

# Modelo de Desarrollo Floral en Manzanos [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh) Mansf.] Red Delicious y Golden Delicious como Herramienta de Toma de Decisiones en el Manejo Integrado de Enfermedades

**Manuel Rafael Ramírez-Legarreta, Juan Luis Jacobo-Cuéllar, INIFAP, Campo Experimental Sierra de Chihuahua (CESCH), Hidalgo 1213, Zona Centro, Cuauhtémoc, Chihuahua, México CP 31500; Alfonso Antero Gardea-Béjar, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., km 0.6 Carr. a la Victoria, Hermosillo, Sonora, México CP 83000; y Rafael Ángel Parra-Quezada, CESCH.** Correspondencia: legarreta.manuel@inifap.gob.mx

(Recibido: Septiembre 5, 2008 Aceptado: Octubre 25, 2008)

Ramírez-Legarreta, M.R., Jacobo-Cuéllar, J.L., Gardea-Béjar, A.A. y Parra-Quezada, R.Á. 2008. Modelo de desarrollo floral en manzanos [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh) Mansf.] red delicious y golden delicious como herramienta de toma de decisiones en el manejo integrado de enfermedades. Revista Mexicana de Fitopatología 26:153-163.

**Resumen.** Durante 1996, 1997 y 1998 se monitoreó la dinámica de desarrollo de yemas florales en árboles de manzano de los cultivares Red Delicious (RD) y Golden Delicious (GD). Los estadios evaluados fueron: eco-repozo, punta verde, media pulgada verde, racimo estrecho, rosa completo, floración, caída de pétalos y amarre de frutos. El tamaño de muestra monitoreado en los tres años varió entre 330 y 556 yemas. El análisis de la información se realizó mediante la distribución Weibull y unidades térmicas en función de un índice fisiológico de 7°C. Los resultados obtenidos indicaron que el período de brotación-amarre de fruto requirió  $354 \pm 33$  unidades térmicas (UT) en RD y de  $431 \pm 45$  UT en GD. El estadio de floración tuvo una duración de  $106 \pm 9$  UT en RD y de  $187 \pm 45$  UT en GD. Las fechas de inicio de brotación fueron 15 de marzo y 1 de abril en 1996; 13 de marzo y 24 de marzo en 1997, y para 1998 el 19 de marzo y 30 de marzo para RD y GD, respectivamente. Los datos climáticos indican que la calidad de invierno decayó de manera continua desde 1992 a 1999.

Palabras clave adicionales: Fenología, unidades térmicas, distribución Weibull.

La fenología se refiere al desarrollo, diferenciación o inicio de órganos de una planta (Hodges, 1991). Otros autores (Beers *et al.*, 1993) relacionan este desarrollo con el clima. Los modelos fenológicos ayudan a predecir la época más adecuada para la realización de actividades de manejo de los cultivos.

**Abstract.** Dynamics of flower bud development in apple trees cvs. Red Delicious (RD) and Golden Delicious (GD) was monitored in 1996, 1997, and 1998. The phenological stages evaluated were: eco-dormant, green tip, half-inch green, tight cluster, full pink, bloom, petal fall, and fruit set. Sample size varied from 330 to 556 buds. Data analysis was done by a Weibull distribution, and a time scale expressed as thermic units (UT) was used, considering a threshold of 7°C. Results indicate that the period from initial break to bloom required  $354 \pm 33$  UT in RD and  $431 \pm 45$  UT in GD. The bloom stage lasted for  $106 \pm 9$  UT in Rd and  $187 \pm 45$  UT in GD. The budbreak process in RD started on March 15, 1996, March 13, 1998, and on March 19 in 1999; while for GD started on April 1, March 24 and 30 in the same years. Weather data showed that winter quality decreased in a continuous fashion from 1992 to 1999.

Additional keywords: Phenology, thermic units, Weibull distribution.

## Abbreviated article.

Phenological models are useful to predict the most appropriate timing for crop management activities. Blooming is an important phenological event of apple [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh) Mansf.], because it affects aspects that will impact crop management during the rest of the season: pollination (Guerrero *et al.*, 2006), late frost prevention (Miranda and Royo, 2004; Ramírez-Legarreta *et al.*, 2006), management of *Cydia pomonella* L. (Beers *et al.*, 1993), *Frankliniella occidentalis* Pergande, *Lygus lineolaris* Palisot de Beauvois (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2004), and *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow, Broadhurst, Buchanan, Krumwiede, Roger and Smith (Steiner and Lightner, 1996). Intensity and quantity of investment of resources for crop

Un evento fenológico importante en manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh) Mansf.], es la floración, ya que determina aspectos que serán definitivos en el manejo del cultivo en el resto del ciclo. Durante la floración se lleva a cabo el manejo de la polinización (Guerrero *et al.*, 2006), la prevención contra el daño de heladas tardías (Miranda y Royo, 2004; Ramírez-Legarreta *et al.*, 2006), se inicia el manejo de *Cydia pomonella* L. (Beers *et al.*, 1993), *Frankliniella occidentalis* Pergande, *Lygus lineolaris* Palisot de Beauvois (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2004), y *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow, Broadhurst, Buchanan, Krumwiede, Roger y Smith (Steiner y Lightner, 1996). La intensidad y cantidad de inversión para el manejo del cultivo durante el ciclo, depende de todos los eventos colaterales que ocurren durante la etapa de floración del manzano y su efecto sobre la densidad de flores (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2004). El entendimiento de la etapa de floración, queda comprendido dentro de una serie de eventos fenológicos que suceden entre las etapas de brotación hasta amarre de fruto y que se encuentran sobrepuestos entre ellos. Aunque las actividades o factores anuales de manejo del cultivo del manzano (Hull *et al.*, 1983), se realizan prácticamente durante los 12 meses del año, éstas son más intensivas una vez que el árbol inicia la brotación. El proceso de brotación-amarre de fruto es el que determina el resto de actividades mencionadas, ya que si la cosecha potencial derivada de una densidad de flores y amarre de fruto es alta, provocará mayor probabilidad de incrementar la rentabilidad del sistema de producción. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar y proponer un modelo fenológico del proceso comprendido entre las yemas en eco-reposo hasta amarre de fruto mediante el uso de unidades térmicas a través de siete estadios de desarrollo de los cultivares Red Delicious (RD) y Golden Delicious (GD), haciendo énfasis en el estadio de floración, que pueda ser incorporado a la toma de decisiones de manejo de plagas y enfermedades durante estas etapas del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio de estudio.** El trabajo se desarrolló en el municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua, México ubicado a 28° 25' LN y 106° 51' LO, altitud de 2010 m, con clima semiseco templado, una precipitación pluvial promedio de 478 mm, y temperatura media anual de 14.2°C (Medina-García *et al.*, 2006). Las temperaturas máximas y mínimas diarias de los meses de marzo, abril y mayo dentro del huerto experimental fueron tomadas por una estación computarizada Weather Monitor II™, Davies, ubicada en la parte central de los 20 árboles monitoreados.

**Fenología de yemas en reposo.** Durante los ciclos 1996, 1997 y 1998 se evaluó la dinámica de desarrollo de yemas florales ubicadas en madera de segundo y tercer año de cuatro ramas con orientación cardinal de 10 árboles de los cultivares RD y GD injertados sobre portainjertos fracos en un huerto de 30 años de edad con densidad de plantación de 400 árboles/ha y riego por aspersión. Los estadios evaluados fueron: eco-reposo, punta verde, media pulgada verde, racimo estrecho,

management depend on collateral events which occur during blooming and its effect on flower density (Ramírez *et al.*, 2004). Although activities or annual factors of apple management (Hull *et al.*, 1983) are carried out practically during the whole year, they are more intensive once the tree initiates budbreak. The stages of budbreak-fruit set determine the rest of the activities; if the potential harvest derives from a high flower density and fruit set, it will induce a possibly more profitable production system. The objective of this work was to analyze and propose a phenological model of the process from eco-dormant buds to fruit set, by the use of thermic units through seven phenological stages in cultivars Red (RD) and Golden Delicious (GD), emphasizing blooming to be incorporated for decision-making on pest and disease management during these stages of crop development.

## MATERIALS AND METHODS

**Site of the study.** This work was carried out in Cuauhtemoc County, Chihuahua, Mexico located at 28° 25' LN and 106° 51' LO, altitude 2010 m, with semidry temperate climate, average rainfall 478 mm, and average annual temperature of 14.2°C (Medina-García *et al.*, 2006). Maximum and minimum daily temperatures during March, April, and May inside the experimental orchard, were recorded by a computerized weather station Monitor II™, Davies, located in the central area of 20 trees which were monitored.

**Phenology of dormant buds.** The dynamics of floral bud development on wood of two and three years in four branches with cardinal orientation in 10 trees of cultivars RD and GD was evaluated during seasons 1996, 1997, and 1998. The orchard was 30 years old with plant density of 400 trees/ha and sprinkle-irrigated. Phenologic stages evaluated were: eco-dormant, green tip, a half-inch green, tight cluster, full pink, bloom, petal fall, and fruit set (Proebsting y Mills, 1978). Measurements were taken twice a week to the same bud group, during March, April, and May during the three years. Total number of buds monitored were 330 and 356 in 1996; 506 and 556 in 1997; 508 and 470 in 1998 for RD and GD, respectively (Gardea-Béjar, 1987).

**Statistical analysis.** Modeling and fluctuation of phenologic stages was done with SAS for windows version 9.1 (SAS, 2003), using Weibull's model (Weibull, 1951) with some modification (Pennypacker *et al.*, 1980). Weibull's model may be expressed as follows (Jacobo-Cuéllar *et al.*, 2005):

$$y = 1 - e^{-\left(\frac{ut}{b}\right)^c}$$

Where  $y$  is the intensity change of the phenologic stage by time unit,  $b$  estimates the increment rate in its inverse form ( $1/b$ ) of the phenological variable with thermic units (UT), and  $c$  is a parameter of curve form (Jacobo-Cuéllar *et al.*, 2005) and lacks units. Calculation of thermic units required in each phenologic stage was done with the sinus method and expressed as follows:

rosa completo, floración, caída de pétalos y amarre de frutos (Proebsting y Mills, 1978). Las mediciones se realizaron dos veces por semana al mismo grupo de yemas, durante los meses de marzo, abril y mayo de los tres años. El total de yemas monitoreadas fue de 330 y 356 en 1996; 506 y 556 en 1997; 508 y 470 en 1998 para RD y GD, respectivamente (Gardea-Béjar, 1987).

**Análisis estadístico.** La modelación de la fluctuación de los estadios fenológicos se realizó con la versión 9.1 de SAS para Windows (SAS, 2003), utilizándose el modelo Weibull (Weibull, 1951) modificado (Pennypacker *et al.*, 1980). El modelo Weibull se puede expresar de la siguiente forma en su versión integrada (Jacobo-Cuéllar *et al.*, 2005):

$$y = 1 - e^{-\left(\frac{ut}{b}\right)^c}$$

Donde y es la tasa de cambio de intensidad de la variable estadio fenológico por unidad de tiempo, b es un estimador de la tasa de incremento en su forma inversa (1/b) de la variable fenológica con unidades térmicas (UT) y c es un parámetro de la forma de la curva (Jacobo-Cuéllar *et al.*, 2005) y carece de unidades. El cálculo de las unidades térmicas requeridas en cada estadio fenológico se hizo con el método seno expresado en la siguiente fórmula:

$$UT = \sum_{EF\ 1..n}^{\text{EF } 2..n} \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{\text{base}} \right)$$

Donde UT son las unidades térmicas de las etapas fenológicas (EF..n); Tmax es la temperatura máxima diaria; Tmin es la temperatura mínima diaria; y Tbase es la temperatura base del desarrollo del manzano que se consideró en 7°C (Anstey, 1965). El cálculo de unidades térmicas se inició con la brotación del cultivar Red Delicious, haciéndose en forma continua para el cultivar Golden Delicious, bajo la premisa de que la mayoría de los huertos de manzano en el estado de Chihuahua están formados con mezclas de ambos cultivares. Se realizó un análisis de calidad de invierno con base a la acumulación de unidades frío durante los inviernos 84-85 a 98-99 debido al efecto que ésta tiene sobre la floración del manzano y por ende sobre el nivel de riesgo de ataque de *Erwinia amylovora* y *Alternaria* spp., así como para ubicar bajo qué condiciones se desarrolló el estudio. El cálculo de unidades frío se realizó mediante el método de Utah (Richardson *et al.*, 1974), mediante el software SICA (Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas) utilizado también en el cálculo de unidades térmicas (Medina-García, 1989).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Cinética de desarrollo de yemas en reposo.** Los resultados obtenidos indican que en los tres años evaluados (1996, 1997 y 1998) la brotación de RD inició los días 15 (estimado), 10 y 16 de marzo. En GD ocurrió en los días 28, 20 y 26 de Marzo

$$UT = \sum_{EF\ 1..n}^{\text{EF } 2..n} \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{\text{base}} \right)$$

Where UT are thermic units of phenologic stages (EF..n); Tmax is the maximum daily temperature; Tmin is the minimum daily temperature; and Tbase is the temperature base for apple development which is 7°C (Anstey, 1965). Calculation of thermic units initiated with budbreak in cv. RD, then in GD, under the assumption that most orchards in the state of Chihuahua consist of combinations of both cultivars. Winter quality was analyzed based on accumulation of cold units during winters in 1984-85 to 1998-99, because it has an important effect on blooming, on the risk level of attack by *Erwinia amylovora* and *Alternaria* spp. Calculation of cold units was done with the Utah's method (Richardson *et al.*, 1974), using SICA (Sistema de Información y Agroclimática Characterization System) software, which is also used to calculate thermic unit (Medina-García, 1989).

## RESULTS AND DISCUSSION

**Kinetics of eco-dormant buds.** Results indicated that in 1996, 1997, and 1998 budbreak in RD initiated on March 15, 10, and 16, and on March 28, 20, and 26 in GD (Fig. 2), GD bloomed twelve days later than RD. There was an important overlap between phenologic stages subsequent to eco-dormancy in both cultivars in 1996; the overlap was smaller in 1997 and 1998, possibly because there was less accumulation of cold units (Fig. 1). The process was better defined in RD than GD. The end of fruit set in RD was registered on April 29, 28, and 27 (1996, 1997, 1998) and on May 13, 8, and 7 (1996, 1997, 1998) in GD (Fig. 2). It took 45 days (1996), 48 (1997), and 44 (1998) in RD between budbreak and fruit set, while in GD it took 46 (1996), 49 (1997), and 42 (1998). There are orchards that require about 60 days between budbreak and fruit set, a fact that makes more complicated decision-making for pest and disease management as well as for frost. Variability of GD behaviour in each of the phenologic stages has also been detected in other studies (Guerrero *et al.*, 2006). In 1996, the percentage of buds in RD that reached fruit set was 24.2 and 33.1 in GD; in 1997 it was 33.2 and 29.1, respectively, and in 1998 the percentage of buds with fruit set in relation to the total initially registered in eco-dormancy was 26.4 and 21.2. The average percentage of eco-dormant buds that reached fruit set was  $28 \pm 3.5$  in RD and  $27.8 \pm 4.4$  in GD.

**Blooming stage using thermic units.** Blooming under the Gregorian calendar time scale has average variations between years which range from six days for initiation and five for ending of this stage in RD, and from five and three for GD (Fig. 3). Blooming lasted 21, 18, and 17 days in RD during 1996, 1997, and 1998, respectively; and 28, 25, and 31 in GD for the same years. In studies carried out on pollination in cv. Red Chief, blooming lasted 35 and 20 days during different cycles; similarly, blooming in GD lasted 29 and 22 days in those same years (Guerrero *et al.*, 2006). Analysis of the event through UT, show that curves overlap and are more uniform

(Fig. 2), GD floreó doce días más tarde que RD. En GD las fechas de inicio de brotación tienden a ser similares en relación a otros ciclos donde el proceso de brotación inició entre el 20 y 28 de marzo (Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar, 1999). En la Figura 2 se observa un importante traslape entre los estadios de desarrollo subsecuentes al reposo en ambos cultivares durante 1996; en cambio en 1997 y 1998, el traslape fue menor, con una mayor diferenciación entre los estadios fenológicos, debido posiblemente a la menor acumulación de frío presentada durante estos últimos años (Fig. 1). A diferencia de GD, el proceso fue más definido en RD. Los datos obtenidos indicaron que el fin del estadio de amarre de fruto se registró los días 29, 28 y 27 de abril (1996, 1997, 1998) en RD y el 13, 8 y 7 de mayo (1996, 1997, 1998) en GD (Fig. 2). El tiempo transcurrido desde el inicio de la brotación hasta el amarre de fruto fue de 45 (1996), 48 (1997) y 44 (1998) días en RD, en tanto que en GD fue de 46 (1996), 49 (1997) y 42 (1998) días. La duración total de la brotación fue similar en ambos cultivares: en RD requirió de  $45.6 \pm 1.5$  días para completar todos los eventos y en el caso de GD fueron requeridos  $45.6 \pm 2.4$  días. Aunque en términos aritméticos la diferencia entre ambos es de menos de un día, en la región de Chihuahua, México, el 95% de los huertos presentan mezclas de estos cultivares. La realidad en campo es que se tienen huertos con períodos de brotación-amarre de fruto cercanos a los 60 días, situación que hace más compleja la toma de decisiones, como manejo de plagas y enfermedades y manejo de daño por heladas. Es observable que el tiempo transcurrido en ambos cultivares no guarda grandes diferencias y en algunos estadios, éstas pueden ser originadas por las temperaturas ambientales del ciclo en cuestión, por características genotípicas o acumulación efectiva de frío durante el invierno.

in relation to the beginning and half of the process (Fig. 3). This way of analysis and interpretation of biological events, allows more uniformity of the information because it takes into consideration environmental effect (temperature in this case); on the other hand, the Gregorian or Julian separates any biological event from variables related to the process. The number of accumulated UT from the beginning of budbreak to blooming initiation was  $108 \pm 56$  for RD, and  $166 \pm 38$  for GD. These results for GD are different from those obtained in other studies, where accumulated UT were  $203 \pm 29$  (Ramírez-Legarreta and Jacobo-Cuéllar, 1999).

**Model for Weibull distribution.** Data obtained was recorded as progress percentage of the phenologic stages evaluated, with the same beginning in the accumulation of UT for both cultivars (Fig. 4). Initiation of budbreak to fruit set in RD required  $354 \pm 33$  UT and in GD  $498 \pm 41$  UT. Since most orchards in Chihuahua have a mixture of these two cultivars, the process of budbreak to fruit set would require 500 UT, which would take an average of 60 days with the consequent increment in production costs and a complicated disease management; therefore, UT allows to predict annual development based on prevailing temperatures, and diagnostics have the potential of being more accurate. Figure 5 shows the behaviour of blooming (A) and fruit set (B) in both cultivars through application of Weibull's distribution; blooming in RD was faster than in GD (Fig. 5A), so the objective to overlap blooming in GD with RD to overcome the latter's self-sterility was not fulfilled, since only 20% of GD's flowers had an effective overlap. Blooming in RD through adjustment of Weibull's distribution took  $106 \pm 9$  UT, and  $187 \pm 45$  UT ( $7^{\circ}\text{C}$ ) in GD. This indicates that phytosanitary aspects like management of *Erwinia amylovora*

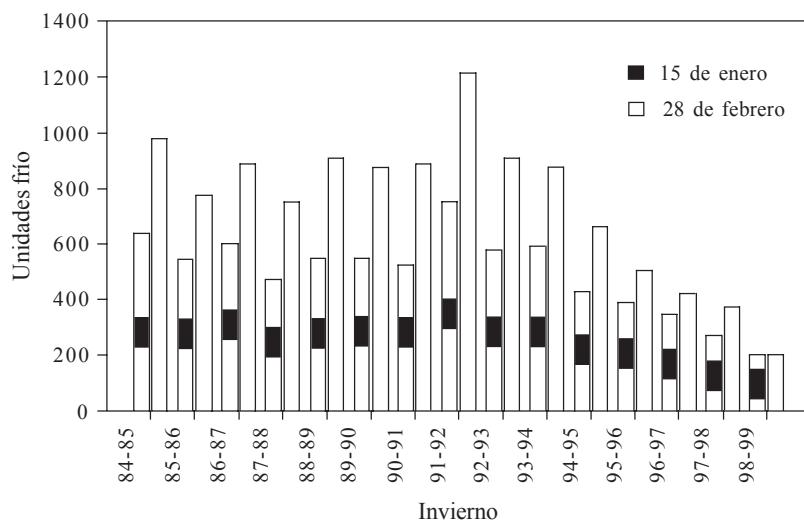


Fig. 1. Acumulación de unidades frío en Cuahtémoc, Chihuahua, México, durante los períodos invernales del 1984-99, calculadas mediante el método Utah en dos fechas.

Fig. 1. Accumulation of cold units in Cuahtémoc, Chihuahua, Mexico, during the winter seasons 1984-99, calculated by the Utah method in two dates.

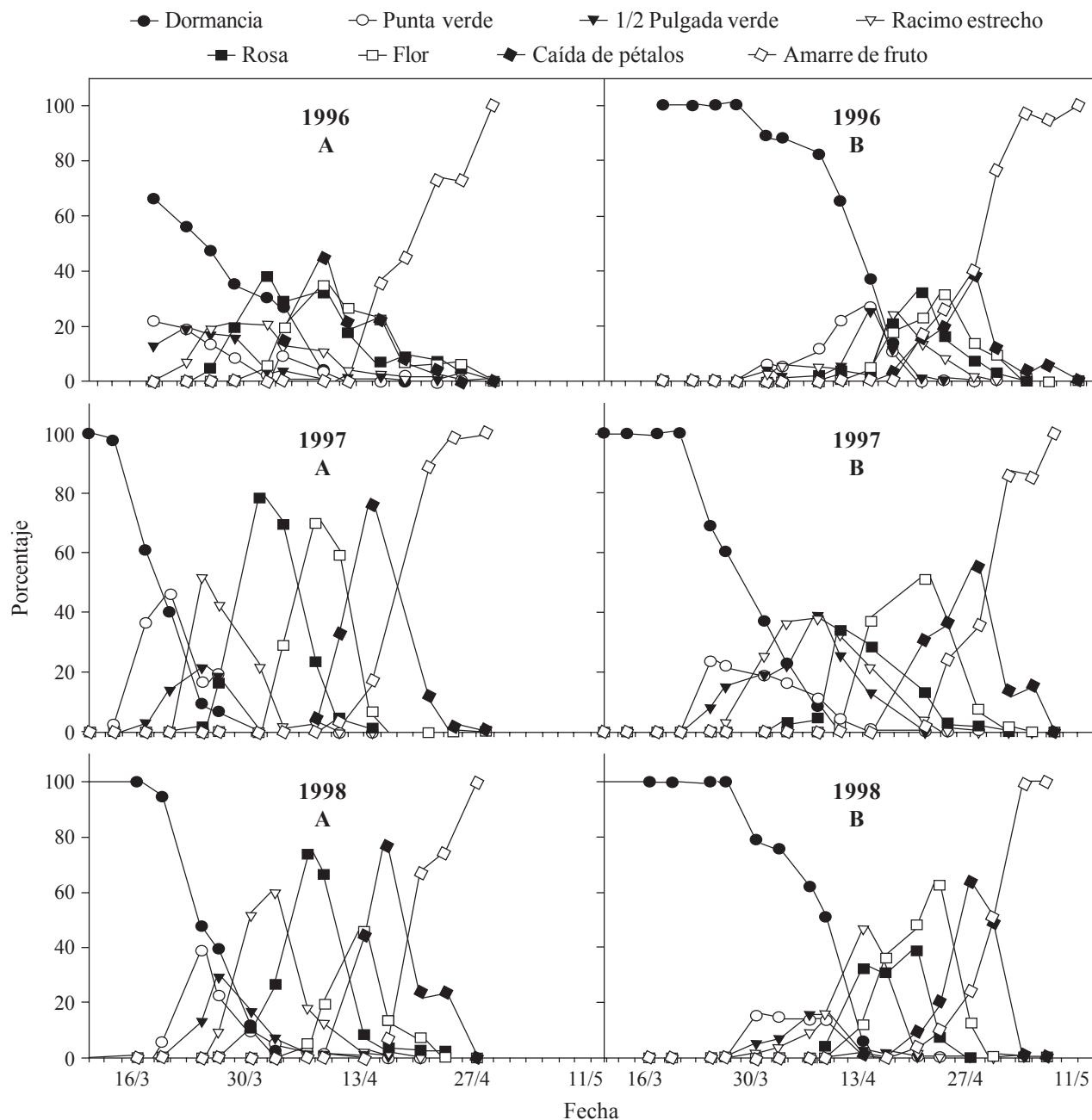


Fig. 2. Cinética de yemas dormantes de manzano (*Malus sylvestris* var. *domestica*) cvs. Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) a través de siete estadios de desarrollo. Cuauhtémoc, Chihuahua. México, 1996-1998.

Fig. 2. Kinetics of apple (*Malus sylvestris* var. *domestica*) dormant buds in cvs. Red (A) and Golden Delicious (B), through seven phenologic stages in Cuauhtémoc, Chihuahua, Mexico, during seasons 1996-1998.

Los datos obtenidos indican también que aquellos esquemas de toma de decisiones o recomendaciones realizadas con referencia a un porcentaje determinado de yemas en cualquier estadio de desarrollo es inexacto (Steiner y Lightner, 1996), sobre todo en ciclos como 1996 donde el pico poblacional máximo alcanzado no excedió al 50% en cualquier estadio. La variabilidad en el comportamiento de cada uno de los estadios fenológicos de GD, también ha sido detectada en otros

are easier to control since this process is faster in RD than GD. Fruit set took  $173 \pm 64$  UT in RD and  $230 \pm 69$  UT in GD. With the exception of budbreak of eco-dormant buds, the other seven phenologic stages were reached faster in RD than in GD (Table 2). After budbreak, some stages were faster than others in both cultivars; a half-inch green stage was faster than the rest and fruit set was the longest. The latter makes more difficult chemical thinning, and influences the

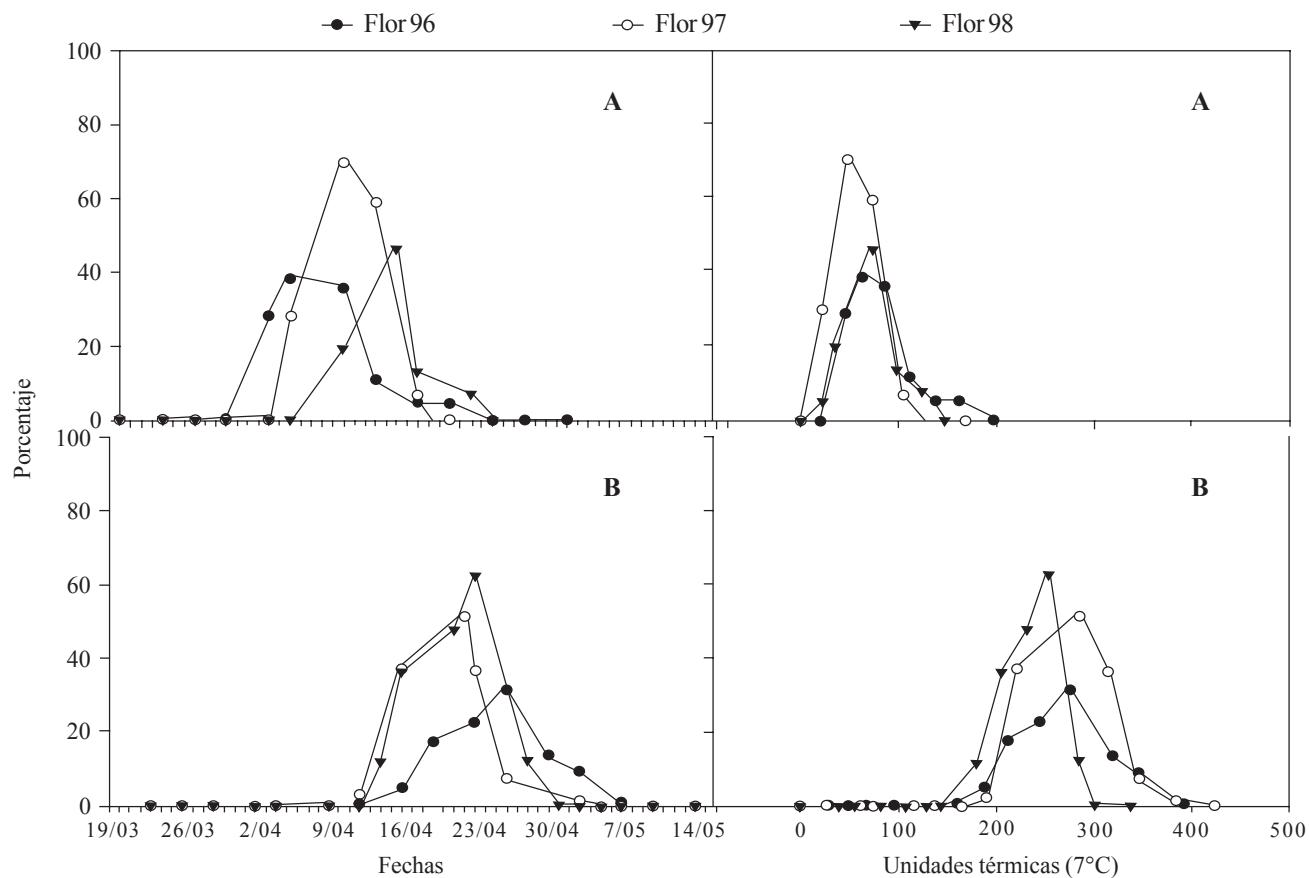


Fig. 3. Cinética de floración durante tres años de los cultivares Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) mediante el calendario Gregoriano y unidades térmicas ( $7^{\circ}\text{C}$ ) acumuladas a partir del primer registro de brotación.

Fig. 3. Kinetics of blooming during three years in cvs. Red (A) and Golden Delicious (B) through Gregorian calendar and accumulated thermic units ( $7^{\circ}\text{C}$ ) from the first registration of budbreak.

trabajos (Guerrero *et al.*, 2006). Del total de yemas monitoreado, en 1996 llegaron a fruto amarrado el 24.2% en RD y 33.1 en GD, en 1997 el porcentaje fue de 33.2 y 29.1, respectivamente, y para 1998 el porcentaje de yemas con amarre de fruto en relación al total inicial registrado en reposo fue de 26.4 y 21.2%. El promedio de yemas en eco-reposo que llegaron a fruto amarrado fue de  $28 \pm 3.5\%$  para RD y de  $27.8 \pm 4.4\%$  en GD.

**Estadio de floración utilizando unidades térmicas.** La Figura 3 muestra el comportamiento del estadio de floración bajo dos enfoques. El primero presenta el proceso en función de una escala de tiempo en calendario gregoriano y la segunda mediante una escala en UT acumuladas (Wilson y Barnett, 1983; Zalom *et al.*, 1983; Zalom y Morse, 1991). Con el primer enfoque, es posible percibir desfases promedio entre años que oscilan entre 6 días para el inicio de floración y cinco días para la finalización del evento en RD y de cinco días para inicio del evento y tres para finalizar en GD. La duración en días del estadio de floración fue de 21, 18 y 17 días en RD durante los ciclos 1996, 1997 y 1998, respectivamente; en tanto que para GD la duración fue de 28, 25 y 31 días en los mismos años. En estudios realizados sobre polinización en el

producción de frutos con diferentes tamaños, maduración y cosecha. La floración en RD implica un mayor riesgo para las heladas tardías, la enfermedad del fuego y el corazón podrido, porque es compacta y su ocurrencia se produce cuando las heladas tardías aún son probables. Durante los ciclos de estudio, 79% de los días con  $< -1^{\circ}\text{C}$  ocurrieron entre marzo 20 y abril 15, y 21% ocurrieron después del 15 de abril. El porcentaje de flores abiertas en cada cultivar es un indicador del riesgo de daño por *Erwinia amylovora*. El estudio detectó que RD permite que un promedio de 6% de las flores se abran diariamente, mientras que GD permite 4%. Una flor abierta permanece receptiva a la infección durante unos 6 días (Thomson y Gouk, 2003), por lo que el período crítico para la enfermedad del fuego epífytica cae entre el 20% y el 80% de la caída de pétalos, lo que significa que hay al menos una flor abierta para cada grupo floral (Steiner y Lightner, 1996). El riesgo en términos de cantidad de flores abiertas es similar para la infección por *Alternaria* spp. (Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar, 1999), aunque exclusivamente para RD. La Tabla 1 presenta los valores ajustados promedios por función Weibull para cada etapa fenológica después del brotación y el dormir ecológico hasta la fijación del fruto.

**Accumulation of cold winter.** Accumulation of cold units up to winter in 1991-1992, had a constant tendency and a slope

cultivar Red Chief, el estadío de floración duró 35 y 20 días durante ciclos diferentes, así mismo, el período de floración en el cultivar GD presentó una duración de 29 y 22 días en los mismo años (Guerrero *et al.*, 2006). Al analizar el evento mediante el enfoque de UT (punto crítico 7°C), las curvas tienden a traslaparse (Fig. 3) y presentar una mayor uniformidad en cuanto a inicio y punto medio del proceso. Esta forma de análisis e interpretación de eventos biológicos permite una mayor uniformidad de la información, ya que se considera el efecto ambiental (en este caso el efecto de la temperatura) para los procesos descritos, en cambio, el uso de la escala Gregoriana o Juliana independiza cualquier proceso biológico de aquellas variables relacionadas al mismo y bajo las cuales se desarrolla. El número de UT acumuladas a partir del inicio de la brotación hasta el inicio de la floración, fue para RD de  $108 \pm 56$  UT, para GD la acumulación fue de  $166 \pm 38$  UT. Los resultados en este último cultivar son diferentes a los obtenidos en otros estudios, donde se alcanzó una acumulación de  $203 \pm 29$  UT (Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar, 1999).

**Modelo utilizando la distribución Weibull.** La Figura 4 permite observar el proceso de cada uno de los estadíos evaluados mediante el uso de la distribución Weibull, interpretando los datos recabados en porcentaje de avance de cada uno de éstos, a partir de un inicio común en la acumulación de UT

close to zero. After this winter, the tendency becomes negative and also constant, which reflects the recurrent reality in the apple-producing region in Chihuahua, Mexico: the lack of cold accumulation by the effect of benign winter occurrence. Figure 1 could be the first sign of the climatic change in that region. Exposure of buds to cold has two physiologic effects: it breaks the inhibitory effect that keeps bud in endo-dormancy, and compacts the time required for budbreak (Labuschagné *et al.*, 2003). However, it is from eco-dormancy that heat accumulation determines the rate of budbreak. The low cold accumulation up to January 15 could have influenced the percentage of budbreak and the level of budbreak reduction, while cold accumulated up to February 28 during eco-dormancy, it does not have a relevant effect on budbreak. Cold unit accumulation was deficient during the three year study, maximum accumulation was 505 cold units during the winter 95-96, 420 in 96-97, and 374 in 97-98. On the other hand, from February 28 in stage of eco-dormancy, accumulation of UT was 233, 254, and 243 in the three years of study. The process of budbreak to fruit set during these years had a duration of 334, 417, and 312 UT in RD, and 447, 465, and 381 UT in GD. The tendency to make the process longer was observed only in the first two years, possibly by temperature increase detected from March 27 to May 14 (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2003), which probably accelerated

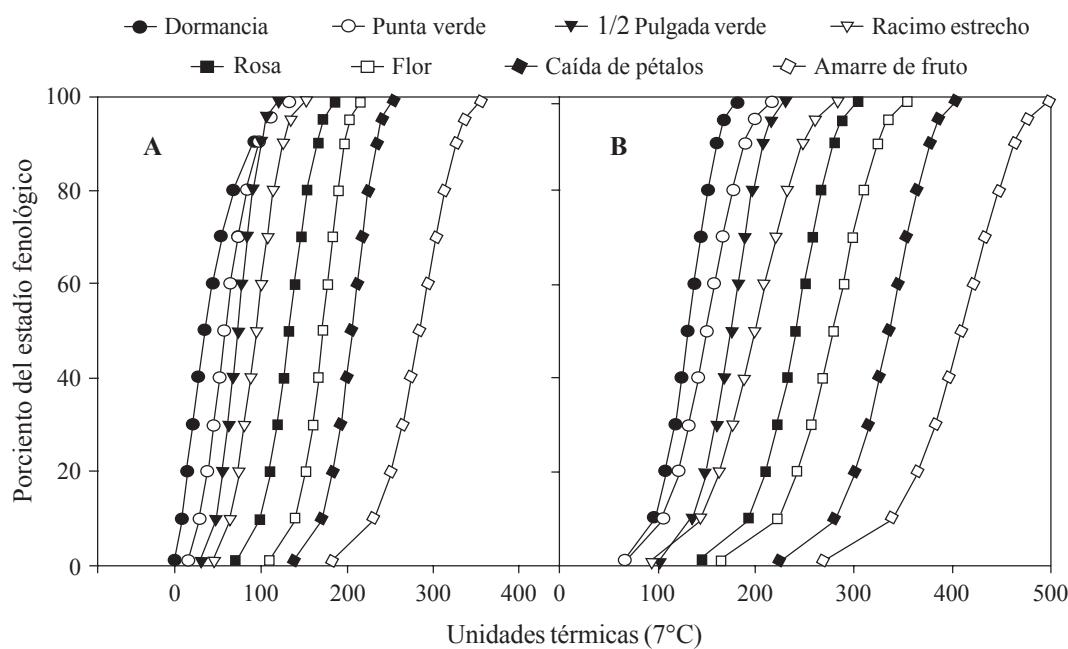


Fig. 4. Desarrollo acumulativo de yemas dormantes de manzano (*Malus sylvestris* var. *domestica*) cvs. Red Delicious (A) y Golden Delicious (B) a través de siete estadios de desarrollo y bajo una escala de Unidades térmicas (7°C), acumuladas a partir del primer registro de brotación en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, durante 1996-1998.

Fig. 4. Accumulative development of apple (*Malus sylvestris* var. *domestica*) dormant buds from cvs. Red (A) and Golden Delicious (B) through seven phenologic stages, under a scale of accumulated thermic units (7°C), from the first registration of budbreak in Cuauhtemoc, Chihuahua, Mexico, during seasons 1996-1998.

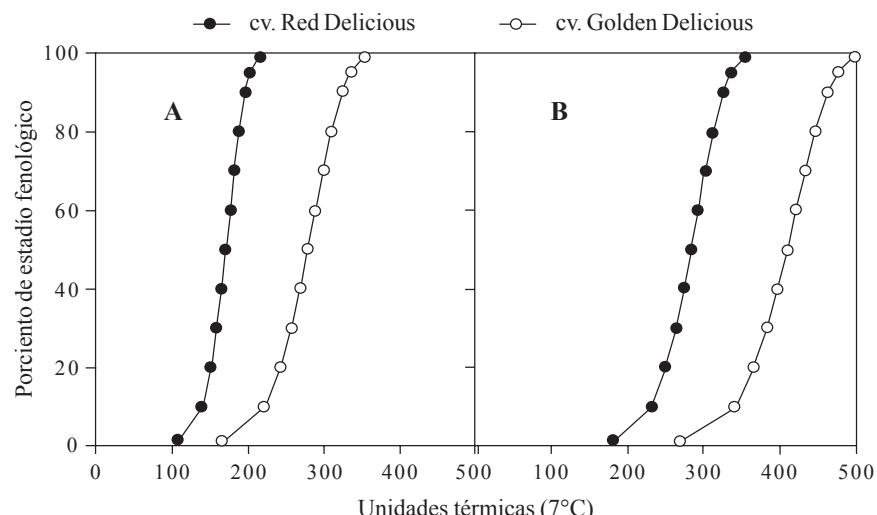


Fig. 5. Desarrollo acumulativo de yemas dormantes de manzano (*Malus sylvestris* var. *domestica*), a través de los estadios de floración (A) y amarre de fruto (B), mediante una escala de unidades térmicas acumuladas a partir del primer registro de brotación de yemas en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, durante 1996-1998.  
 Fig. 5. Accumulative development of apple (*Malus sylvestris* var. *domestica*) dormant buds, through blooming (A) and fruit set (B), by a scale of accumulated thermic units from the first registration of budbreak in Cuauhtemoc, Chihuahua, Mexico, during 1996-1998.

para ambos cultivares. Esta figura permite determinar que el proceso iniciado en brotación y monitoreado hasta amarre de fruto en RD, requirió la acumulación de  $354 \pm 33$  UT; en tanto que en GD fue de  $498 \pm 41$  UT. Considerando nuevamente que la mezcla de estos dos cultivares es común en los huertos plantados en Chihuahua, México, prácticamente el proceso de brotación-amarre de fruto sería de 500 UT, lo cual ocurre en un promedio de 60 días. Este desarrollo fenológico tan prolongado incrementa los costos de producción y complica las prácticas de manejo de enfermedades, por lo tanto su expresión en UT permite predecir el desarrollo en el año en cuestión, de acuerdo a las temperaturas que están ocurriendo. Esta figura también permite visualizar que para una fecha dada, el traslape de los diferentes estadios es distinto; de tal forma que la ocurrencia de un simiestro, como las epifitias de tizón de fuego (*Erwinia amylovora*), corazón mohoso (*Alternaria* spp.), o una helada tardía tendrá efectos diferenciados, ya que por un lado en el caso de los patógenos mencionados se requiere que el estadio del árbol se encuentre en floración, en tanto que el daño por heladas cada estadio presenta diferente susceptibilidad. Una temperatura de -3°C no afecta a yemas en eco-reposo, pero dañará yemas en punta verde y estadios posteriores, por lo que una determinada temperatura puede ser letal para estadios avanzados y a la vez ser inocua para los más retrasados. Por consecuencia, los diagnósticos correspondientes tienen el potencial de ser más certeros. La Figura 5 muestra el comportamiento de los estadios de floración (A) y de amarre de fruto (B) en ambos cultivares mediante la aplicación de la distribución Weibull. De manera visual se detecta que la floración de RD (Fig. 5A) es más rápida que la de GD; por otro lado, el intervalo de

development of some phenologic stages. Benign winters had repercussions on the epiphytic by *Erwinia amylovora* during the spring of 1999, which was the most severe in the history in the apple-producing region of Chihuahua; yield reduction reached seven ton ha<sup>-1</sup>, and 15 ton ha<sup>-1</sup> the following year due to the effect on growth and floral bud death (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2003). The percentage of flowers affected by the disease ranged from 8 to 40% in GD (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2000). Factors that caused this epiphytic were: A deficient cold winter (Fig. 1), irregular budbreak, long blooming period (31 days), high temperature during blooming, and rainfall during this period.

#### ***End of the abbreviated article.***

confianza de ambas pendientes (Cuadro 1) indica estadísticamente que ambas curvas son resultado de procesos independientes y por lo tanto provenientes de poblaciones con comportamientos estadísticos diferentes. Como se mencionó anteriormente, las plantaciones de manzano se desarrollaron mediante mezclas de estos cultivares, con el objetivo de que GD resolviera el problema de autoesterilidad de RD; sin embargo, debido a la velocidad del evento de floración de éste último, solamente el 20% de las flores de GD presentan un traslape efectivo, por lo que se requiere de otros cultivares polinizadores que cubran todo el período de floración de Red Delicious. La duración de la floración en el cultivar RD mediante el ajuste de la distribución Weibull fue de  $106 \pm 9$  UT, en tanto que en GD fue de  $187 \pm 45$  UT (7°C). La duración de la floración de ambos cultivares indica que aspectos fitosanitarios como el manejo de *Erwinia amylovora* es más sencillo en Red Delicious, por la rapidez del evento. El

Cuadro 1. Valores de ajuste de la ecuación Weibull a cada una de las curvas derivadas del monitoreo de ocho estadios fenológicos de yemas en reposo de los cvs. Red Delicious y Golden Delicious durante los ciclos 1996, 1997 y 1998 en Cuauhtémoc, Chihuahua, México.

Table 1. Adjusted values of Weibull's equation to each curve derived from monitoring eight phenologic stages of dormant buds, from cvs. Red and Golden Delicious during seasons 1996, 1997, and 1998, in Cuauhtemoc, Chihuahua, Mexico.

Estadio	$\beta$	C	$\alpha$	[ $\beta$ ]		Cv	Cvs	$R^2$	Coef. Var. Observado- Esperado
				Inferior	Superior				
Red Delicious									
Ecoreposo	43.3	1.2	< 0.0001	46.8	47.9	a	a	0.9999	0.98
Punta Verde	69.0	2.4	< 0.0001	68.5	69.6	b	b	0.9996	1.24
Media P.V.	79.8	3.9	< 0.0001	79.4	80.4	c	c	0.9994	1.56
Racimo E.	102.9	4.4	< 0.0001	102.1	103.7	d	d	0.9987	2.26
Punto Rosa	142.1	5.8	< 0.0001	141.4	142.8	e	e	0.9991	1.87
Floración	179.2	8.9	< 0.0001	179	179.4	f	h	0.9998	0.74
Caída de P.	214.2	9.7	< 0.0001	213.9	214.5	g	j	0.9998	0.80
Amarre de F.	296.3	8.7	< 0.0001	296	296.7	h	m	0.9999	0.64
Golden Delicious									
Reposo	140.2	6.0	< 0.0001	139.9	140.5	$\gamma$	f	0.9998	0.81
Punta Verde	161.2	5.1	< 0.0001	161	161.5	$\epsilon$	g	0.9999	0.60
Media P.V.	185	7.0	< 0.0001	184.9	185.1	$\eta$	i	0.9998	0.75
Racimo E.	213.7	5.5	< 0.0001	213.5	213.9	$\tau$	j	0.9999	0.34
Punto Rosa	252.3	8.3	< 0.0001	252.1	252.5	v	k	0.9999	0.45
Floración	292.2	8.0	< 0.0001	292	292.3	$\delta$	l	0.9999	0.32
Caída de P.	348.6	10.3	< 0.0001	348.3	348.9	$\epsilon$	n	0.9999	0.54
Amarre de F.	425.8	9.7	< 0.0001	425.6	425.9	$\zeta$	o	0.9999	0.26

$\beta$  = Estimador de la tasa de incremento en su forma inversa ( $1/b$ ) de la variable fenológica con unidades térmicas (UT). C = Parámetro de la forma de la curva y carece de unidades.  $\alpha$  = Nivel de significancia estadística del ajuste del modelo. [ $\beta$ ] inferior y superior = Intervalo de confianza del estimador de la tasa de incremento. cv = Letras iguales indican igualdad estadística de la tasa de incremento dentro del mismo cultivar. Cvs = Letras iguales indican igualdad estadística de la tasa de incremento dentro de cultivares.  $R^2$  = Coeficiente de determinación del ajuste del modelo para cada uno de los estadios fenológicos. Coef. Var. Observado-Esperado = Variación detectada entre los valores observados y los calculados por el modelo.

estadio de amarre de fruto (Fig. 5B), presenta dos curvas con comportamiento diferente; ambas se observan con una separación más amplia que las de floración y el traslape de ambas se reduce al 10%. Esto puede sugerir que para llegar al estadio de amarre de fruto es necesario que ocurra la polinización y la fecundación de los óvulos, y para que ésta ocurra, la velocidad de crecimiento de los tubos polínicos es determinante; es factible entonces, que la fecundación de los óvulos de RD tome menos tiempo que en el caso de GD. Los intervalos de confianza de las pendientes al 99%, determinan que ambas curvas no tienen relación alguna y son estadísticamente diferentes (Cuadro 1). La duración de la etapa de amarre de fruto en RD presentó una acumulación de  $173 \pm 64$  UT y en GD de  $230 \pm 69$  UT. El Cuadro 2 muestra la acumulación específica en UT de cada uno de los ocho estadios fenológicos evaluados. Excepto el evento de brotación de yemas en eco-repozo, el resto de estadios es más rápido en RD que en GD. Así mismo, existieron etapas posteriores a brotación que presentaron mayor velocidad que otras, en ambos cvs. el estadio de  $\frac{1}{2}$  pulgada verde fue el más

rápido que el resto y el estadio de amarre de fruto el más prolongado. Esto último ocasiona una mayor diversidad ontogénica de los frutos, lo cual dificulta las acciones de raleo químico y propicia que se tengan frutos de diferentes tamaños y tiempos de maduración y cosecha. El comportamiento del estadio de floración en RD implica un mayor riesgo de daño por heladas, tizón de fuego y corazón mohoso, por lo compacto del mismo y por que su presencia se realiza cuando la presencia de heladas tardías es todavía probable. GD exhibe una situación diferente, su floración es más prolongada, por lo tanto el número de flores afectadas por factores adversos podría ser menor, además la presencia de heladas tardías disminuye durante su floración. Durante los ciclos de estudio, el 79% de los días con temperaturas  $< -1^\circ\text{C}$ , ocurrieron del 20 de marzo al 15 de abril y solamente el 21% de éstos del 15 de abril en adelante. El porcentaje de flores abiertas en cada cultivar es un indicador el riesgo de daño por *Erwinia amylovora*. El estudio detectó que Red Delicious permite la apertura del 6% de flores promedio al día, en tanto que el cultivar Golden Delicious lo hace a un ritmo

Cuadro 2. Unidades térmicas ( $7^{\circ}\text{C}$ ) promedio acumuladas a partir del primer registro de ocho estadios fenológicos<sup>z</sup> en manzano cvs. Red Delicious y Golden Delicious en Cuauhtémoc, Chihuahua, México, durante los ciclos 1996-1998.

Table 2. Average thermic units ( $7^{\circ}\text{C}$ ) accumulated from the first registration of eight phenologic stages<sup>z</sup> in apple cvs. Red and Golden Delicious in Cuauhtemoc, Chihuahua, Mexico, during seasons 1996-1998.

Estadio	Red Delicious	Golden Delicious
Brotación <sup>y</sup>	161 ± 2	114 ± 36
Punta Verde	119 ± 4	150 ± 41
Media Pulgada Verde	92 ± 41	130 ± 69
Racimo Estrecho	107 ± 38	187 ± 51
Punto Rosa <sup>1</sup>	116 ± 29	158 ± 34
Floración	106 ± 9	187 ± 45
Caída de Pétalos	115 ± 25	178 ± 19
Amarre de fruto	173 ± 64	230 ± 69
Brotación-Amarre de fruto	354 ± 33	431 ± 45

<sup>x</sup>El inicio de brotación se consideró cuando se registró la primera yema hinchada en la población muestrada.

<sup>y</sup>La acumulación comprende el inicio y final de cada estadio fenológico.

promedio del 4%. Una flor abierta dura 6 días aproximadamente como receptiva a la infección (Thomson y Gouk, 2003) ubicándose al período crítico de epidemia de tizón de fuego entre el 20% de floración hasta el 80% de caída de pétalos, lo que significa que al menos existe una flor abierta por cada racimo floral (Steiner y Lightner, 1996). El riesgo en términos de cantidad de flores abiertas es similar para la infección por *Alternaria* spp. (Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar, 1999), aunque exclusivamente para el cultivar RD. El Cuadro 1, permite mostrar los valores de ajuste promedio realizados por la función Weibull de cada uno de los estadios fenológicos posteriores a la brotación de yemas en eco-reposo y hasta amarre de fruto. En todos los casos, el intervalo de confianza de las pendientes define que las curvas dentro de cultivares fueron significativamente diferentes al 99% de probabilidad y que solamente al comparar entre cultivares, los estadios de caída de pétalos de RD y el estadio de racimo estrecho de GD fueron similares, corroborando la fortaleza de la función para la interpretación de este tipo de procesos.

**Acumulación de frío invernal.** La Figura 1 define el entorno bajo el cual se desarrolló el trabajo por medio de las unidades frío a partir de la fecha en que la acumulación fue constante y continua durante todos los días; es decir que no existieron días que interrumpieran dicha acumulación. Hasta el invierno 1991-1992, la acumulación de unidades frío presentaba una tendencia constante y con pendiente cercana al cero. Es a partir de este invierno, cuando la tendencia se hace negativa y también constante. Lo anterior refleja una realidad recurrente de la región manzanera de Chihuahua, México: la falta de acumulación de frío por efecto de la ocurrencia de inviernos benignos. La Figura 1 puede ser el primer indicio del cambio climático para la región manzanera de Chihuahua, México. La exposición de las yemas al frío tiene dos efectos fisiológicos; por un lado, rompe el efecto inhibitorio que mantiene a la yema en endorepozo. Por el otro compacta el tiempo requerido

para completar la brotación (Labuschagné *et al.*, 2003). No obstante, es a partir del eco-reposo que la acumulación de calor determina el ritmo al que las yemas brotan. La baja acumulación de frío al 15 de enero pudo influir en el porcentaje de brotación de las yemas y en el grado de compactación de la brotación, mientras que el frío acumulado al 28 de febrero, durante la etapa de eco-reposo, no tiene un efecto relevante en brotación. Durante los tres años del estudio, la acumulación de unidades frío fue deficiente, los máximos acumulados fueron de 505 unidades frío durante el invierno 95-96, 420 en el 96-97 y 374 UF en 97-98. En cambio, a partir del 28 de febrero, en clara etapa de eco-reposo, la acumulación de calor fue de 233, 254 y 243 UT en los tres años de estudio. El proceso de brotación-amarre de fruto durante estos años, tuvo una duración de 334, 417 y 312 UT en RD y de 447, 465 y 381 UT en GD. La tendencia de prolongar el proceso mencionado sólo se observa en los dos primeros años; sin embargo, el tercer año no la refleja, posiblemente por el incremento de la temperatura detectado durante esos años en el período comprendido del 27 de marzo al 14 de mayo (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2003), lo cual probablemente aceleró el desarrollo de algunos estadios fenológicos. El efecto de los inviernos benignos tuvo repercusión sobre la epidemia de *Erwinia amylovora* durante la primavera de 1999, tipificándose como la más severa que se tenga conocimiento en la región manzanera de Chihuahua, México; reduciendo el rendimiento hasta en siete ton  $\text{ha}^{-1}$  el año de la epidemia y hasta 15 ton  $\text{ha}^{-1}$ , el siguiente ciclo, ya sin presencia de ésta y por efecto de muerte de crecimientos y por consecuencia de yemas florales (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2003). El número de flores afectadas por la enfermedad osciló entre el 8 y 40% en el cultivar GD (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2000). Las causas identificadas de este desarrollo epidémico han sido, deficiencia de frío invernal (Fig. 1), brotación irregular, floración prolongada (31 días), temperaturas elevadas durante la floración y presencia de lluvias durante este período.

## CONCLUSIONES

La brotación-floración de RD se llevó a cabo mediante una acumulación de  $354 \pm 33$  UT, en tanto que en GD la acumulación fue de  $431 \pm 45$  UT. El estadio de floración permitió la acumulación de  $106 \pm 9$  UT en RD y  $187 \pm 45$  UT en GD. El riesgo de ataque por *Erwinia amylovora* en RD y GD se ubica en la acumulación de 242 a 446 UT a partir del inicio de brotación de RD. El riesgo de ataque de corazón mohoso es en la acumulación de 151 a 313 UT a partir del inicio de brotación de RD. Este trabajo presenta evidencia del paulatino descenso en la calidad de invierno a partir de 1992 y su efecto en las floraciones. El modelo elaborado puede tener otros usos, como la evaluación de polinizadores, comparación de cultivares y recomendaciones para déficit de riego controlado.

## LITERATURACITADA

Anstey, T.H. 1965. Prediction of full bloom date for apple,

- pear, cherry, peach and apricot from air temperature data. Journal of American Society for Horticultural Sciences 88:57-66.
- Beers, E.H., Brunner, J.F., Willet, M.J., and Warner, G.M. 1993. Orchard Pest Management. Good Fruit Grower. Yakima, Washington, USA. 276 p.
- Gardea-Béjar, A.A. 1987. Freeze damage of pinot noir (*Vitis vinifera* L) as affected by bud development, INA bacteria, and bacterial inhibitor. M.S. thesis. Oregon State University. Corvallis, Oregon, USA. 86 p.
- Guerrero, P.V., Romo, A., Orozco, C.J., Berlanga, A.D., Gardea, A.A. y Parra, R. 2006 Polinización en manzanos “Red Delicious” y “Golden Delicious”. Revista Fitotecnia Mexicana 29:41-45.
- Hodges, T. 1991. Crop growth simulation and the role of phenological models. pp. 3-13. In: T. Hodges (ed.). Predicting Crop Phenology. CRC Press. Boston, Massachusetts, USA. 233 p.
- Hull, L.A., Greene, G.M., Asquit, D., and Croft, B.A. 1983. The orchard as a crop production system. pp. 43-64. In: B.A. Croft and S.C. Hoyt (eds.). Integrated Management of Insect Pests of Pome and Stone Fruits. John Wiley and Sons. New York, USA. 452 p.
- Jacobo-Cuéllar, J.L., Mora-Aguilera, G., Ramírez-Legarreta, M.R., Vera-Graziano, J., Pinto, V.M., López-Collado, J., Ramírez-Guzmán, M.E. y Aceves-Navarro, L.A. 2005. Caracterización cuantitativa de la diapausa de la palomilla de la manzana *Cydia pomonella* L. en Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Agrociencia 39:221-229
- Labuschagné, I.F., Louw, J.H., Schmidt, K., and Sadie, A. 2003. Selection for increased budbreak in apple. Journal of American Society for Horticultural Sciences 128:363-373.
- Medina-García, G. 1989. SICA. Un Sistema de Información para Caracterizaciones Agrolimáticas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 61 p.
- Medina-García, G., Díaz-Padilla, G., Berzoza-Martínez, M., Silva-Serna, M.M., Chávez-Silva, A.H. y Baez-González, A.D. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Chihuahua (período 1961-2003). Libro Técnico No. 1. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro. Dirección de Coordinación y Vinculación Estatal en Chihuahua. Chihuahua, México. 233 p.
- Miranda, J., and Royo, B. 2004 Statistical model estimates potential yields in “Golden Delicious” and “Royal Gala” apples before bloom. Journal of American Society for Horticultural Sciences 129:20-25.
- Pennypacker, S.P., Knoble, H.D., Antle, C.E., and Madden, L.V. 1980. A flexible model for studying plant disease progression. Phytopathology 70:232-235.
- Proebsting Jr., E.L., and Mills, H.H. 1978. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. Journal of American Society for Horticultural Sciences 103:192-198.
- Ramírez-Legarreta, M.R. y Jacobo-Cuéllar, J.L. 1999. Estructura de un modelo para el corazón mohoso (*Alternaria alternata* f. sp. *malii*) de la manzana Red Delicious. Revista Mexicana de Fitopatología 17:29-36.
- Ramírez-Legarreta, M.R., Jacobo-Cuéllar, J.L., Ávila-Marioni, M.R. y González-Gutiérrez, R. 2000. Manejo del tizón de fuego en manzano en el noroeste de Chihuahua. XXVII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Resumen L-9.
- Ramírez-Legarreta, M.R., Jacobo-Cuéllar, J.L., Ávila-Marioni, M.R., Gutiérrez-González, R. y Parra-Quezada, R.A. 2003. Toma de decisiones con base a prácticas recomendadas para el manejo del tizón de fuego del manzano en la Sierra de Chihuahua. Folleto Técnico Núm. 6. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. 43 p.
- Ramírez-Legarreta, M.R., Jacobo-Cuéllar, J.L., Ávila-Marioni, M.R. y Parra-Quezada, R.A. 2004. Eficiencia del uso de plaguicidas en huertos de manzano [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *domestica* (Borkh.) Mansf.] en Chihuahua, México. Revista Mexicana de Fitopatología 22:403-413.
- Ramírez-Legarreta, M.R., Jacobo-Cuéllar, J.L., Ávila-Marioni, M.R., Gutiérrez-González, R. y Parra-Quezada, R.A. 2006. Pérdidas de cosecha, eficiencia de producción y rentabilidad de huertos de manzano con diversos grados de tecnificación en Chihuahua, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29:215-222.
- Richardson, E., Seeley, S., and Walker, D. 1974. A model for estimating the completion of rest for “Redhaven” and “Alberta” peach trees. HortScience 10:236-237.
- SAS Institute. 2003. Version 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC USA. 1028 p.
- Steiner, P.W., and Lightner, G. 1996. MARYBLYT™ 4.3. A predictive program for forecasting fire blight disease in apples and pears. Gempler's Inc. Belleville, WI, USA. 53 p.
- Thomson, S.V., and Gouk, S.C. 2003. Influence of age of apple flowers on growth of *Erwinia amylovora* and biological control agents. Plant Disease 87:502-509
- Weibull, W. 1951. A Statistical distribution of wide applicability. Journal of Applied Mechanic 18:293-297.
- Wilson, L.T., and Barnett, W.W. 1983. Degree-days. An aid in crop and pest management. California Agriculture 37:4-7.
- Zalom, F.G., Goodell, P.B., Wilson, L.T., Barnett, W.W., and Bentley, W.J. 1983. Degree-Days: The calculation and use of heat units in pest management. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Leaflet 21373. Berkley, California, USA. 11 p.
- Zalom, F.G., and Morse, G. 1991. Integrated pest management for apples and pears. University of California. Statewide integrated pest management project. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 3340. Oakland, California, USA. 214 p.