

Estimación de las necesidades en frío y en calor para la floración en el almendro mediante series temporales fenológico-climáticas

J.M. Alonso, M.T. Espiau, J.M. Ansón, R. Socías i Company

Unidad de Fruticultura. CITA. Apartado 727, 50080 Zaragoza, España
rsocias@aragon.es

Resumen

La fecha de floración en el almendro (*Prunus amygdalus* Batsch) está principalmente determinada por las temperaturas que influyen sobre las yemas de flor durante el período de latencia. En este trabajo se ha desarrollado un modelo para estimar la fecha de la salida del reposo invernal en el almendro mediante la correlación existente entre las fechas de la floración plena y las temperaturas precedentes para una serie de años. En un conjunto de 47 cultivares, que cubren todo el período de floración del almendro, se determinaron las necesidades en frío hasta cubrir los requisitos de la latencia así como las necesidades de calor para alcanzar la floración. Se ha determinado que la mayoría de los cultivares tiene unas necesidades de frío comprendidas entre 400 y 600 CU, mientras que el rango de necesidades en calor es en proporción más amplio, de 5.500 a 9.300 GDH °C. En este conjunto se han encontrado cultivares con necesidades en frío muy altas y en calor muy bajas y viceversa, diferencias que pueden condicionar su adaptación a diferentes condiciones climáticas y también utilizarse en los programas de mejora para la obtención de material vegetal con mayores o menores necesidades térmicas para la floración.

Palabras clave: *P. amygdalus*, Necesidades en frío, Necesidades en calor, Latencia, Floración, Temperatura, Mejora

Summary

Estimation of chilling and heat requirements for blooming in almond from phenological and climatic temporary series

Almond (*Prunus amygdalus* Batsch) blooming date is mainly determined by the temperatures during the dormancy period, from the onset of the winter rest to just before blooming. In this work we have developed a model to estimate the end of the winter rest in almond based on the relation between the date of full bloom and the previous temperatures during several years. The chilling requirements to cover the winter rest and the heat requirements to reach full bloom were estimated for a group of 47 cultivars covering all the blooming period of almond. It was found that most cultivars have chilling requirements between 400 and 600 CU, whereas the span of heat requirements was wider, from 5,500 to 9,300 GDH°C. Some cultivars have high chilling requirements and low heat requirements whereas others have opposite requirements, showing that these differences can affect their adaptability to different climatic conditions and be used in breeding programs to obtain new cultivars with higher and lower temperature requirements for blooming.

Key words: *P. amygdalus*, Chill requirements, Heat requirements, Dormancy breaking, Blooming, Temperature, Breeding

Introducción

La supervivencia de una planta y su capacidad reproductiva en un ambiente específico dependen de su adaptación a ese clima (Hill et al., 1998), en particular de su grado de sincronización de los estados fenológicos con los cambios de temperatura y períodos de lluvia de la zona (Dietrichson, 1964). Durante la domesticación del almendro, la selección se basó en el sabor agradable de sus pepitas y en la productividad (Browicz y Zohary, 1996) en un ambiente de clima mediterráneo que caracteriza sus actuales zonas de producción (Felipe, 2000). De esta manera, aparecieron diversas poblaciones características de almendro en distintas regiones a lo largo de siglos de cultivo y propagación por semilla. De entre estas poblaciones se seleccionaron los cultivares que han llegado hasta nuestros días.

El almendro ha sido tradicionalmente considerado como la especie frutal con la floración más temprana. Esta característica delimitó su cultivo a regiones con bajo riesgo de heladas primaverales (Felipe, 2000; Kester et al., 1990) ya que pueden producir la disminución o pérdida de la cosecha. Así, la mayoría de los programas de mejora del almendro persiguen la obtención de cultivares de floración más tardía para evitar los daños producidos por las heladas, floreciendo cuando las temperaturas son superiores y más favorables para los procesos de polinización y fecundación (Kester y Asay, 1975).

Los cultivares de almendro probablemente presentan el rango más amplio de fechas de floración de todas las especies frutales (Socias i Company y Felipe, 1992), debido a su adaptación a las diferentes condiciones climáticas de sus lugares de origen. De esta manera, en el almendro los mejoradores disponen de una amplia variabilidad genética para la elección de parentales para la

obtención de cultivares de floración tardía. La fecha de floración en el almendro es un carácter cuantitativo (Grasselly, 1972; Grasselly y Gall, 1967; Kester, 1965; Vargas y Romero, 1988), aunque en algunos descendientes de 'Tardy Nonpareil' se ha identificado un locus (Ballester et al., 2001), con un alelo dominante (*Lb*) que determina la floración extra-tardía (Socias i Company et al., 1999).

La temperatura es la variable climática que muestra una mayor influencia en el desarrollo de las yemas florales. Aunque el orden de floración de los distintos cultivares de almendro se mantiene a lo largo de los años con pocas variaciones (Felipe, 1977), la fecha de floración depende de las condiciones climáticas invernales que influyen en los sucesivos estados de la latencia (Lang et al., 1987). Al inicio de la latencia, la organogénesis floral ya se ha completado (Lamp et al., 2001). Durante el primer período de la latencia, definido como endolatenia, la planta debe cubrir sus necesidades de frío para salir del reposo vegetativo invernal (Tabuenca, 1972). En este período el crecimiento de las yemas es apenas perceptible, aunque constante. Después de la finalización de la endolatenia, comienza la ecolatenia, en la que el desarrollo de las yemas depende especialmente de la acumulación de calor (Kester y Gradziel, 1996; Westwood, 1978), considerándose su final con la antesis o F^{50} , correspondiente a la apertura del 50% de las flores (Tabuenca et al., 1972), como ocurre en las otras especies del género *Prunus* (Andrés y Durán, 1999; Ashcroft et al., 1977; Guerriero et al., 2002; Richardson et al., 1974, 1975; Tabuenca, 1980). Las variables climáticas durante la floración también tienen un efecto sobre su duración, siendo posible la modelización de la progresión de la floración en función de la

temperatura (DeGrandi-Hoffman *et al.*, 1996).

Las necesidades térmicas en los frutales son difíciles de estimar (Dennis, 2003). Para su estimación, además de los datos climáticos se necesitan tres fechas cronológicas: el inicio de la acumulación de frío, el final del reposo y la plena floración o F^{50} . La fecha del inicio de la acumulación de frío depende de la evolución anual de la temperatura, y se determina como el día en que la acumulación diaria de unidades de frío (CU) calculadas según el método Utah (Richardson *et al.*, 1974), pasa de ser negativa a positiva. La fecha de la plena floración (F^{50}) se fija por su observación en el campo. Sin embargo, es complicado determinar la fecha del final de la endolatenencia, hasta la cual se debe realizar el cálculo de las necesidades en frío y a partir de la cual se realiza el de las necesidades en calor.

Las bajas temperaturas son el principal factor en la evolución de la endolatenencia, aunque otros factores climáticos, como el calor, la intensidad de la luz o la niebla pueden afectarla hasta cierto punto (Freeman y Martin, 1981). La determinación del final de la endolatenencia se ha realizado tradicionalmente forzando a la planta a cambios de temperatura o fotoperíodo, especialmente por la comparación de las diferencias entre el peso seco de las yemas en el campo y en varetas mantenidas en una cámara a temperatura templada constante durante un cierto período de tiempo (Brown y Abi-Fadel, 1953; Brown y Kotob, 1957). Sin embargo, la determinación precisa de los requisitos térmicos es casi imposible en las condiciones de campo, y también en las de laboratorio se deben considerar con precaución (Dennis, 2003). Además, las necesidades en frío y en calor son requisitos interdependientes por lo que, si la acumulación anual de frío es baja, la planta aumenta sus requisitos en calor durante ese

año y viceversa (Couvillon y Erez, 1985), lo que provoca que los datos de un solo año sean extremadamente imprecisos (Tabuenca, 1975).

Ashcroft *et al.* (1977) propusieron un método estadístico para estimar las necesidades en frío y en calor en frutales caducifolios utilizando únicamente datos de campo: las fechas de la plena floración y las acumulaciones diarias en frío y en calor en una serie de años. Con este método, las necesidades en frío consideradas para un cultivar eran las que daban el menor coeficiente de variación para las horas grado (GDH °C) generadas para este cultivar con estas necesidades en frío. Sin embargo, con este método, necesidades en frío muy dispares pueden generar GDH °C con coeficientes de variación similares, lo que hace difícil la elección de las necesidades en frío y en calor. Por otra parte, en este método no se considera la fecha del final de la endolatenencia.

En el almendro existen muy pocas referencias a las necesidades en frío y en calor, y se han utilizado diferentes métodos para su cuantificación. Las primeras estimaciones fueron las de horas por debajo de 7 °C, estableciendo el final de la endolatenencia por el método de la evolución del peso seco de las yemas, aunque sólo en algunos cultivares y clones locales españoles (Tabuenca, 1972). Las necesidades de calor se determinaron como el sumatorio de las temperaturas máximas y mínimas diarias desde el final del reposo invernal hasta la plena floración (Tabuenca *et al.*, 1972).

Más adelante, Rattigan y Hill (1986) aplicaron el método de Ashcroft *et al.* (1977) en el almendro y evaluaron las necesidades en frío y en calor de 12 cultivares en el clima de invierno suave de Australia y observaron también la influencia de diferentes localidades en el comportamiento de la floración de

tres cultivares (Rattigan y Hill, 1987). Recientemente también se han determinado las necesidades en frío y en calor de 10 cultivares y selecciones de mejora en el clima de invierno suave del sudeste español mediante el método del peso de yemas (Egea *et al.*, 2003).

Desgraciadamente, el trabajo pionero de M.C. Tabuenca no tuvo continuidad, aunque presenta un gran interés porque se desarrolló en la misma localidad y en la colección precedente de la actual y porque introdujo además la aplicación de series fenológico-climáticas. Por ello, el objetivo de este trabajo fue la aplicación de un modelo (Alonso *et al.*, 2005) para estimar la fecha media de la transición de la endolatenencia a la ecolatenencia en 47 cultivares de almendro en una zona de inviernos fríos (Valle Medio del Ebro), evitando los problemas y deficiencias del método del peso de yemas en un solo año, así como la determinación de sus necesidades en frío y en calor con el fin de conocer mejor su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y definir su posible utilización en el programa de mejora genética del CITA (Felipe y Socias i Company, 1985) para la obtención de material vegetal de floración extra tardía independientemente de las condiciones climáticas del año.

Materiales y métodos

Material vegetal y recogida de datos

El material vegetal utilizado para el cálculo de las necesidades en frío y en calor fue un conjunto de 47 cultivares de almendro de muy diversa procedencia geográfica (tabla 1). Cada cultivar consta de tres árboles, injertados sobre el patrón franco de melocotonero 'GF-305', ubicados en la colección nacional de germoplasma de almendro del

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), situado a unas coordenadas de 41°38'50" N y 0°53'07" E, a 220 m sobre el nivel del mar, con una pluviosidad media anual de 328,5 mm y temperaturas medias anuales de 8,5 °C (mínima), 14,5 °C (media) y 20,6 °C (máxima). Desde la primavera de 1994 a la de 2000, en estos cultivares se anotaron las fechas en que el 50% de las flores se encontraban en anthesis (F^{50}) para los tres árboles de cada cultivar, como momento final de la ecolatenencia (Couvillon y Erez, 1985). Los datos climáticos correspondientes a las temperaturas diarias máxima, mínima y media se obtuvieron de la estación meteorológica situada en una parcela contigua a la del germoplasma de almendro, utilizando sólo los datos de los meses anteriores a la floración, desde octubre a marzo para el mismo conjunto de años.

Estimación del final del período de reposo vegetativo

El fundamento de este método se basa en el efecto diferente de las temperaturas frías y templadas sobre la fecha de la plena floración, según su incidencia sea durante la endolatenencia o en la ecolatenencia (Tabuenca y Herrero, 1966; Tabuenca *et al.*, 1972). Durante la endolatenencia, el efecto de las bajas temperaturas será el de adelantar la floración, mientras que las temperaturas templadas no tendrán prácticamente ningún efecto. Por el contrario, durante la ecolatenencia, las temperaturas tendrán un efecto contrario, así, las temperaturas templadas avanzarán la floración al favorecer el desarrollo de las yemas una vez cubiertas sus necesidades en frío, mientras que las bajas temperaturas producirán un retraso en la fecha de floración por una ralentización del desarrollo de las yemas. La transición de un estado de la latencia al otro, puede relacionarse con el efecto de las temperaturas medias medi-

das en cualquier período durante la latencia y la fecha de floración de un determinado cultivar.

Para la aplicación del método se diseñaron dos tipos de matrices con los símbolos definidos en el tabla 2: una con las fechas de floración (tabla 3) y 18 con las temperaturas (tabla 4). En la matriz de las fechas de floración, los datos se ordenaron de acuerdo a sus dos ejes: las columnas fueron los años, desde 1994 a 2000, y las filas, los cultivares en orden alfabético desde 'Ai' a 'Zahaf'. Cada matriz de temperaturas también se definió por dos ejes: las columnas fueron los mismos años de 1994 a 2000 y las filas las fechas desde el 1 de octubre (día 1) al 28 de febrero (día 179). Los datos que se introdujeron en cada célula de las matrices de temperaturas fue la temperatura media durante un período de tiempo considerado a partir de cada fecha para cada una de las diferentes temperaturas diarias (T = media, T_m = mínima y T_M = máxima). Estos períodos de tiempo (p) eran de diferente longitud, variando de 5 en 5 días desde 5 a 30 días. Así, para el 1 de octubre de 1994, un período de 5 días y la temperatura diaria

media, el dato incluido en la célula fue la media para los datos desde $T_{1\text{ Oct } 1994}$ a $T_{5\text{ Oct } 1994}$. Para el 2 de octubre de 1994, el mismo período de 5 días y la temperatura media diaria, el dato incluido fue la media para los datos desde $T_{2\text{ Oct } 1994}$ a $T_{6\text{ Oct } 1994}$. Y así para cada dato.

Con estas 18 matrices se obtuvieron 18 vectores para cada uno de los días, incluyendo cada vector siete valores, cada uno correspondiente a cada uno de los años. Con cada uno de los 18 vectores de cada día y el vector de las fechas de floración de cada cultivar (F_{vy}^{50}) se calculó el coeficiente de correlación (r) de Pearson (tabla 5). Mediante esta correlación es posible determinar la influencia de la temperatura de los días posteriores a cada fecha sobre la fecha de floración de cada cultivar. La significación de estos coeficientes de correlación indica la fuerza de esta relación, lo que permite estimar la fecha a partir de la cual las temperaturas altas producen un adelanto de la floración y, por lo tanto, la fecha en la que se han cubierto las necesidades en frío y tiene su inicio la ecolatencia.

Tabla 1. Origen de los cultivares de almendro
Table 1. Origin of the almond cultivars

País de origen	Cultivar
Australia	Chellastone
España	Alzina, Aylés, Bertina, Blanquerna, Cambra, Desmayo Largeta, Desmayo Rojo, Felisia, Glorieta, Guara, Jordi, Marcona, Masbovera, Moncayo, Ponç, Pou de Felanitx, Ramillete, Rof, Totsol, Verdereta, Vinagrilla, Vivot, Xina
Francia	Ai, Ferragnès, Ferralisse, Fournat de Brézinaud, Lauranne, Tardive de la Verdière
Italia	Cristomorto, Filippo Ceo, Picantilli, Rachele, Tuono
Tunisia	Constantini, Zahaf
Ucrania	Miagkoskorlupyj, Primorskij, Yaltinskij
USA	LeGrand, Nec Plus Ultra, Nonpareil, Texas, Thompson, Titan, Tokyo

Tabla 2. Lista de los símbolos utilizados en el desarrollo matemático del modelo
Table 2. List of the symbols used in the mathematical development of the method

Símbolo	Significado	Unidad
y	Año	
p	Longitud del período considerado para promediar las temperaturas	Días
d	Fecha	Días desde el 1 Oct.
x	Fecha final del análisis (en este caso 28 Feb. = 179 días)	Días desde el 1 Oct.
F_{vy}^{50}	Fecha en la que el cultivar v muestra un 50% de flores en antesis en el año y	Días desde el 1 Oct.
F_v^{50}	Media del F_{vy}^{50} para el cultivar v	Días desde el 1 Oct.
T_{dy}	Temperatura media diaria para el día d del año y	°C
$T_{m dy}$	Temperatura mínima diaria para el día d del año y	°C
$T_{M dy}$	Temperatura máxima diaria para el día d del año y	°C
T_{pdy}	Media de las temperaturas medias diarias para el período p que sigue al día d el año y	°C
$T_{m pdy}$	Media de las temperaturas mínimas diarias para el período p que sigue al día d el año y	°C
$T_{M pdy}$	Media de las temperaturas máximas diarias para el período p que sigue al día d el año y	°C
\bar{T}_{pd}	Media de T_{pdy} para el día d y el período p para los años de estudio	°C
$\bar{T}_{m pd}$	Media de $T_{m pdy}$ para el día d y el período p para los años de estudio	°C
$\bar{T}_{M pd}$	Media de $T_{M pdy}$ para el día d y el período p para los años de estudio	°C
r_{pdv}	Coeficiente de correlación de Pearson entre $T_{p dy}$ y F_{vy}^{50} para el día d , el período p y el cultivar v	
$r_{m pdv}$	Coeficiente de correlación de Pearson entre $T_{m pdy}$ y F_{vy}^{50} para el día d , el período p y el cultivar v	
$r_{M pdv}$	Coeficiente de correlación de Pearson entre $T_{M pdy}$ y F_{vy}^{50} para el día d , el período p y el cultivar v	

Tabla 3. Matriz de las fechas de floración
Table 3. Blooming date matrix

Cultivar	Año			
	1	2	...	n
Ai	$F_{Ai 1}^{50}$	$F_{Ai 2}^{50}$...	$F_{Ai n}^{50}$
...
Zahaf	$F_{Zahaf 1}^{50}$	$F_{Zahaf 2}^{50}$...	$F_{Zahaf n}^{50}$



Tabla 4. Construcción de las matrices de temperaturas
Table 4. Temperature matrix design

Longitud del periodo (p)	Temperaturas Tdy				Temperaturas Tm dy				TM dy			
	Año Fecha	1	2	n	Año Fecha	1	2	n	Año Fecha	1	2	n
5 días	1 Oct	T ₅₁₁	T ₅₁₂	T _{51n}	1 Oct	T _{m511}	T _{m512}	T _{m51n}	1 Oct	T _{M511}	T _{M512}	T _{M51n}
	2 Oct	T ₅₂₁	T ₅₂₂	T _{52n}	2 Oct	T _{m521}	T _{m522}	T _{m52n}	2 Oct	T _{M521}	T _{M522}	T _{M52n}
	28 Feb	T _{5x1}	T _{5x2}	T _{5xn}	28 Feb	T _{m5x1}	T _{m5x2}	T _{m5xn}	28 Feb	T _{M5x1}	T _{M5x2}	T _{M5xn}
30 días	1 Oct	T ₃₀₁₁	T ₃₀₁₂	T _{301n}	1 Oct	T _{m3011}	T _{m3012}	T _{m301n}	1 Oct	T _{M3011}	T _{M3012}	T _{M301n}
	2 Oct	T ₃₀₂₁	T ₃₀₂₂	T _{302n}	2 Oct	T _{m3021}	T _{m3022}	T _{m302n}	2 Oct	T _{M3021}	T _{M3022}	T _{M302n}
	28 Feb	T _{30x1}	T _{30x2}	T _{30xn}	28 Feb	T _{m30x1}	T _{m30x2}	T _{m30xn}	28 Feb	T _{M30x1}	T _{M30x2}	T _{M30xn}

Tabla 5. Cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson
Table 5. Calculation of the Pearson's correlation coefficients

Temperatura	Cálculo del coeficiente de Pearson
Media	$r_{pxv} = \frac{\sum_{y=1}^n T_{pxy} \cdot F_{vy}^{50} - n \bar{T}_{px} \bar{F}_v^{50}}{\sqrt{\left(\sum_{y=1}^n T_{pxy}^2 - n \bar{T}_{px}^2\right) \left(\sum_{y=1}^n F_{vy}^{50\ 2} - n \bar{F}_v^{50\ 2}\right)}}$
Mínima	$r_{m_{pxv}} = \frac{\sum_{y=1}^n T_{m_{pxy}} \cdot F_{vy}^{50} - n \bar{T}_{m_{px}} \bar{F}_v^{50}}{\sqrt{\left(\sum_{y=1}^n T_{m_{pxy}}^2 - n \bar{T}_{m_{px}}^2\right) \left(\sum_{y=1}^n F_{vy}^{50\ 2} - n \bar{F}_v^{50\ 2}\right)}}$
Máxima	$r_{M_{pxv}} = \frac{\sum_{y=1}^n T_{M_{pxy}} \cdot F_{vy}^{50} - n \bar{T}_{M_{px}} \bar{F}_v^{50}}{\sqrt{\left(\sum_{y=1}^n T_{M_{pxy}}^2 - n \bar{T}_{M_{px}}^2\right) \left(\sum_{y=1}^n F_{vy}^{50\ 2} - n \bar{F}_v^{50\ 2}\right)}}$

Como estas correlaciones se han obtenido con un conjunto de datos de 7 años, los coeficientes de correlación superiores a + 0,754 o menores de - 0,754 son estadísticamente significativos (Hoshmand, 1988) utilizando la prueba a dos colas de la t de Student para 5 grados de libertad y un nivel de significación de $\alpha = 0,05$. Como consecuencia de ello, la transición de la endolancia a la ecolancia se consideró en el momento en el que los coeficientes de correlación pasaron de ser en su mayoría positivos a ser negativos. Se adoptó el criterio que el final de este período de transición, correspondiente con el final de la endolancia, coincidiera con el día en el que se obtuvo el primer coeficiente significativo en una serie continua de coeficientes negativos.

Cálculo de las necesidades en frío y calor

Los cálculos se basaron en el Modelo Utah original debido al éxito de su utilización en zonas templadas frescas (Dennis, 2003), como es el caso de Zaragoza. Las temperaturas horarias se estimaron a partir de las temperaturas máxima y mínima de cada día según el modelo lineal desarrollado por Richardson et al. (1974) entre el 1 de octubre y el 31 de marzo para los siete años de estudio. Con las temperaturas horarias se estimaron las unidades de frío (CU) correspondientes a cada hora, en función del rango en el que se encuentre cada temperatura horaria (<1,4 °C = 0; 1,5 a 2,4 °C = 0,5; 2,5 a 9,1 °C = 1; 9,2 a 12,4 °C = 0,5; 12,5 a 15,9 °C = 0; 16 a 18 °C = - 0,5; >18 °C = - 1). El pri-

mer día de acumulación de frío se consideró para cada estación el día siguiente a la última acumulación diaria negativa de CU, ya que a partir de este día ya no habrá ninguna negación de la actividad del frío para el día completo (Richardson et al., 1974). Así, cada año la acumulación de frío comenzó en un día distinto, dependiendo de las temperaturas de cada temporada. A partir de esta fecha se calculó para cada año y para cada cultivar la acumulación de unidades de frío hasta la fecha del final de la endolatenencia determinada según el modelo expuesto. La media de estas unidades de frío para los siete años se consideró en cada cultivar como sus necesidades en frío. La fecha media para el inicio de la acumulación de frío durante los siete años de estudio fue el 26 de octubre.

Las necesidades en calor se calcularon en cada cultivar como la acumulación de GDH°C (Richardson et al., 1975) desde el final del período de endolatenencia calculado para este cultivar hasta la fecha de la plena floración del mismo (F^{50}) en los distintos años de estudio. Un grado hora se define como 1 hora a una temperatura 1 °C por encima de la temperatura base de 4,5 °C. Los GDH °C se calculan restando 4,5 °C a cada temperatura horaria entre 4,5 °C y 25 °C. Todas las temperaturas superiores a 25°C se consideran de efecto igual a 25°C; por lo que la mayor acumulación para cualquier hora es 20,5 GDH °C

Resultados

Aplicación del modelo

Para el establecimiento de la fecha media del final de la endolatenencia de cada cultivar se debe observar la evolución de los coeficientes de correlación obtenidos con las diferentes temperaturas medias registradas

y las fechas de floración de este cultivar para cada una de las amplitudes del período p , como se muestra en la figura 1 para 'Marcona'. En la interpretación de estos coeficientes se deben aceptar tres generalizaciones. Primera, un coeficiente de correlación positivo en un determinado período muestra que un aumento de la temperatura en este período alarga el período de crecimiento de la yema y retrasa la fecha de floración. Segundo, si el coeficiente de correlación es negativo, implica que un aumento de la temperatura en este período disminuye el período de desarrollo de la yema y la floración es más temprana. Y tercero, cuanto mayor es el coeficiente de correlación, mayor es el efecto producido por la correspondiente variación de la temperatura.

Para cada amplitud del período p se muestran los coeficientes de correlación para las tres temperaturas diarias consideradas, media, máxima y mínima, observándose que, aunque siguen una evolución parecida, no muestran la misma magnitud de valores ni el mismo signo, positivo o negativo, para determinadas fechas del transcurso del período de reposo. Durante la endolatenencia, los coeficientes de correlación son mayoritariamente positivos, como se observa en la parte inicial de todos los gráficos, como consecuencia de que las temperaturas elevadas retrasan la ruptura del reposo y por consiguiente la fecha de floración. Una vez finalizada la endolatenencia, durante la ecolatenencia los coeficientes de correlación son mayoritariamente negativos, como se observa en la parte final de todos los gráficos, porque las temperaturas elevadas aceleran el desarrollo de las yemas y así avanzan la fecha de floración. La ruptura del reposo se considera en la fecha en la que los primeros coeficientes negativos son significativos ($< -0,754$, como se indicó en materiales y métodos). La magnitud de los coeficientes de correlación es mayor cuando se

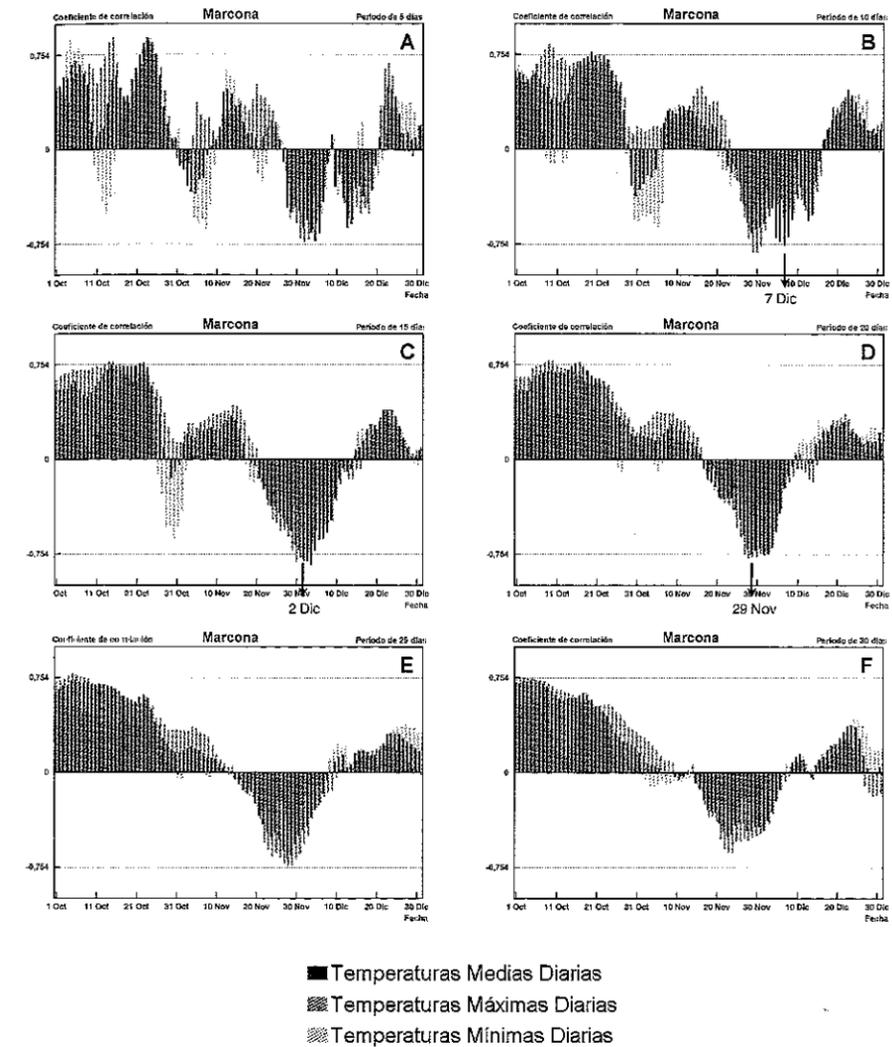


Figura 1. Establecimiento de la salida del reposo del almendro 'Marcona' por el análisis de la evolución de los coeficientes de correlación entre las temperaturas en diferentes períodos posteriores y la plena floración para los años 1994 a 2000.

A.- Períodos de 5 días de amplitud. B.- Períodos de 10 días de amplitud. C.- Períodos de 15 días de amplitud. D.- Períodos de 20 días de amplitud. E.- Períodos de 25 días de amplitud. F.- Períodos de 30 días de amplitud.

Figure 1. Establishment of dormancy breaking of 'Marcona' almond by analyzing the evolution of the correlation coefficients between the temperatures in different subsequent periods and full bloom for the 1994 to 2000 seasons. A.- Periods with amplitude of 5 days. B.- Periods with amplitude of 10 days. C.- Periods with amplitude of 15 days. D.- Periods with amplitude of 20 days. E.- Periods with amplitude of 25 days. F.- Periods with amplitude of 30 days.

utilizan las temperaturas máximas y medias diarias, obteniéndose así también una mayor cantidad de coeficientes significativos que al utilizar las temperaturas mínimas diarias. Debido a ello, se tomó como criterio de determinación del final del reposo invernal, la evolución de los coeficientes generados con las temperaturas medias, ya que éstas son más representativas de la temperatura diaria real al tener en cuenta las temperaturas mínima y máxima diarias.

La amplitud del período p influye sobre la significación y la variabilidad de los coeficientes de correlación que generan. Se observa como a medida que aumenta la amplitud del período, los coeficientes generados presentan una evolución más continua, ya que, a mayor amplitud del período, menor es la influencia de temperaturas extremas ocasionales en el cálculo de los coeficientes de correlación, tal como se puede apreciar en la figura 1.

Ello también conlleva que a medida que aumenta la amplitud del período, las magnitudes de los coeficientes disminuyen, hasta llegar a no generarse ningún coeficiente significativo en el caso de 'Marcona' de la figura 1.F para intervalos de 30 días. Así, en el conjunto de todos los cultivares estudiados, se ha observado que los períodos de 15 y 20 días generan el mayor número de coeficientes significativos, los períodos de 10 y 25 días una menor cantidad de coeficientes significativos, y el período de 30 días casi ningún coeficiente significativo.

De esta manera, se ha elegido el período de 15 días como el óptimo para la determinación del final del reposo invernal, debido a que los coeficientes presentan unas tendencias uniformes (figuras 1-C y 2), con coeficientes significativos en todos los cultivares, como se puede observar en el ejemplo de la figura 2 en la que se muestran los gráficos

generados con períodos de 15 días para otros seis cultivares representativos.

Necesidades en frío y en calor

Una vez fijado el final del reposo invernal para cada cultivar según el modelo expuesto, se calcularon las necesidades en frío y en calor (tabla 6). Los cultivares que antes alcanzan la fecha estimada del final del período de reposo invernal son 'Tardive de la Verdrière' (358 CU), 'Rachele' (376 CU), 'Zahaf' y 'Pou de Felanitx' (392 CU), 'Xina' y 'Nonpareil' (403 CU), los cuales a finales de noviembre ya han satisfecho sus necesidades en frío. La pauta general, sin embargo, es que el almendro acabe de satisfacer sus necesidades en frío en el centro del Valle del Ebro durante la primera decena de diciembre, ya que la mayoría de los cultivares estudiados presentan unas necesidades en frío entre 400 y 500 CU, incluso los considerados como de floración tardía. El último cultivar en satisfacer sus necesidades en frío es 'Aylés' (481 CU).

En cuanto a las necesidades en calor para la floración, se observa que existe más variabilidad que respecto a las necesidades en frío. Así, para los cultivares que muestran unas necesidades similares en frío, existe un amplio rango de necesidades en calor, como puede observarse en la figura 3. Los cultivares que requieren una menor acumulación de calor para la floración son 'Constantini' (5.345 GDH °C), 'Pou de Felanitx' (5.419 GDH °C) y 'Desmayo Langueta' (5.458 GDH °C). Los cultivares que requieren una mayor acumulación de calor son 'Primoskij', 'Titan', 'Yaltinskij', 'Ferralise', 'Bertina', 'Lauranne', 'Moncayo', 'Tardive de la Verdrière', y 'Felisia' (8.434-9.352 GDH °C), siendo éstos los cultivares más tardíos en florecer, lo que indica la relación existente entre las necesidades en calor y la fecha de floración.

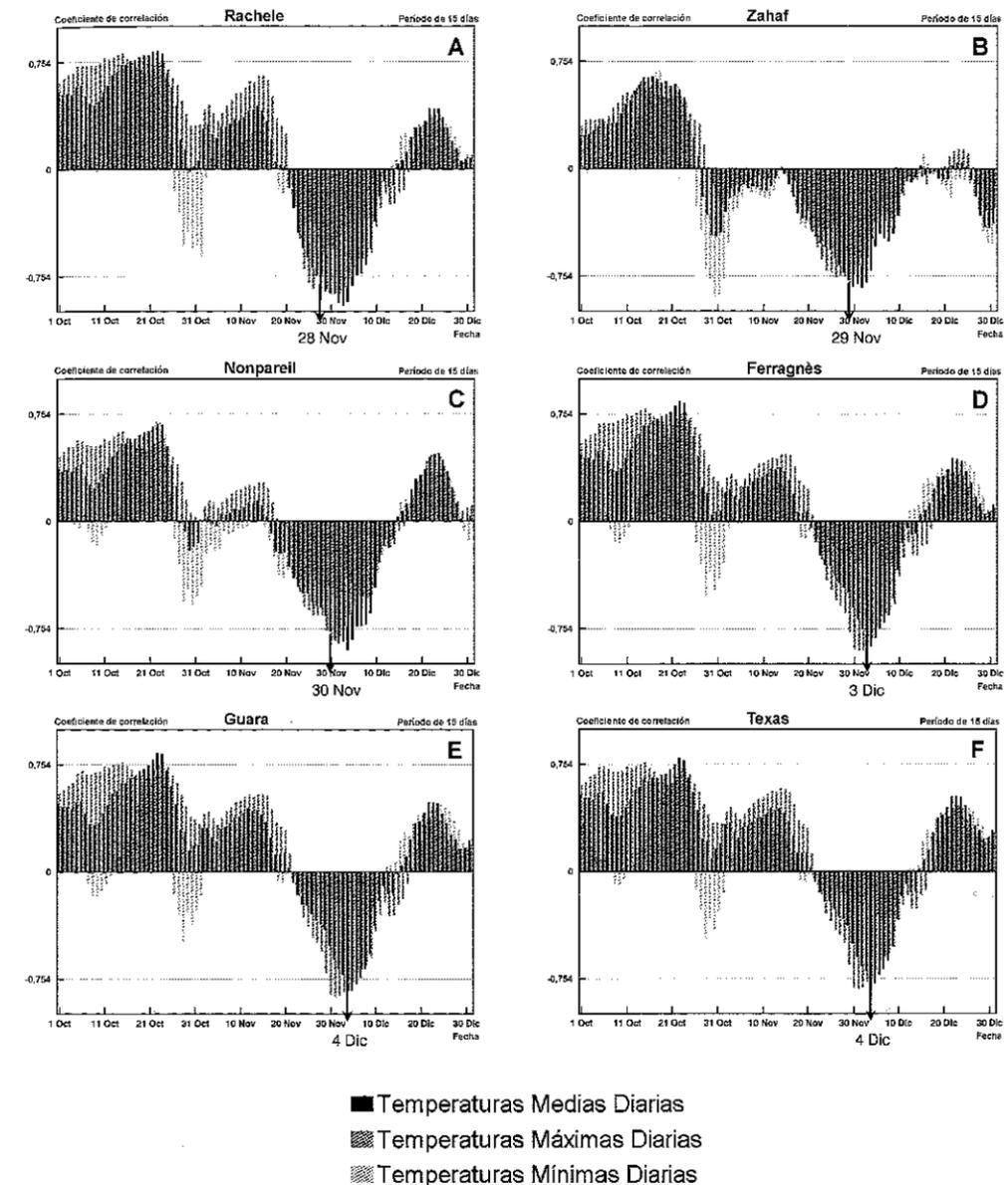


Figura 2. Representación gráfica de los coeficientes de correlación de las temperaturas para los períodos de 15 días y el establecimiento de la salida del reposo invernal en diversos cultivares de almendro mediante los coeficientes significativos.

A.- 'Rachele'. B.- 'Zahaf'. C.- 'Nonpareil'. D.- 'Ferragnès'. E.- 'Guara'; F.- 'Texas'.

Figure 2. Graphical representation of the correlation coefficients of temperatures for 15-day periods and dormancy breaking establishment on several almond cultivars by significant coefficients.

A.- 'Rachele'. B.- 'Zahaf'. C.- 'Nonpareil'. D.- 'Ferragnès'. E.- 'Guara'; F.- 'Texas'.

Tabla 6. Necesidades en frío y en calor calculadas por el modelo basado en las temperaturas y en las fechas de floración del período de 1994 a 2000 en 47 cultivares de almendro. Fecha media del inicio de la acumulación de frío el 26 de octubre

Table 6. Chilling and heat requirements estimated by analysis of temperature and blooming dates from the period of 1994 to 2000 for 47 almond cultivars. Mean date for start chill accumulation October 26th.

Cultivar	Necesidades en frío			Necesidades en calor		
	CU	Días desde el inicio de la acumulación de frío	Salida del reposo	GDH °C	Días desde la salida del reposo	Floración (F ⁵⁰)
Pou de Felanitx	392	34	29 Nov	5419	71	8 Feb
Zahaf	392	34	29 Nov	5611	72	9 Feb
Constantini	444	38	3 Dic	5345	70	11 Feb
Desmayo Largueta	428	37	2 Dic	5458	71	11 Feb
Xina	403	35	30 Nov	5815	74	12 Feb
Ramillete	444	38	3 Dic	5947	75	16 Feb
Ponç	428	37	2 Dic	6210	77	17 Feb
Chellastone	463	39	4 Dic	6168	76	18 Feb
Jordi	428	37	2 Dic	6488	79	19 Feb
Verdereta	416	36	1 Dic	6606	80	19 Feb
Desmayo Rojo	463	39	4 Dic	6418	78	20 Feb
Marcona	428	37	2 Dic	6603	80	20 Feb
Rof	463	39	4 Dic	6418	78	20 Feb
Vivot	428	37	2 Dic	6603	80	20 Feb
Nec Plus Ultra	463	39	4 Dic	6635	80	22 Feb
Vinagrilla	428	37	2 Dic	6820	82	22 Feb
Alzina	463	39	4 Dic	6757	81	23 Feb
Totsol	428	37	2 Dic	6943	83	23 Feb
Blanquerna	463	39	4 Dic	6906	82	24 Feb
Fournat de Brézenaud	416	36	1 Dic	7367	86	25 Feb
Picantilli	428	37	2 Dic	7386	86	26 Feb
Nonpareil	403	35	30 Nov	7758	89	27 Feb
Miagkoskorlupij	463	39	4 Dic	7439	86	28 Feb
Filippo Ceo	463	39	4 Dic	7558	87	1 Mar
Tokyo	463	39	4 Dic	7558	87	1 Mar
Cambra	463	39	4 Dic	7697	88	2 Mar
Rachele	376	33	28 Nov	8302	94	2 Mar
Texas	463	39	4 Dic	7697	88	2 Mar
Thompson	463	39	4 Dic	7697	88	2 Mar
Cristomorto	428	37	2 Dic	8027	91	3 Mar
Glorieta	428	37	2 Dic	8027	91	3 Mar
LeGrand	428	37	2 Dic	8027	91	3 Mar
Masbovera	463	39	4 Dic	7841	89	3 Mar
Ai	444	38	3 Dic	8051	91	4 Mar
Ayles	481	40	5 Dic	7909	89	4 Mar
Ferragnès	444	38	3 Dic	8051	91	4 Mar
Guara	463	39	4 Dic	7978	90	4 Mar

Tabla 6 (continuación). Necesidades en frío y en calor calculadas por el modelo basado en las temperaturas y en las fechas de floración del período de 1994 a 2000 en 47 cultivares de almendro.

Fecha media del inicio de la acumulación de frío el 26 de octubre

Table 6 (continuation). Chilling and heat requirements estimated by analysis of temperature and blooming dates from the period of 1994 to 2000 for 47 almond cultivars. Mean date for start chill accumulation October 26th.

Cultivar	Necesidades en frío			Necesidades en calor		
	CU	Días desde el inicio de la acumulación de frío	Salida del reposo	GDH °C	Días desde la salida del reposo	Floración (F ⁵⁰)
Tuono	463	39	4 Dic	7978	90	4 Mar
Tardive de la Verdière	358	32	27 Nov	8814	98	5 Mar
Primorskij	428	37	2 Dic	8434	94	6 Mar
Lauranne	428	37	2 Dic	8569	95	7 Mar
Titan	444	38	3 Dic	8457	94	7 Mar
Bertina	463	39	4 Dic	8536	94	8 Mar
Ferralise	463	39	4 Dic	8536	94	8 Mar
Yaltinskij	463	39	4 Dic	8536	94	8 Mar
Moncayo	463	39	4 Dic	8696	95	9 Mar
Felisia	428	37	2 Dic	9352	100	12 Mar

También se observa como los cultivares españoles 'Felisia', 'Moncayo', 'Guara', 'Cambra', 'Aylés' y 'Masbovera' y los franceses 'Ferragnès', 'Ferralise' y 'Lauranne', procedentes de programas de mejora, muestran unas necesidades en calor altas, ocupando la zona superior derecha de la figura 3, mientras que los cultivares tradicionales como 'Desmayo Largueta', 'Marcona', 'Ramillete', 'Constantini', 'Pou de Felanitx' y 'Nec Plus Ultra', muestran unas menores necesidades en calor, ocupando la zona inferior izquierda de la figura 3.

Discusión

Cálculo del final de la endolatenencia

Para el cálculo de la salida del reposo invernal, coincidente con el final de la endolatenencia,

se ha utilizado a menudo un método que se basa en el estudio del incremento del peso seco de las yemas florales antes y después de su permanencia en una cámara templada a temperatura constante, pero resulta tedioso al requerir la manipulación del material vegetal. Además, se cambia bruscamente el entorno de las yemas y basándose en los cálculos de las necesidades en frío y en calor en el comportamiento de las yemas y generalmente en los datos térmicos de un solo año.

Sin embargo, el método utilizado en este trabajo resulta sencillo y útil para determinar la fecha del final del reposo invernal. La modificación de los métodos inicialmente sugeridos por Tabuenca y Herrero (1966) y Tabuenca et al. (1972) ha introducido una mayor precisión en la determinación de la ruptura del reposo invernal, ya que para cada día se dispone de 18 coeficientes de

correlación (6 períodos x 3 temperaturas diarias), lo que proporciona mucha más información de cómo afectan las temperaturas posteriores a cada día en la fecha de floración. Tabuenca y Herrero (1966) sólo calcularon los coeficientes de los días 1 y 15 de cada mes, mientras que Tabuenca et al. (1972) sólo consideraron períodos consecu-

tivos y no solapados, lo que supone una cantidad de coeficientes muy reducida en ambos casos. El uso de períodos solapados permite una estimación mucho más precisa del final del período de reposo invernal (figuras 1 y 2) y aporta una mayor información sobre el comportamiento de los cultivares en un clima concreto.

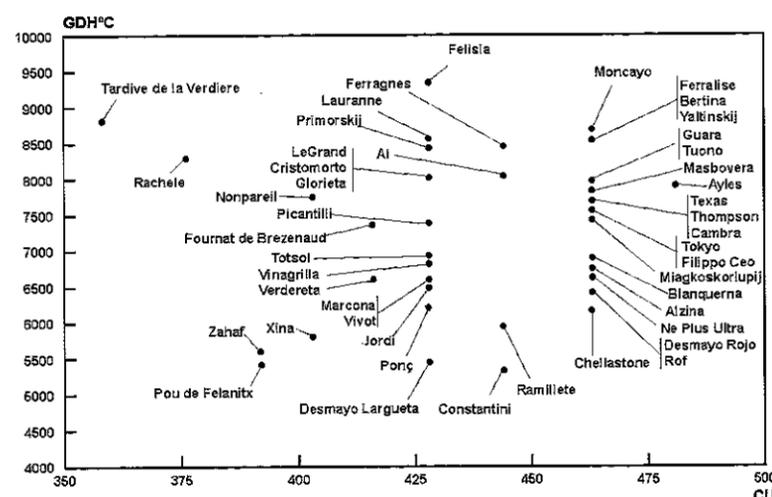


Figura 3. Distribución de los cultivares de almendro según sus necesidades en frío (CU) y en calor (GDH °C).

Figure 3. Distribution of the almond cultivars by their chill (CU) and heat requirements (GDH °C).

Con este conjunto de datos se ha podido decidir que la mejor estimación del fin del reposo coincide con el día en que se observa una correlación negativa significativa para un intervalo de 15 días y las temperaturas medias diarias. Indudablemente ya se habían observado coeficientes negativos en los días anteriores, pero ello puede deberse al posible control interactivo del frío y el calor (Sparks, 1993). El hecho de que a partir de esta fecha los coeficientes sean significativos la convierte en un punto de inflexión para el efecto de las bajas temperaturas. Con este criterio, las fechas de la salida del período

de reposo invernal en el conjunto de los cultivares de almendro estudiados van del 28 de noviembre al 5 de diciembre (tabla 6), agrupándose un gran número de variedades en los días 2, 3 y 4 de diciembre.

Efecto del clima en las necesidades en frío y en calor

Las necesidades en frío y en calor para distintos cultivares de almendro se han estimado hasta ahora casi sólo en climas más suaves que el de Zaragoza, en el Valle Central del

Ebro, en donde son frecuentes las heladas y los períodos de niebla en invierno. Ello podría influir en los resultados obtenidos en las distintas localidades para los mismos cultivares. Así, los climas de Mallorca (Tabuenca et al., 1972), Angle Vale en Australia (Rattigan y Hill, 1986) y Murcia (Egea et al., 2003), en zonas costeras templadas, son comparables entre sí, lo mismo que los climas de Segorbe (Tabuenca et al., 1972), Nanguiloc en Australia y Manduel en Francia (Rattigan y Hill, 1987), en zonas templadas interiores, en las que ya son más probables algunas heladas en invierno-primavera. Sin embargo, el reducido número de cultivares estudiados en algunos de estos trabajos y la ausencia de cultivares comunes entre los trabajos de Rattigan y Hill (1986 y 1987) y Egea et al. (2003) impide que se pueda establecer una comparación más amplia de los resultados con los tres métodos distintos, así como de analizar el posible efecto del clima diferente en las necesidades que el conjunto de los cultivares puedan presentar. En el caso de los resultados de Tabuenca et al. (1972) no se cuantificaron las necesidades en frío y en calor, sino sólo la magnitud de su valor, por lo que la comparación de resultados es todavía más difícil.

En cuanto a las necesidades en frío Rattigan y Hill (1986 y 1987) obtuvieron los valores menores, dentro de un rango de variabilidad pequeño (220 a 350 CU). Nosotros hemos obtenido valores superiores, pero dentro del mismo rango de variabilidad (358-481 CU), mientras que Egea et al. (2003), mediante el método del incremento del peso seco de las yemas, aplicado en un solo año, han obtenido valores con un rango muy alto de variabilidad y unas magnitudes que en algunos casos son muy elevadas (266-996 CU), llegando a duplicar las necesidades calculadas en este trabajo.

En cuanto las necesidades en calor, se ha obtenido una variabilidad mayor que la observada en las necesidades en frío, de

5.345 a 9.352 GDH °C. Estos valores son similares a los obtenidos por Rattigan y Hill (1986 y 1987), de 5.300 a 8.900 GDH °C, con un reducido número de cultivares. Egea et al. (2003), quienes habían encontrado la mayor variabilidad en las necesidades en frío, obtuvieron sin embargo la menor variabilidad en las necesidades en calor (5.942 a 7.577 GDH °C) y así mismo una magnitud de valores bastante inferiores a la de los otros trabajos.

Debido al clima frío de Zaragoza se produce una acumulación media de 15 CU y 82 GDH °C por día durante el período del 15 de noviembre al 15 de febrero (figura 4). El efecto del clima es decisivo para determinar la fecha del inicio de la acumulación de frío, el 26 de octubre en Zaragoza, mientras que fue el 10 de noviembre en Murcia (Egea et al., 2003) en el año concreto en el que se realizó el estudio. El adelanto en la acumulación de CU en Zaragoza, así como su régimen de temperaturas más frías, hace que las fechas de salida del reposo invernal sean anteriores en Zaragoza que en Murcia. Mientras que en Zaragoza casi todos los cultivares salen del reposo invernal durante la primera decena de diciembre, en Murcia se estableció la salida del período de reposo para fechas posteriores. Así, para 'Ferragnès', se determinó el fin del reposo invernal el 3 de diciembre en Zaragoza (figura 2) y el 20 de Diciembre en Murcia (Egea et al., 2003).

Estos resultados pueden sostener la afirmación de Egea et al. (2003) sobre la importancia de las necesidades en frío para determinar la fecha de floración en las regiones de clima suave. Sin embargo, no explican las diferencias de valores calculados en las distintas localidades con métodos distintos. Tabuenca (1972) en el clima frío de Zaragoza, observó grandes diferencias en los resultados de necesidades en frío (número de horas por debajo de 7, 10 y 12 °C) al utilizar el método de pesado de las yemas en dos

años consecutivos para los mismos clones. Tabuenca (1975), en el mismo clima de Zaragoza, intentó paliar esta variabilidad observada en los resultados de distintos años mediante la reiteración del estudio a lo largo de cinco años consecutivos, y el cálculo de los valores medios. Sin embargo, el método de pesado de las yemas es muy tedioso y costoso en recursos humanos y estima el

final del reposo invernal a partir de intervalos semanales. Rattigan y Hill (1986 y 1987), como en este trabajo, basan las estimaciones de las necesidades en frío y calor en el comportamiento del material vegetal sin manipular, bajo las condiciones climáticas de varios años, por lo que son más fiables que las estimaciones realizadas por pesadas en un año concreto (Tabuenca, 1972, 1975).

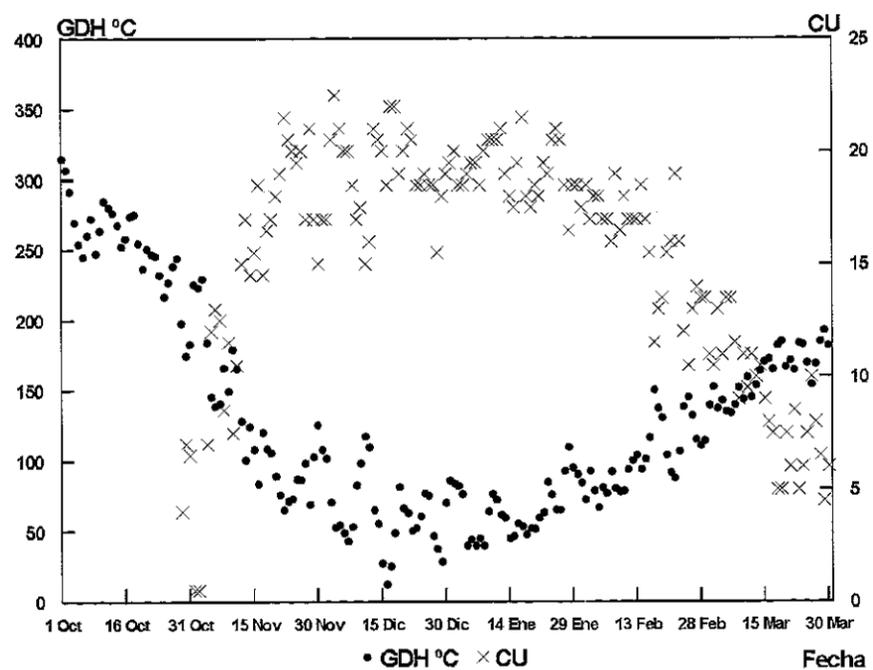


Figura 4. Unidades de frío medias diarias (CU) y Grados hora de calor (GDH °C) para el período 1994-2000 en Zaragoza.

Figure 4. Mean daily Chill Units (CU) and Growing Degree Hours (GDH °C) for the period 1994-2000 at Zaragoza (Spain).

Evolución de las temperaturas y época de floración

En las condiciones climáticas de Zaragoza las necesidades en frío para el almendro se encuentran entre 400 y 500 CU, por lo que la fecha de floración está determinada en su mayor parte por las necesidades en calor, que en el almendro presentan un rango

mucho más amplio, con la mayoría de cultivares entre 5.500 y 8.500 GDH °C. Ello es debido a la rápida satisfacción de las necesidades en frío al principio del invierno, ya que la gran mayoría de los cultivares finalizan el reposo en la primera decena de diciembre. Así la fecha de la floración depende más de las condiciones climáticas del período final del desarrollo de las yemas

florales. Este comportamiento ya fue observado por Chandler y Brown (1951) al analizar la floración del almendro en California.

En la figura 4 se puede observar la evolución de la acumulación diaria de calor y de frío como media de los años 1994-2000. En ella se puede constatar que durante el mes de diciembre la acumulación de calor es muy pequeña, mostrando su mínimo a finales de diciembre. Al analizar la evolución de los coeficientes de correlación de las temperaturas de los períodos móviles con las fechas de floración, se puede observar que a una mayor temperatura durante el mes de diciembre (figura 1), más temprana es la floración (coeficientes negativos). Así, en los meses de diciembre anteriores a las primaveras de 1994, 1995 y 1997, en las que se registraron temperaturas suaves, tuvo lugar el adelanto generalizado de la floración. El caso contrario sucedió en los meses de diciembre anteriores a las primaveras de 1996 y 1999, con temperaturas muy frías, lo que se tradujo en un retraso general en la floración para esos años.

Tras el análisis de los datos climáticos de los años del estudio, parece que el factor que produce una mayor dispersión en las fechas de floración de los distintos cultivares es la presencia de temperaturas frías durante la segunda quincena de febrero, cuando algunos cultivares ya han abierto el 90% de las flores y otros no han abierto ninguna flor. Las bajas temperaturas en ese momento paralizan la evolución de la floración en los cultivares en flor y retrasan el comienzo de la floración de los cultivares en los que aún no ha empezado, por lo que aumentan la dispersión de las fechas de floración de los distintos cultivares.

Esta dispersión en la floración del almendro también puede deberse a la temperatura base para el desarrollo de las yemas florales, que al parecer no sólo varía según las espe-

cies (Richardson et al., 1975; Rattigan y Hill, 1987), sino también entre cultivares, como ya se ha observado durante la progresión de la floración (Bernad y Socias i Company, 1995; DeGrandi-Hoffman et al., 1996; Hill et al., 1985). Además cabe pensar en un diferente comportamiento de respuesta de los cultivares a temperaturas extremas ocasionales o a la alternancia brusca de temperaturas, fenómenos típicos de las primaveras de las zonas templadas (Couvillon y Erez, 1985; Erez y Couvillon, 1987), y que se escapan a cualquier modelo de cuantificación de las necesidades en frío y en calor.

Magnitudes de las necesidades para cada cultivar

Existen cultivares con pocas necesidades en frío, que muestran unas necesidades elevadas en calor, como 'Tardive de la Verdière', 'Rachele', 'Nonpareil', 'Primorskij', 'Lauranne' y 'Felisia'. Por otra parte, existen cultivares con altas necesidades en frío que muestran unas necesidades en calor muy bajas, como 'Chellastone', 'Desmayo Rojo', 'Rof', 'Ne Plus Ultra', 'Alzina' y 'Blanquerna', lo que concuerda con las apreciaciones de Tabuenca et al. (1972) para los cultivares comunes. Andrés y Durán (1999) han descrito una situación similar en albaricoquero, al observar que la coincidencia de los períodos de floración en diferentes cultivares no implica que sus necesidades en frío y en calor sean similares. Esta circunstancia tiene lugar en los almendros 'Xina', 'Constantini' y 'Desmayo Langueta' (tabla 6). Al examinar independientemente las necesidades en frío y en calor de dos cultivares se puede evitar el error de intentar correlacionar sus necesidades térmicas para la floración con la coincidencia o no de sus fechas de floración.

Otra aplicación de las estimaciones en frío y calor de los distintos cultivares de almendro es en el diseño de la plantación cuando se

requiere la polinización cruzada. No sólo se deberán elegir cultivares inter-compatibles con una fecha de floración similar, sino que las necesidades en frío invernal y en acumulación de calor deberán ser también similares, con el fin de disminuir las oscilaciones anuales de solapamiento entre las floraciones de los cultivares debidas a las condiciones térmicas anteriores a la floración.

La fecha de floración en la mejora genética

Los cultivares con elevadas necesidades en frío y/o en calor presentan un interés especial en la mejora genética para la obtención de material vegetal con floración extra-tardía (Socias i Company et al., 2003), ya que según Spiegel-Roy y Alston (1979) se puede realizar la selección para la floración tardía reuniendo altas necesidades en frío y altas necesidades en calor, lo que se podría conseguir mediante el cruzamiento de cultivares con valores extremos, en cuya descendencia se podrían encontrar individuos con grandes necesidades en frío, en calor o en ambas. Los nuevos cultivares con altas necesidades en calor pueden adaptarse a una mayor amplitud de ambientes y pueden producir buenas cosechas aún en años o localidades en las que las acumulaciones en frío son limitadas (Citadin et al., 2001). Unos cultivares con una combinación de altas necesidades en frío y en calor, mostrarán de manera estable una floración tardía, aunque requerirán ambientes en los que se asegure la acumulación de sus necesidades en frío para obtener buenas producciones.

Conclusión

La estimación del final del reposo invernal de un cultivar mediante el modelo de los coeficientes de correlación entre las temperaturas invernales de períodos móviles de

15 a 20 días y las fechas de plena floración, resulta de gran utilidad en el cálculo de sus necesidades en frío y en calor. El buen ajuste de este modelo (Alonso et al., 2005) demuestra que el cálculo del final del reposo mediante las series temporales fenológico-climáticas es adecuado para el almendro. Con este método se puede evaluar un gran número de cultivares y determinar los que presentan con seguridad valores extremos para poder ser utilizados en los programas de mejora, ya que el criterio de selección de parentales sólo según la fecha de floración más tardía no asegura que estos parentales presenten las mayores necesidades en frío y en calor.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro de los programas de investigación CICYT AGL2001-1054-C03-02 e INIA RF02-001. J.M. Alonso agradece la financiación en forma de beca predoctoral, al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). El apoyo y consejo del Dr. A.J. Felipe, quien inició la colección de almendro objeto de este estudio, han sido inestimables para el desarrollo de este trabajo, así como el ejemplo profesional de la Dra. M.C. Tabuenca cuyo trabajo fue pionero en el estudio de las necesidades en frío y en calor de los frutales.

Bibliografía

Alonso JM, Ansón JM, Espiau MT, Socias i Company R. 2005. Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requi-

- rements and blooming date. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 130 (3): 308-318.
- Andrés MV, Durán JM, 1999. Cold and heat requirements of the apricot tree (*Prunus armeniaca* L.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 74 (6): 757-761.
- Ashcroft GL, Richardson EA, Seeley SD. 1977. A statistical method of determining chill unit and growing degree hour requirements for deciduous fruit trees. HortScience 12 (4): 347-348.
- Ballester J, Socias i Company R, Arús P, de Vicente MC. 2001. Genetic mapping of a major gene delaying blooming time in almond. Plant Breed. 120: 268-270.
- Bernad D, Socias i Company R. 1995. Characterization of some self-compatible almonds. II. Flower phenology and morphology. HortScience 30: 321-324.
- Browicz K, Zohary D. 1996. The genus *Amygdalus* L. (*Rosaceae*): Species relationships, distribution and evolution under domestication. Genet. Resour. Crop Evol. 43: 329-347.
- Brown DS, Abi-Fadel JF. 1953 The stage of development of apricot flower buds in relation to their chilling requirements. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61: 110-118.
- Brown DS, Kotob FA. 1957 Growth of flower buds of apricot, peach and pear during the rest period. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 69:158-164.
- Chandler JL, Brown DS. 1951. Deciduous orchards in California winters. Calif. Agric. Ext. Serv. Cir. 179.
- Citadin I, Raseira MCB, Herter FG, Silva JB. 2001. Heat requirement for blooming and leafing in peach. HortScience 36 (2): 305-307.
- Couvillon GA, Erez A. 1985. Effect of level and duration of high temperatures on rest completion in peach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 579-581.
- DeGrandi-Hoffman G, Thorp R, Loper G, Eisikowitch D. 1996. Describing the progression of almond bloom using accumulated heat units. J. Appl. Ecol 33: 812-818.
- Dennis FG. 2003. Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. HortScience 38 (3): 347-350.
- Dietrichson J. 1964. The selection problem and growth rhythm. Silvae Genet. 13: 178-184.
- Egea J, Ortega E, Martínez-Gómez P, Dicenta F. 2003. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. Environ. Exper. Bot. 50: 79-85.
- Erez A, Couvillon GA. 1987. Characterization of the influence of moderate temperatures on rest completion in peach. J. Am. Soc. Hort. Sci. 112: 677-680.
- Felipe AJ. 1977. Épocas de floración de variedades de almendro. An. Inst. Nac. Invest. Agrar., Ser. Prod. Veg. 7: 105-112.
- Felipe AJ. 2000. El almendro. I. El material vegetal. Integrum, Lleida, 461 pp.
- Felipe AJ, Socias i Company, R. 1985. L'amélioration génétique de l'amandier à Saragosse. Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ 85/I: 9-14.
- Freeman MW, Martin GC. 1981 Peach floral bud-break and abscisic acid content as affected by mist, light and temperature during rest. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106:333-336.
- Grasselly C. 1972. L'amandier: caractères morphologiques et physiologiques des variétés, modalité de leurs transmissions chez les hybrides de première génération. Tesis, Univ. Bordeaux, Francia.
- Grasselly C, Gall H. 1967. Étude sur la possibilité de combinaison de quelques caractères agronomiques chez l'amandier Cristomorto híbrido par trois autres variétés. Ann. Amélior. Plant. 17: 83-91.
- Guerrero R, Viti R, Monteleone P, Gentili M. 2002. La valutazione della dormienza nell'albicocco: tre metodi a confronto. Frutticoltura 64 (3): 73-77.
- Hill SJ, Stephenson DW, Taylor BK. 1985. Almond pollination studies: pollen production and via-

- bility, flower emergence and cross-pollination tests. *Aust. J. Exp. Agric* 25: 697-704.
- Hill J, Becker HC, Tigerstedt PMA. 1998. Quantitative and ecological aspects of plant breeding. St. Edmundsbury Press, Suffolk, UK.
- Hoshmand AR. 1988. Statistical methods for agricultural sciences. Timber, Portland, OR.
- Kester DE. 1965. Inheritance of time bloom in certain progenies of almond. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 87: 214-221.
- Kester D.E., Asay R. 1975. Almonds. En: J. Janick y J.N. Moore (ed.): *Advances in fruit breeding*. Purdue Univ. Press, West Lafayette, IN, pp. 387-419.
- Kester DE, Gradziel TM. 1996. Almonds. En: J. Janick y J.N. Moore (eds.): *Fruit Breeding*. vol. 3. Wiley, New York. pp 1-97
- Kester DE, Gradziel TM, Grasselly C. 1990. Almonds. *Acta Hort.* 290: 699-758.
- Lamp BM, Connell JH, Duncan RA, Viveros M, Polito VS. 2001. Almond flower development: floral initiation and organogenesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126 (6): 689-696.
- Lang GA, Early JD, Martin GC, Darrell RL. 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22: 371-377.
- Rattigan K, Hill SJ. 1986. Relationship between temperature and flowering in almond: effect of location. *Aust. J. Exper. Agric.* 27: 399-404.
- Rattigan K, Hill SJ. 1987. Relationship between temperature and flowering in almond. *Aust. J. Exper. Agric.* 27: 905-908.
- Richardson EA, Seeley SD, Walker DR. 1974. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience* 9: 331-332.
- Richardson EA, Seeley S.D., Walker D.R., Anderson J.L.M., Ashcroft G.L. 1975. Phenoclimatology of spring peach bud development. *HortScience* 10: 236-237.
- Socias i Company R, Felipe AJ. 1992. Almond: a diverse germplasm. *HortScience* 27(7): 717-718, 863.
- Socias i Company R, Felipe AJ, Gómez Aparisi J. 1999. A major gene for flowering time in almond. *Plant Breed.* 118: 443-448.
- Socias i Company R, Felipe AJ, Gómez Aparisi J. 2003. Almond bloom in a changing climate. *J. Amer. Pomol. Soc.* 57 (2): 89-92.
- Sparks, D. 1993. Chilling and heating model for pecan budbreak. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118 (1): 29-35.
- Spiegel-Roy P, Alston FH. 1979. Chilling and post-dormant heat requirement as selection criteria for late-flowering pears. *J. Hort. Sci.* 54: 115-120.
- Tabuenca MC. 1972. Necesidades de frío invernal en almendro. *An. Aula Dei* 11: 325-329.
- Tabuenca MC. 1975. Evaluación de las necesidades de frío para salir del reposo de variedades de almendro. *An. Aula Dei* 13: 208-217.
- Tabuenca MC. 1980. Necesidades de frío invernal y exigencias de calor previas a la floración de variedades de ciruelo europeo. *An. Aula Dei* 15: 148-159.
- Tabuenca MC, Herrero J. 1966. Influencia de la temperatura en la época de floración de frutales. *An. Aula Dei* 8: 115-153.
- Tabuenca MC, Mut M, Herrero J. 1972. Influencia de la temperatura en la época de floración de variedades de almendro. *An. Aula Dei* 11: 387-395.
- Vargas FJ, Romero MA. 1988. Comparación entre descendencias de cruzamientos intervarietales de almendro en relación con la época de floración y la calidad del fruto. *Rap. EUR* 11557: 59-72.
- Westwood NH. 1978. *Temperate-zone pomology*. W.H. Feeman, San Francisco, CA.
- (Aceptado para publicación el 21 de septiembre de 2005).