et al.*, 2005). El tiempo fisiológico se utiliza para el cálculo de la tasa de aparición de nudos, de hojas e inflorescencias y para estimar el crecimiento y desarrollo de frutos (Rodríguez y Flórez, 2006; Salazar, 2006; Normand y Léchaudel, 2006; Almanza *et al.*, 2010), así como para estimar la producción potencial (Salazar *et al.*, 2008a). Cada planta tiene un requisito específico de temperatura antes de que ciertos estados fenológicos se alcancen (Sikder, 2009).

Hay varios métodos de cálculo de GDC, pero el más común en las investigaciones agrícolas y fenológicas es calcular GDC como la suma de la diferencia entre la temperatura media y la T_b , con la temperatura media calculada como la media de las temperaturas mínimas y máximas diarias (McMaster y Wilhelm, 1997; Matzarakis *et al.*, 2007). El método de GDC es más apropiado para describir el desarrollo, ya que es independiente del medio ambiente o año (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). Un requisito básico para este enfoque es la determinación de la temperatura crítica o temperatura base (T_b), por debajo de la cual el desarrollo fenológico cesa o las plantas detienen sus procesos metabólicos (Salazar, 2006). La exactitud de un modelo de tiempo térmico para predecir

la fecha de diferentes etapas de desarrollo es parcialmente dependiente de la exactitud de la determinación de la temperatura base (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013).

Un método preciso para determinar la temperatura base es cultivar plantas en ambientes controlados a través de una gama de temperaturas constantes y medir la tasa de aparición de los diferentes órganos de la planta siguiendo su etapa de desarrollo (Slafer y Rawson, 1995; Qi *et al.*, 1999). Se supone que cada fase de desarrollo puede tener una temperatura base diferente y la temperatura base debe ser similar para una determinada etapa de desarrollo del cultivo para cualquier período de crecimiento (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013).

Varios métodos estadísticos pueden ser utilizados para la estimación de T_b ; algunos de los comunes son: la menor varianza (VAR) en GDC, la menor desviación estándar (SD) en GDC, la menor SD en días, el menor coeficiente de variación (CV) en GDC y regresión lineal utilizando el coeficiente de regresión y los métodos de intercepto en x (Yang *et al.*, 1995; Oliveira, 1998; Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). Estadísticamente, la temperatura base es la que resulta en la menor variación en la acumulación de GDC (tiempo térmico) que es una medida del calor que se ha acumulado en el tiempo (Yang *et al.*, 1995). La temperatura acumulada es ahora reconocida como el principal factor que influye en la variación de la fenología; el aumento de las temperaturas en general acelera el desarrollo fenológico, lo que resulta en un período de crecimiento más corto (Asseng *et al.*, 2011). Los GDC se utilizan generalmente para incluir los efectos de la temperatura y describir la temporización de los procesos biológicos (McMaster y Wilhelm, 1997; Stenzel *et al.*, 2006). Las investigaciones realizadas han demostrado que los GDC acumulados para la consecución de los estados fenológicos difieren de cultivar a cultivar (Trudgill *et al.*, 2005).

Se han desarrollado modelos agroclimáticos que relacionan las diferentes fases fenológicas con el tiempo térmico o tiempo fisiológico de la planta. Algunos autores han calculado los requerimientos de acumulación térmica teniendo en cuenta el umbral mínimo de crecimiento o temperatura base (T_b) necesaria para alcanzar los distintos estados fenológicos de cultivos como tomates (Zotarelli *et al.*, 2009; Ardila *et al.*, 2011), duraznero y ciruelo (Medina Torres, 2000), vid (Oliveira, 1998; Ortega-Farias *et al.*, 2002; Almanza *et al.*, 2010), naranjo (Stenzel *et al.*, 2006), uchuva (Salazar *et al.*, 2008b), lulo (Pulido *et al.*, 2008), rosa (Rodríguez y Flórez, 2006), clavel (López *et al.*, 2010), maíz (Ruiz *et al.*, 1998; Ruiz-Corral *et al.*, 2002), trigo de invierno (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013), soya (Calviño *et al.*, 2003), entre otros. Para el caso de la feijoa, no se conocen estudios que indiquen cual es T_b , y por lo tanto, tampoco se conocen valores de tiempo térmico para los estados fenológicos.

La feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret), pertenece al orden myrtales, a la familia Myrtaceae, subfamilia Myrtoideae, genero *Acca*, especie *sellowiana* (Perea *et*

al., 2010); es originaria de Sur América, en las zonas comprendidas entre el sur de Brasil, Uruguay, las partes altas del lado occidental de Paraguay y el nororiente de Argentina (Schuman y Lüdders, 1992; CCI, 2008). La feijoa es una especie perenne y longeva; en condiciones subtropicales y estacionales presenta una cosecha anual, mientras que en zonas tropicales puede producir en forma continua durante todo el año (Quintero, 2012). La feijoa se considera como un cultivo promisorio para la región andina colombiana, gracias a su excelente adaptación en las zonas comprendidas entre 1800 y 2700 m s.n.m; del fruto se pueden obtener más de 15 productos derivados de muy buena calidad (Quintero, 2012), tales como dulces, helados, postres, concentrados, sabajones, aperitivo vínico y otras bebidas.

Los objetivos de este estudio fueron: (i) determinar la temperatura base para cuatro etapas fenológicas reproductivas de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret), cv. Quimba y (ii) desarrollar un modelo fenológico utilizando la temperatura base para predecir la duración en términos de tiempo térmico de las diferentes etapas fenológicas en dos zonas de estudio en el departamento de Cundinamarca, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y caracterización de las zonas de estudio

El estudio se realizó en dos fincas, ubicada una de ellas en el municipio de Tenjo y la otra en el municipio de San Francisco de Sales (en el Departamento de Cundinamarca, Colombia); en las dos fincas se encuentran árboles del clon 41 ('Quimba') sembrados en el año 2006, de los cuales se marcaron 20 árboles por finca. La finca "La Pradera" se encuentra ubicada en el municipio de Tenjo entre las coordenadas geográficas 4° 51' 23" N y 74° 6' 33" W y altitud media de 2580 m s.n.m.; la zona se caracteriza por tener un clima semihúmedo frío seco C_1dC_1 de la "clasificación de Thornthwaite", con temperatura media de 13,2°C y humedad relativa que oscila entre 79 y 84%; las lluvias son de tipo bimodal, con valores de precipitación media anual de 765 mm, concentrada entre los periodos de marzo-mayo y septiembre-noviembre. La finca "Mesopotamia" se encuentra ubicada en el municipio de San Francisco de Sales entre las coordenadas geográficas 4° 57' 57" N y 74° 16' 27" W y altitud media de 1800 m s.n.m.; la zona se caracteriza por tener un clima perhúmedo ArD' de la "clasificación de Thornthwaite", con temperatura media de 20°C y humedad relativa que oscila entre 76 y 88%; las lluvias son de tipo bimodal, con valores de precipitación media anual de 1493 mm, concentrada entre los periodos de febrero-mayo y septiembre-noviembre.

El modelo fenológico propuesto para la feijoa cv. Quimba, está formado por dos componentes: el primero incluye la estimación de la temperatura base para cuatro periodos fenológicos diferentes, y el segundo componente es la estimación de la duración en grados día para predecir

la floración (antesis), cuaje de fruto y cosecha. Las entradas al modelo incluyen la fecha de aparición de botones florales visibles (aprox. de 5 mm) y el registro de las fechas de antesis, de cuaje de fruto y de cosecha (día real de la cosecha), además de los datos meteorológicos diarios, incluyendo las temperaturas máximas y mínimas (°C) para cada ubicación.

Las fechas de aparición de botones florales visibles, de antesis, de cuaje de fruto y de cosecha se obtuvieron de las dos fincas en el departamento de Cundinamarca - Colombia (Tabla 1), en un periodo de registro que correspondió a los años 2012, 2013 y comienzo de 2014. La fecha de aparición de botones florales se registró cuando estos tenían una dimensión aproximada de 5 mm. Los datos meteorológicos se obtuvieron de estaciones meteorológicas automatizadas "i-metos" suministradas por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, las cuales fueron instaladas en los dos lugares objeto del estudio.

Estimación de la temperatura base

Actualmente no se conoce información referente a la temperatura base para los estados fenológicos de la feijoa. Se estimaron las temperaturas base (T_b) de cuatro etapas fenológicas de la feijoa a saber: desde la aparición de botones florales a la antesis, de la antesis al cuaje del fruto, del cuaje del fruto a la cosecha y de la aparición de botones florales a la cosecha, para lo cual se realizó la sumatoria de las temperaturas registradas en cada localidad para cada una de las diferentes etapas fenológicas y luego se minimizó el Coeficiente de Variación (CV) de las cantidades de calor calculados (GDC) a partir de un rango de temperaturas entre 0 y 12 °C para cada una de las diferentes etapas consideradas en este estudio. La temperatura óptima (T_b) para cada etapa, corresponde con la temperatura a la cual se obtiene el CV más pequeño utilizando un modelo de regresión de segundo grado (Yang *et al.*, 1995; Salazar, 2006; Pulido *et al.*, 2008; Ruml *et al.*, 2010; Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). La herramienta Solver para Excel®, se utiliza para la estimación de la T_b ; Solver es un procedimiento no lineal iterativo que realiza la primera estimación con los valores iniciales asignados a los parámetros de la ecuación y luego aumenta o disminuye el valor de los parámetros hasta que encuentra el valor mínimo de la suma de los cuadrados de las desviaciones.

Para las cuatro fases fenológicas y para los periodos de estudio en las dos localidades, se realizó análisis de varianza de los GDC y comparación de medias mediante prueba de Tukey, con el fin de establecer diferencias entre las T_b de cada fase fenológica, para lo cual se utilizó el paquete estadístico SPSS v.17 (SPSS Inc., Chicago, IL).

Estimación del tiempo térmico (GDC)

La mejor manera de representar la duración de una fase fenológica es en términos del tiempo térmico, expresado

Tabla 1. Fechas de registro de diferentes estados fenológicos para la feijoa.

	No.	Localidad	
		San Francisco	Tenjo
Marcación botones florales	1	Julio 13 de 2012	Julio 14 de 2012
	2	Marzo 19 de 2013	Abril 17 de 2013
	3	Julio 17 de 2013	Mayo 15 de 2013
	4	Agosto 21 de 2013	Junio 20 de 2013
Antesis	1	Julio 24 de 2012	Agosto 03 de 2012
	2	Marzo 29 de 2013	Mayo 02 de 2013
	3	Julio 28 de 2013	Mayo 31 de 2013
	4	Septiembre 01 de 2013	Julio 10 de 2013
Cuaje de fruto	1	Julio 31 de 2012	Agosto 14 de 2012
	2	Abril 04 de 2013	Mayo 13 de 2013
	3	Agosto 04 de 2013	Junio 12 de 2013
	4	Septiembre 08 de 2013	Julio 23 de 2013
Cosecha de fruto	1	Diciembre 26 de 2012	Enero 30 de 2013
	2	Septiembre 10 de 2013	Noviembre 29 de 2013
	3	Diciembre 27 de 2013	Diciembre 05 de 2013
	4	Enero 31 de 2014	Enero 10 de 2014

como la sumatoria de los grados-día de crecimiento (GDC). Los grados-día es una unidad de medida que combina temperatura y tiempo de tal manera que la duración del desarrollo de un ciclo de vida del organismo, o en cualquier etapa o parte del ciclo de vida, disminuye a medida que la temperatura aumenta; el tiempo térmico se expresa como el número de unidades de calor requeridos para completar el desarrollo. Aunque las temperaturas y días pueden variar, el tiempo fisiológico permanece relativamente constante; es el modelo más simple que tiene en cuenta el efecto de la temperatura en el desarrollo vegetativo y reproductivo y tiene algunas limitaciones para temperaturas muy altas (Ardila *et al.*, 2011; Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). Un grado día se acumula cuando la temperatura media diaria es de un grado por encima de T_b para un período de 24 horas. Para poder hacer el seguimiento al desarrollo del cultivo, el día de referencia o fecha de partida es fundamental; en este estudio la fecha de partida se define como la fecha de aparición de botones florales para cada temporada y cada lugar.

La duración de cada fase en grados-día de crecimiento (GDC) se determinó usando los valores de T_b que se estimaron para el cultivo de feijoa, para cada una de las cuatro fases de desarrollo consideradas. El tiempo térmico

se calculó como la suma diaria de la diferencia entre la temperatura media y la temperatura base para cada etapa (Ecuación 1).

$$TT = \sum_{i=1}^n GDC_i = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b) \text{ ó } TT = \sum_{i=1}^n T_i - nT_b \quad (1)$$

Donde, TT es el tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$) acumulado durante los n días hasta que aparezca el estado, para las cuatro fases (desde botón floral a antesis: fase = 1, desde antesis a cuaje de fruto: fase = 2, de cuaje de fruto a cosecha: fase = 3 y de botón floral a cosecha: fase = 4), T_i es la temperatura media diaria ($^{\circ}\text{C}$) para el día i y T_b es la temperatura base ($^{\circ}\text{C}$). Los GDC_i para la acumulación de TT se calculan utilizando las siguientes consideraciones:

$$T_i = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (2)$$

$$\text{Si } T_i > T_b, \quad GDC_i = T_i - T_b \quad (3)$$

$$\text{Si } T_i < T_b, \quad GDC_i = 0 \quad (4)$$

Donde $T_{máx}$ es la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) para el día i y $T_{mín}$ es la temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) para el día i.

El modelo se desarrolló con el conjunto de datos correspondiente a tres periodos diferentes para el cultivar y para los dos lugares del estudio (Tabla 1). Con la Tb estimada se obtuvo el tiempo térmico (GDC) para cada etapa fenológica, para cada periodo y para cada localidad, los cuales se promediaron para cada fase considerada. A continuación, se utilizó la media de tiempo térmico obtenido en cada fase para evaluar el modelo para los datos restantes. Se realizó validación cruzada entre los valores observados y los simulados, la cual permite visualizar la bondad del modelo. El coeficiente de determinación (R^2) y el Índice de Concordancia d (Ecuación 5) se calcularon para determinar el rendimiento del modelo general (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i' + O_i')^2}, \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (5)$$

Donde (n) es el número de observaciones, (P_i) el valor predicho para la i -ésima fecha y (O_i) el valor observado para la i -ésima fecha, y \bar{O} , la media general de los valores observados es \bar{O} .

RESULTADOS

Durante el periodo de estudio (julio de 2012 a enero de 2014), en la finca del municipio de Tenjo se registró una temperatura media de 12,5 °C (D.S.=0,5 °C) y humedad relativa que osciló entre 74 y 86%, con valor medio de 82% (D.S.=3,0%) y precipitación total acumulada de 1127,6 mm; en la finca del municipio de San Francisco de Sales se registró una temperatura media de 20,5 °C (D.S.=0,4 °C) y humedad relativa que osciló entre 63 y 97%, con valor medio de 82% (D.S.=9,4%) y precipitación total acumulada de 2401,8 mm.

En cuanto a la precipitación anual registrada para el año 2013 en las dos localidades de estudio, Tenjo registró una precipitación total acumulada de 806 mm y San Francisco registró 1583 mm, valores ligeramente mayores a la precipitación media anual, la cual es de 765 mm para Tenjo y 1493 mm para San Francisco.

Se observa que durante el periodo de estudio las temperaturas medias no presentan variación significativa

para cada uno de los periodos estudiados, tanto para la localidad de Tenjo como para la de San Francisco, presentándose una diferencia media de temperatura de 8,0 °C entre la finca ubicada en el municipio de Tenjo y la finca ubicada en el municipio de San Francisco (Tabla 2). Al comparar la precipitación registrada durante cada uno de los periodos de estudio con el número de días calendario necesarios para llegar de botón floral a la cosecha en cada periodo (Tabla 2), se observa que para el caso de la finca ubicada en el municipio de San Francisco, el número de días es menor a mayor precipitación, mientras que para la finca ubicada en el municipio de Tenjo se observa un comportamiento totalmente opuesto (a mayor precipitación, mayor número de días).

Estimación de la temperatura base (Tb)

Los modelos para la predicción del desarrollo fenológico requieren la estimación de la temperatura base (Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013). Como se mencionó anteriormente, existen varios métodos estadísticos que pueden ser utilizados para la estimación de Tb y con los cuales se pueden obtener resultados diferentes. Se utilizó el método de mínimo coeficiente de variación (CV), que es un método relativamente fácil para la estimación de las temperaturas base (Yang *et al.*, 1995). Los resultados mostraron que Tb varía dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo. El CV de la suma de calor acumulado para la estimación de Tb para los diferentes estados fenológicos de la feijoa considerados en este estudio, así como la ecuación de regresión, se muestran en la Fig. 1. Utilizando el método de mínima varianza (VAR), se encontró la misma tendencia que por el método de mínimo CV, con valores de Tb un poco diferentes, principalmente para las fases 3 y 4. Teniendo en cuenta el comportamiento fisiológico del cultivar de feijoa bajo las condiciones climáticas de producción, se decidió considerar las Tb obtenidas por el método de mínimo CV. En la Tabla 3 se presentan los valores de Tb estimados para cada fase fenológica por los dos métodos.

Aunque se observan diferencias no muy grandes en cuanto al valor obtenido de Tb para cada fase fenológica,

Tabla 2. Días calendario para ir de botón floral a la cosecha de frutos de feijoa, temperatura media registrada (T media) y precipitación acumulada (P) en cuatro periodos de estudio en las dos localidades.

Periodo	Días calendario		T media (°C)		P (mm)	
	Tenjo	San Francisco	Tenjo	San Francisco	Tenjo	San Francisco
1	200	166	12,3	20,5	299,4	573,8
2	227	176	12,6	20,9	604,0	346,4
3	205	164	12,5	20,4	551,6	868,4
4	205	164	12,3	20,3	449,0	1100,4

a partir de pruebas de Tukey donde se compararon las medias de las varianzas de la suma de GDC, calculadas con las Tb estimadas de cada una de las fases fenológicas de los periodos de estudio en las dos localidades, se determinó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las Tb de las fases 1 y 2, pero si las hay entre éstas y las Tb de las fases 3 y 4; tampoco hay diferencias estadísticamente significativas entre las Tb de las fases 3 y 4 ($\alpha = 0,05$).

Estimación del tiempo térmico (GDC)

Al igual que en otros estudios para diferentes productos, el cultivar de feijoa difiere en el número de días y tiempo térmico requerido para alcanzar cada uno de los estados fenológicos estudiados. La duración de cada fase en grados-día de crecimiento (GDC) para cada localidad estudiada (San Francisco y Tenjo) se determinó usando los valores de Tb estimados para cada una de las cuatro fases de desarrollo consideradas; igualmente se determinó los valores medios para cada una de las fases para las dos localidades (Tabla 4).

Considerando las Tb para cada una de las fases, la feijoa requiere una media de 196 GDC ($^{\circ}\text{C d}$) para llegar de botón floral a la antesis, 116 GDC para ir de la antesis al cuaje de fruto, 2307 GDC para ir de cuaje de fruto a la cosecha y 2651 GDC para llegar de botón floral a la cosecha del fruto. En general, el tiempo necesario para llegar a la cosecha desde botones florales en días calendario, varió de 168 días para San Francisco, hasta 210 días para Tenjo, con un promedio de 189 días. Los resultados indican que el número de días necesarios para ir de botón floral a la antesis, varió de 11,75 días (San Francisco) a 18,75 días (Tenjo); para ir de la antesis al cuaje de fruto, varió de 6,75 días (San Francisco) a 11,75 días (Tenjo) y para ir de cuaje de fruto a la cosecha, varió de 149,00 días (San Francisco) a 179,75 días (Tenjo).

En la Figura 2-A se presenta la evaluación del modelo por validación cruzada mediante la comparación de los días predichos y observados para ir desde botón floral hasta la cosecha, y en la Figura 2-B se presenta la validación cruzada mediante la comparación de los GDC predichos

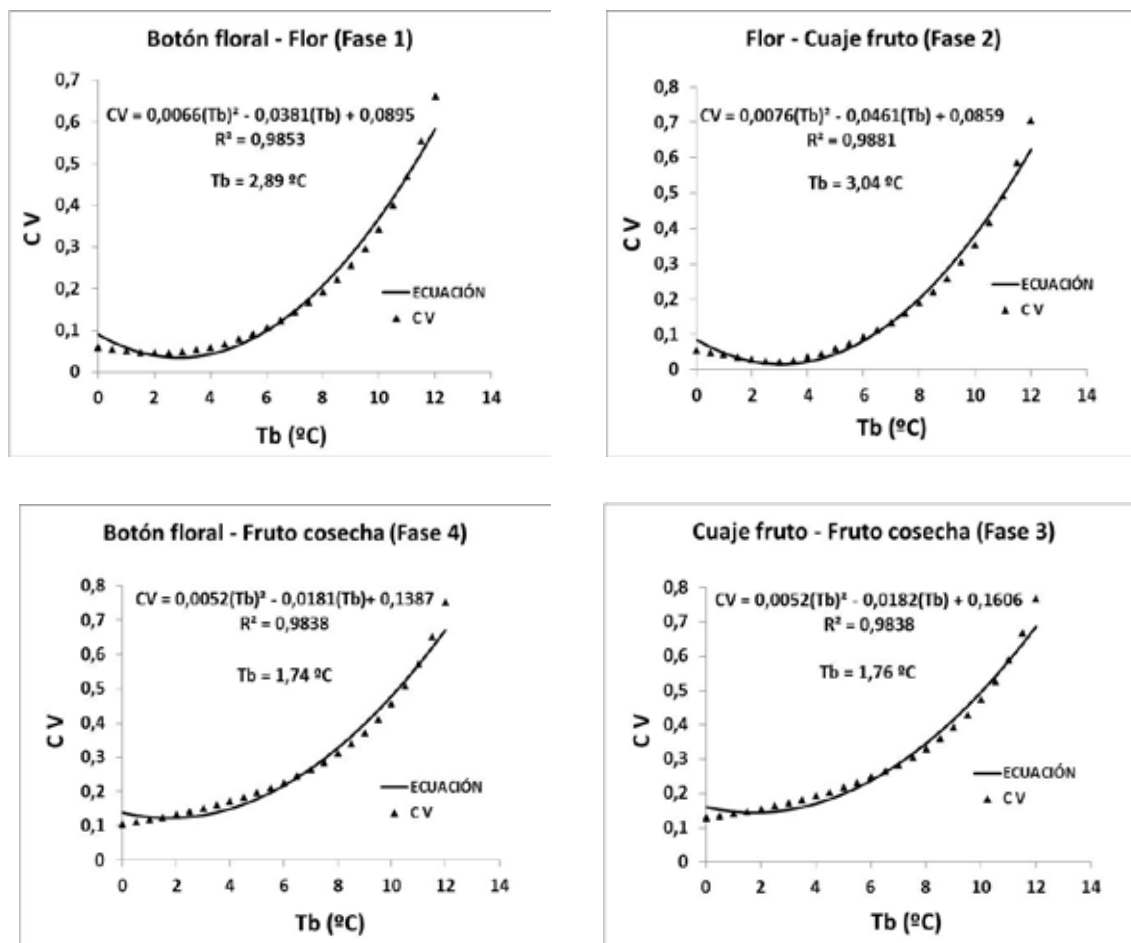


Figura 1. Temperatura base (Tb) para cuatro estados fenológicos de la feijoa, estimada para el mínimo Coeficiente de Variación (CV) de las cantidades de calor calculados (GDC).

y observados. La validación cruzada y los parámetros del análisis de regresión mostraron que el modelo predijo satisfactoriamente el número de días y los GDC para llegar a cada estado fenológico cuando se utilizó el valor de T_b estimado para las diferentes etapas (Figura 2). Se encontró una buena concordancia estadística; la intercepción no fue significativamente diferente de cero ($p < 0,05$) y la pendiente fue estadísticamente igual a 1; estas son las estimaciones esperadas para una muy buena bondad de ajuste entre los valores pronosticados (Y) y los observados (X). Además, la regresión también mostró alto coeficiente de determinación (R^2); el índice de Concordancia (d) refleja también una buena opción de ajuste del modelo para los diferentes estados del cultivar de feijoa (Figura 2).

DISCUSIÓN

El comportamiento opuesto que se observa entre las fincas de Tenjo y San Francisco al comparar la precipitación registrada en cada periodo de estudio con el número de días

necesarios para llegar de botón floral a la cosecha, podría explicarse por la influencia combinada de otras condiciones ambientales locales, tales como la temperatura, radiación solar, evapotranspiración y retención de humedad del suelo, entre otras, tal como lo indican García-Carbonell *et al.*, (2002), Salazar-Gutierrez *et al.*, (2013) y Fischer *et al.*, (2012), quienes indican que las condiciones climáticas tienen influencia sobre la fenología de la planta, la duración del tiempo de desarrollo y la maduración de los frutos, así como sobre las épocas de cosecha, especialmente en cultivos en condiciones tropicales.

Los periodos de mayor abundancia de botones florales estuvieron determinados por los periodos más secos en cada una de las fincas, requiriéndose de estrés hídrico para estimular la aparición de botones florales, lo cual concuerda con lo indicado por Quintero (2012) para feijoa y Fischer *et al.*, (2012) para cítricos. De acuerdo con las temperaturas registradas en las dos localidades del estudio, era de esperarse que los tiempos calendario para la aparición de

Tabla 3. Temperatura base (T_b) y valores medios de varianza de los tiempos térmicos (Var GDC) para cuatro estados fenológicos reproductivos de la feijoa.

Estado Fenológico	T_b (°C)	Var GDC
Botón floral a Antesis	2,89 a - (2,67)*	72,48 a
Antesis a Cuaje fruto	3,04 a - (2,96)*	7,14 a
Cuaje fruto a Cosecha	1,76 b - (0,00)*	16194,55 b
Botón floral a Cosecha	1,74 b - (0,00)*	13978,67 b

Medias seguidas de letras distintas en la misma columna indican diferencias, según prueba de Tukey ($p < 0,05$).

(*)* Valores de T_b determinados por el método de mínima varianza

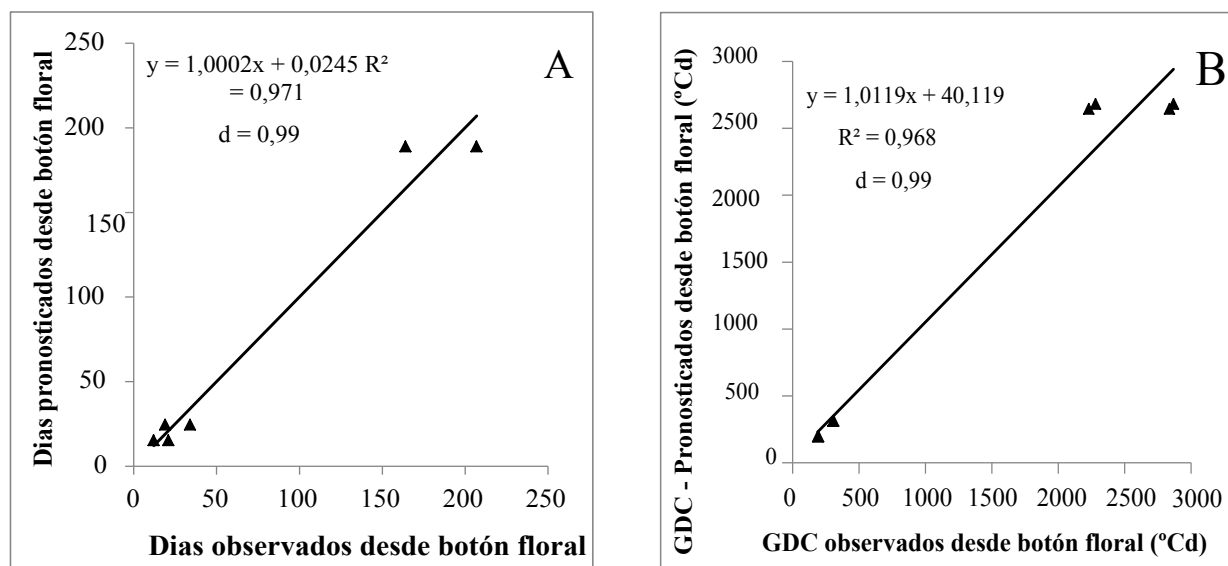


Figura 2. Validación cruzada para la feijoa usando las temperaturas base específicas para cada etapa fenológica. A. Comparación de los días pronosticados y observados desde botón floral hasta la cosecha. B. Comparación de los GDC pronosticados y observados.

los estados fenológicos en el cultivo de feijoa fueran menores en la finca de San Francisco (mayor temperatura media), en comparación con la finca de Tenjo, como efectivamente ocurrió (Tabla 4); este comportamiento está de acuerdo con lo indicado por Perea *et al.*, (2010), Asseng *et al.*, (2011) y Quintero (2012).

Estimación de la temperatura base (Tb)

Los valores de Tb y las pruebas de Tukey (Tabla 3) muestran que Tb no es constante durante todo el periodo reproductivo y que el uso de un único valor no es apropiado, pudiéndose utilizar una Tb de 3,04 °C para las fases 1 y 2 y una Tb de 1,76 para la fase 3. Estos resultados concuerdan con estudios realizados para otros cultivos por autores como Slafer y Savin (1991) y Madakadze *et al.*, (2003) entre otros, quienes indican que el conocimiento del valor de Tb para cada una de las etapas fenológicas permite un mejor manejo y control del cultivo. Los valores de Tb estimados para la feijoa siguen la misma tendencia encontrada por Salazar *et al.*, (2008b) para uchuva en Colombia y por Ruiz *et al.*, (1992) para guayaba. Para el caso de la uchuva, las Tb que usaron Salazar *et al.*, (2008b) para calcular el tiempo térmico (GDC) para alcanzar cada una de las fases fueron: de botón a flor 5,61 °C, de flor a cuaje de fruto 10,20 °C y de cuaje de fruto a fruto maduro fue de 1,89 °C. En el caso de la guayaba, la temperatura umbral mínima (Tb) para el desarrollo de la etapa botón floral-inicio de floración es de 10 °C y de 8,4 °C para la etapa inicio de floración-inicio de cosecha (Ruiz *et al.*, 1992).

En feijoa, los mayores valores de Tb de las dos primeras fases, indican que posiblemente tanto los botones florales como las flores y el fruto recién cuajado, son muy susceptibles a las bajas temperaturas, lo cual se manifiesta en abundante pérdida de estos órganos de la planta cuando la temperatura ambiente está por debajo de la Tb, como ocurre en la finca ubicada en el municipio de Tenjo, donde se presentan bajas temperaturas (heladas) en los meses de diciembre, enero y febrero. Este comportamiento concuerda con lo expresado por Fischer *et al.*, (2012), quienes indican que pocos frutales

toleran las heladas y que las bajas temperaturas pueden quemar las flores y los frutos recién cuajados, así como los nuevos brotes y las hojas. El bajo valor de Tb durante la fase 3, posiblemente indica que una vez los frutos han iniciado su crecimiento, estos se vuelven más tolerantes a las bajas temperaturas, pudiendo presentar pequeñas quemaduras superficiales por esta causa, pero sin interrumpir su proceso metabólico, continuando con su crecimiento.

Algunos autores usaron valores únicos de Tb para el cálculo de los GDC en todas las fases fenológicas de algunos cultivos, a diferencia de lo que se encontró en este estudio para feijoa, donde se encontraron diferentes Tb para cada etapa fenológica. Así, Stanley *et al.*, (2000) encontraron correlaciones significativas entre el crecimiento del fruto de manzana y la temperatura del aire con el uso de Tb de 10 °C para el cálculo de grados día; se ha considerado que un valor de Tb de 10 °C es conveniente para mangos (Mosqueda-Vázquez *et al.*, 1993). Ryugo (1988) menciona que el valor de Tb para frutales de pepita (manzano y peral) es de 7°C. Para tomates (Ardila *et al.*, 2011), duraznos (Medina Torres, 2000) ciruela (Medina Torres, 2000), y vid (Oliveira, 1998; Ortega-Farias *et al.*, 2002), se utiliza una Tb de 10 °C.

La Tb es un parámetro importante en los modelos de simulación del crecimiento y desarrollo, y debido a ello se han establecido valores de Tb para diferentes cultivos en diferentes etapas fenológicas. En feijoa estos valores no han sido reportados previamente, por lo que los resultados obtenidos en este estudio permitirán obtener un mayor conocimiento del cultivo y hacer un mejor manejo del mismo. Los resultados mostraron que la temperatura base no es constante a lo largo de las diferentes etapas del periodo reproductivo y que el uso de un único valor no es apropiado.

Estimación del tiempo térmico (GDC)

Aunque no existen grandes variaciones en la temperatura del día a día en cada localidad, si existen grandes diferencias en las temperaturas de una localidad a otra durante el periodo de estudio. El uso del tiempo térmico en lugar de tiempo calendario toma esta variabilidad en cuenta y proporciona

Tabla 4. Tiempo Térmico (GDC) y tiempo calendario (Días) para los estados fenológicos de la feijoa en las localidades de estudio.

		Etapa de desarrollo			
		Botón floral a Antesis	Antesis a Cuaje fruto	Cuaje fruto a Cosecha	Botón floral a Cosecha
GDC ± D.S. (°C d)	San Francisco	199 ± 9	116 ± 3	2625 ± 121	2965 ± 113
	Tenjo	192 ± 8	116 ± 2	1989 ± 133	2337 ± 124
	Valores medios	196 ± 9	116 ± 3	2307 ± 127	2651 ± 119
Días ± D.S.	San Francisco	11,75 ± 0,43	6,75 ± 0,43	149,00 ± 5,83	167,5 ± 4,97
	Tenjo	18,75 ± 2,28	11,75 ± 0,83	179,75 ± 12,21	210,25 ± 10,08
	Valores medios	15,25 ± 1,36	9,25 ± 0,63	164,38 ± 9,02	188,88 ± 7,53

una explicación para las diferencias en la madurez del fruto cuando las observaciones de diferentes años se comparan (Zotarelli *et al.*, 2009; Almanza *et al.*, 2010; López *et al.*, 2010; Ardila *et al.*, 2011; Salazar-Gutierrez *et al.*, 2013).

Como puede observarse (Tabla 2), en la finca del municipio de San Francisco, localizada a menor altitud (1800 m s.n.m.) y donde se obtuvieron las temperaturas medias diarias más altas, se requieren menos días calendario para llegar a la cosecha, lo cual concuerda con lo reportado por diferentes autores y para diferentes cultivos (Medel y Orueta, 1986; Medina Torres, 2000; Mendoza López *et al.*, 2004; Salazar, 2006; Perea *et al.*, 2010; Asseng *et al.*, 2011; Quintero, 2012). Al respecto y en concordancia con los resultados obtenidos, Mendoza López *et al.*, (2004) encontraron que cultivos de guayaba localizados a menor altitud, requirieron menos días calendario para alcanzar los diferentes estados fenológicos; indican que para las guayabas cultivada en cuatro altitudes diferentes en el oriente de Michoacan, el período de diferenciación floral y floración en la localidad ubicada a 1800 m s.n.m. ocupa de 81 a 92 días; de 71 a 76 días en la localidad ubicada a 1550 m s.n.m.; de 48 a 54 días a 1190 m s.n.m. y de 44 días a 700 m s.n.m. El crecimiento del fruto ocupa entre 170 y 180 días a 1800 m s.n.m.; entre 140 y 160 días a 1550 m s.n.m.; entre 120 y 135 días a 1190 m s.n.m. y menos de 120 días a 700 m s.n.m.

Al igual que en otros estudios para diferentes frutales, el cultivar de feijoa difiere en el tiempo térmico requerido para alcanzar cada uno de los estados fenológicos estudiados. Vayadoli Ocegueda (2008) utilizó Tb de 10 °C e indica que la influencia del clima sobre los GDC necesarios para el desarrollo del fruto de tres cultivares de mango fue mínima, requiriendo 1793,7 GDC y 1662,85 GDC para los climas semicálido subhúmedo y cálido subhúmedo respectivamente para 'Ataulfo', 2282,5 GDC y 2205,5 GDC para 'Kent', 2082,9 GDC y 1944,9 GDC para 'Tommy Atkins'. En manzanas 'Sampion' y 'Ligol' se requieren 2550 GDC y 2600 GDC respectivamente, para llegar a la cosecha desde plena floración, utilizando Tb de 0 °C (Lysiak, 2012). Stenzel *et al.* (2006) considerando una Tb de 12,8 °C encontraron que la suma térmica para el crecimiento y la maduración del fruto de naranja 'Folha Murcha' en Londrina y Paranaíba, se encuentra en el rango de 4462 a 5090 GDC.

La validación cruzada y los parámetros del análisis de regresión mostraron que el modelo fue capaz de predecir satisfactoriamente las fechas y los GDC, cuando se utilizó el valor de Tb estimado para las diferentes etapas, mostrando una muy buena bondad de ajuste entre los valores pronosticados y los observados, para los diferentes estados del cultivar de feijoa.

CONCLUSIONES

Los valores de Tb y GDC varían dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo; las Tb de las dos primeras fases presentaron diferencias estadísticas significativas con

respecto a las otras fases estudiadas, por lo que no es apropiado el uso de un único valor durante todo el periodo reproductivo, pudiéndose utilizar Tb de 3,04 °C para las fases 1 y 2 (de botón floral a antesis y de antesis a cuaje de fruto) y Tb de 1,76 °C para la fase 3 (de cuaje de fruto a cosecha); en general, se requiere una media de 2651 GDC y 189 días para llegar de botón floral a la cosecha del fruto. Los parámetros del análisis de regresión mostraron que el modelo predijo satisfactoriamente las fechas cuando se utilizó Tb estimada para las diferentes etapas, mostrando alto coeficiente de determinación; se encontró buen ajuste estadístico entre valores pronosticados y observados. El conocimiento de la temperatura base para cada etapa de desarrollo individual para un cultivar puede ser útil para la implementación de modelos de simulación de feijoa. Los días transcurridos desde botón floral hasta la cosecha, predichos con base en GDC acumulados por encima de una Tb para una fase específica puede ser útil para el manejo del cultivo, en actividades tales como la fertilización, las podas, el riego, la programación de la cosecha y otras prácticas que están asociadas con las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Estos resultados implican que la fecha de cosecha se puede predecir con éxito utilizando GDC con base en la Tb estimada para cada etapa de desarrollo individual. Se requiere más trabajo para estimar las temperaturas base y la duración de otros estados fenológicos; se recomienda realizar evaluaciones adicionales en virtud de una amplia gama de variedades de feijoa y del medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, por el apoyo financiero para la adquisición de dos estaciones meteorológicas indispensables para el desarrollo de la investigación. A la Dra. Celsa García Domínguez, profesora de la Facultad de Ciencias Agrarias, por el préstamo de dos estaciones meteorológicas y al Biólogo Omar Camilo Quintero, propietario de los cultivos de feijoa, por facilitar la investigación suministrando las fincas y el fruto requerido para los análisis de laboratorio.

REFERENCIAS

- Almanza P, Quijano-Rico M, Fischer G, Chávez, B, Balaguera-López HE. Physicochemical characterization during growth and development of grapevine (*Vitis vinifera* L.) fruits under high tropical conditions. *Agron Colomb*. 2010;28(2):173-180.
- Ardila G, Fischer G, Balaguera-López HE. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Rev Colomb Cienc Hort*. 2011;5(1):44-56.
- Asseng S, Foster I, Turner NC. The impact of temperature variability on wheat yields. *Glob Change Biol*. 2011;17(2):997-1012. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02262.x>

- Calviño PA, Sadras VO, Andrade FH. Development, growth and yield of latesown soybean in the southern Pampas. *Eur J Agron.* 2003;19(2):265-275. Doi: 10.1016/S1161-0301(02)00050-3
- CCI (Corporación Colombia Internacional). Producción y comercialización de la feijoa en Colombia. 2008 [citado 25 Nov 2010]; Disponible en: <http://interletras.com/manualCCI/Frutas/Feijoa/feijoa01.htm>
- Fischer G, Orduz-Rodríguez JO. Ecofisiología en frutales. In: Fischer G, editor. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá; 2012. p. 54-72.
- García-Carbonell S, Yagüe B, Bleiholder H, Hack H, Meier U, Agustí M. Phenological growth stages of the persimmon tree (*Diospiros kaki*). *Ann Appl Biol.* 2002;141(1):73-76. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2002.tb00197.x
- López MA, Chaves B, Flórez VJ, Salazar MR. Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos. *Agron Colomb.* 2010;28(19):47-54.
- Lysiak G. The sum of active temperatures as a method of determining the optimum harvest date of 'Sampion' and 'Ligol' apple cultivars. *Acta Sci Pol.* 2012;11(6):3-13.
- Madakadze IC, Stewart KA, Madakadze RM, Smith DL. Base temperatures for seedling growth and their correlation with chilling sensitivity for warm-season grasses. *Crop Sci.* 2003;43(3):874-878. doi:10.2135/cropsci2003.8740
- Matzarakis A, Ivanova D, Balafoutis C, Makrogiannis T. Climatology of growing degree days in Greece. *Clim Res.* 2007;34:233-240. Doi: 10.3354/cr00690
- McMaster GS, Wilhelm WW. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric For Meteorol.* 1997;87(4):291-300. Doi:10.1016/S0168-1923(97)00027-0
- Medel F, Orueta J. Estados fenológicos y adaptabilidad climática de las especies frutales arbóreas en el sur de Chile. *Agro Sur.* 1986;14(2):89-94.
- Medina Torres, R. Fenología y producción forzada de frutales caducifolios bajo condiciones subtropicales. (Tesis de Doctorado). Universidad de Colima, México; 2000. p. 161.
- Mendoza López MR, Luis Aguilar A, Castillo Orta SF. Guayaba (*Psidium guajava* L.) su cultivo en el oriente de Michoacan. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Campo experimental Uruapan. Folleto técnico No. 4. Uruapan, Michoacan; 2004. p. 49.
- Mosqueda-Vázquez R, Rosa F, Ireta-Ojera A. Degree-days and base temperature required for inflorescence and fruit development in mango Manila. *Acta Hort.* 1993;341:232-239.
- Normand F, Léchaudel M. Toward a better interpretation and use of thermal time models. *Acta Hort.* 2006;707:159-164.
- Oliveira M. Calculation of budbreak and flowering base temperature for *Vitis vinifera* cv. Touriga Francesa in the Douro region of Portugal. *Am J Enol Vitic.* 1998;49(1):74-78.
- Ortega-Farias SO, Lozano P, Moreno Y, León L. Desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez de vid para vino cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay. *Agri Tec.* 2002;62(1):27-37.
- Perea M, Fischer G, Miranda D. Feijoa. *Acca sellowiana* Berg. In: Perea M, Matallana LP, Tirado A, editors. Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; 2010. p. 330-349.
- Pulido S, Bojacá CR, Salazar M, Chaves B. Node appearance model for Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the high altitude tropics. *Biosyst Eng.* 2008;101:383-387. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2008.09.009
- Qi A, Wheeler TR, Keatinge JDH, Ellis RH, Summerfield RJ, Craufurd PQ. Modeling the effect of temperature on the rates of seedling emergence and leaf appearance in legume cover crops. *Exp Agric.* 1999;35:327-344.
- Quintero OC. Feijoa (*Acca sellowiana* Berg). In: Fischer G, editor. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá; 2012. pp. 443-473.
- Rodríguez W, Flórez V. Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. *Agron Colomb.* 2006;24(2):247-257.
- Ruiz CJA, Ortiz C, Aceves L, Becerril E. Caracterización fenológica del guayabo. *Agrociencia Serie Agua Suelo Clima.* 1992;3(2):95-114.
- Ruiz CJA, Sánchez JJ, Goodman MM. Base temperature and heat unit requirement of 49 mexican maize races. *Maydica.* 1998;43:277-282.
- Ruiz-Corral J, Flores-López H, Ramírez-Díaz J, González-Equiarte D. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia.* 2002;36:569-577.
- Ruml M, Vuković A, Milatović D. Evaluation of different methods for determining growing degree-day thresholds in apricot cultivars. *Int J Biometeorol.* 2010;54:411-422. Doi: 10.1007/s00484-009-0292-6.
- Ryugo K. *Fruit Culture: Its science and art.* New York: Wiley; 1988. p. 107-189.
- Salazar, MR. Un modelo simple de producción potencial de uchuva (*Physalis peruviana* L.). (Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias - Área Agraria). Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006. p.110.
- Salazar MR, Jones JW, Chaves B, Cooman A. A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Sci Horticult-Amsterdam.* 2008a;115(2):142-148. Doi: 10.1016/j.scienta.2007.08.015
- Salazar MR, Jones JW, Chaves B, Cooman A, Fischer G. Base temperature and simulation model for nodes appearance in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Rev*

- Bras Frutic. 2008b;30(4):862-867. Doi: 10.1590/S0100-29452008000400004
- Salazar-Gutierrez MR, Johnson J, Chaves-Cordoba B, Hoogenboom G. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *Int J Plant Prod.* 2013;7(4):741-762.
- Schuman M, Lüdders P. Cultivation of feijoa: Possibilities and limits in Colombia. *Erwerbsobstbau.* 1992;34(4):110-112.
- Sikder S. Accumulated heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. *J Agric Rural Dev.* 2009;7(1-2):57-64.
- Slafer GA, Savin R. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum*). *J Exp Bot.* 1991;42:1077-1082.
- Slafer GA, Rawson HM. Rates and Cardinal Temperatures for Processes of Development in Wheat: Effects of Temperature and Thermal Amplitude. *Austr J Plant Physiol.* 1995;22:913-926.
- Stanley C, Tustin D, Lupton G, Mcartney S, Cashmore W, De Silva H. Towards understanding the role of temperature in apple fruit growth responses in three geographical regions within New Zealand. *J Hortic Sci Biotech.* 2000;74(4):413-422.
- Stenzel NMC, Neves CSVJ, Marur CJ, Scholz MBdS, Gomes JC. Maturation curves and degree-day accumulation for fruits of 'Folha Murcha' orange trees. *Sci Agric.* 2006;63(3):219-225. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162006000300002>
- Trudgill DL, Honek A, Li D, Van Straalen NM. Thermal time - Concepts and utility. *Ann Appl Biol.* 2005;146(1):1-14. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2005.04088.x
- Vayadoli Ocegueda L. Dinámica de crecimiento del fruto de tres cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) en dos climas de Nayarit. (Tesis pregrado). Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit. 2008. p.51
- Yang S, Logan J, Coffey DL. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agric For Meteorol.* 1995;74(1-2):61-74. Doi: 10.1016/0168-1923(94)02185-M
- Zotarelli L, Scholberg JM, Dukes MD, Muñoz-Carpena R, Icerman J. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agr Water Manage.* 2009;96(1):23-34. Doi: 10.1016/j.agwat.2008.06.007