

Densidad floral, cuajado y características de los frutos del almendro en relación al tipo de ramificación

O. Kodad y R. Socias i Company

Unidad de Fruticultura, CITA de Aragón, Apartado 727, 50080 Zaragoza. E-mail: rsocias@aragon.es

Resumen

Se estudió la densidad floral en nueve selecciones de almendro con el fin de determinar su relación con el cuajado y el nivel de cosecha posterior. Como la presencia de ramilletes de mayo es el mayor componente de la densidad floral, se compararon los parámetros físicos de los frutos producidos sobre los ramilletes de mayo y sobre los brotes del año con el fin de establecer la influencia del tipo de rama fructífera sobre la calidad del fruto. La densidad floral y sus componentes, así como el cuajado, la densidad de frutos y la productividad dependen en gran medida del genotipo y del año, pero la interacción genotipo \times año fue poco importante, e incluso no significativa, mostrando la importancia de cada genotipo y del efecto del año, probablemente ligado a las condiciones climáticas de cada año y al estado fisiológico del árbol. El efecto de la rama fructífera fue significativo para el tamaño del fruto, pero no para su forma, mostrando que la forma del fruto y de la pepita es característica del cultivar, lo que permite su definición comercial. Como los frutos procedentes de los ramilletes de mayo son de menor tamaño, se consideran de menor calidad comercial.

Palabras clave: Almendro, *P. amygdalus* Batsch, Densidad floral, Cuajado, Características del fruto, Características de la pepita, Tipo de ramificación.

Summary

Bloom density, fruit set and fruit traits in almond as related to the type of fruiting branches

Bloom density was studied in nine almond selections in order to ascertain its relationship with fruit set and the level of the subsequent crop. The presence of spurs was found to be the main component of bloom density. Thus, the physical parameters of fruits produced on spurs or on one-year shoots were compared in order to establish the influence of the fruiting branch on fruit quality. Bloom density and its components, as well as fruit set, fruit density and productivity were highly dependent on the genotype and the year, but the interaction genotype \times year was less important or even non significant, showing the importance of each genotype and the year effect, probably linked to the climatic conditions of each year and the physiological status of the trees. The effect of the fruiting branch was significant for fruit and kernel size, but not for their shape, showing that nut and kernel shape are cultivar traits, allowing its commercial definition as such, but also that fruits from spurs, because of their smaller size, are of lesser commercial quality.

Key words: Almond, *P. amygdalus* Batsch, Bloom density, Fruit set, Fruit traits, Kernel traits, Branching habit.



Introducción

En los frutales, el número inicial de flores diferenciadas durante el año anterior es el primer componente de la producción (Werner *et al.*, 1988). Sin embargo, el potencial productivo de un cultivar es difícil de estimar debido a los muchos factores que influyen en el nivel de la cosecha final. Estos factores son tanto genéticos como ambientales, siendo los primeros internos del cultivar y los segundos externos. Además, existe la interacción entre ambos tipos de factores.

En el almendro (*Prunus amygdalus* Batsch), la regularidad de la producción requiere la formación de un gran número de flores cada año (elevada densidad floral) y su adecuada polinización con el fin de obtener un cuajado aceptable y con él una cosecha rentable (Felipe, 2000; Godini, 2002; Kester y Griggs, 1959). Por ello un cuajado elevado se considera una característica deseable que se ha relacionado con una elevada densidad floral y una buena calidad de la flor (Bernad y Socias i Company, 1998; Socias i Company *et al.*, 2004). Como en los otros árboles frutales, el cuajado depende tanto de la identidad biológica de cada cultivar como de las condiciones ambientales, especialmente en el momento de la floración (Socias i Company y Felipe, 1992a; Socias i Company *et al.*, 2004). Por ello, la estimación de la densidad floral y del cuajado de cualquier genotipo son pasos importantes en la evaluación de su potencial productivo y de su valor como posible cultivar comercial (Socias i Company *et al.*, 1998).

Tanto la calidad de la flor como la del fruto dependen de su posición en la inflorescencia, como en los frutales de pepita (Williams, 1965), o del tipo de rama fructífera, como en el melocotonero (Bruchou y Génard, 1999) y el manzano (De Silva *et al.*, 2000; Lauri *et al.*, 1996). Ello implica que se debe tener en cuenta otro factor al evaluar la productivi-

dad de un cultivar, ya que el cuajado depende de la calidad de la flor. Además, el valor de la cosecha no depende sólo de su volumen, sino también de su calidad, por lo que también se deben considerar los factores que afectan a la calidad del fruto.

Como consecuencia de estas consideraciones, nuestro objetivo fue evaluar el potencial productivo de un grupo de selecciones de almendro en relación a su capacidad de producir yemas de flor y alcanzar un nivel de cuajado adecuado, así como determinar las características físicas de los frutos según la rama fructífera sobre la que se desarrollan.

Materiales y métodos

Se estudiaron nueve selecciones del programa de mejora genética del almendro del CITA de Zaragoza, procedentes del cruzamiento 'Felisia' x 'Bertina'. Todas se caracterizan por su floración muy tardía (fig. 1) y su auto-compatibilidad (Socias i Company *et al.*, 2003). Se estudiaron tres árboles de cada selección, injertados sobre el patrón híbrido almendro x melocotonero 'Garnem', plantados en la misma parcela experimental y cultivados según las técnicas habituales en la zona. Durante dos años consecutivos (2003 y 2004) se eligieron cuatro ramas de cada selección para realizar las mediciones. Aunque cada selección tiene su propio hábito vegetativo, se eligieron ramas homogéneas en lo posible, incluyendo las diferentes direcciones alrededor de la copa, el mismo orden de ramificación, una longitud aproximada de 1 m y un altura de unos 1,5 m sobre el suelo.

Siguiendo el criterio de Church y Williams (1983), se midió la longitud de todas las ramificaciones y se contó el número de yemas florales de cada ramificación. Las medidas se realizaron en enero, con las

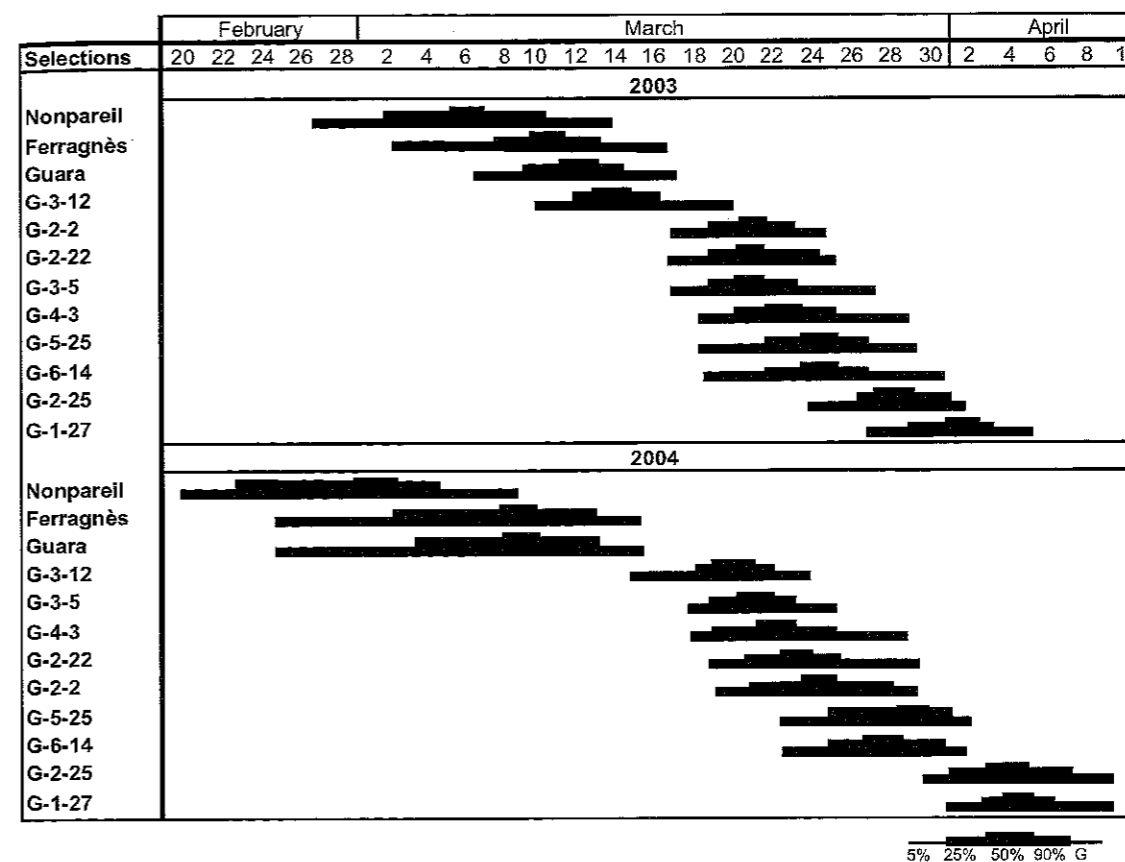


Figura 1. Época de floración de las selecciones estudiadas en comparación a cultivares extendidos. Los porcentajes indican la cantidad de flores abiertas.
Figure 1. Blooming time of the selections studied as compared to standard cultivars. Percentages indicate the amount of flowers opened.

yemas en el estado fenológico B (Felipe, 1977). Las ramas se dejaron para su polinización libre y se contó el número de frutos en junio, con lo que se obtuvo el cuajado. Se calculó también la productividad (número de frutos por unidad de sección de la rama) y la densidad (número de frutos por unidad de longitud de la rama) en cada rama (Socias i Company *et al.*, 2004).

En la cosecha de 2004 se recogieron 20 frutos de cada uno de los dos tipos de madera

de fructificación: ramilletes de mayo y brotes del año. Los frutos se consideraron maduros cuando el mesocarpo ya se había secado y separado totalmente del endocarpo (Felipe, 2000). Después de tomar las medidas de los frutos, éstos se descascaron para obtener las pepitas. Los pesos antes y después del descascarado en una balanza electrónica permitieron calcular los rendimientos en pepita. Se midió la longitud (*L*), la anchura (*A*) y el espesor (*E*)

mediante un calibre digital tanto del fruto como de la pepita con una precisión de 0,01 mm. Estas variables permitieron determinar el diámetro geométrico (D), el índice de esfericidad (\emptyset) y el tamaño (T) del fruto y de la pepita según las siguientes ecuaciones (Mohsenin, 1980; Aydin, 2003):

$$D = (LAE)^{1/3},$$

$$\emptyset = D/L,$$

$$T = LAE$$

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS Institute (2000). El procedimiento PROC GLM se aplicó para realizar el análisis de varianza para distinguir el efecto del genotipo y el año sobre los caracteres estudiados. La separación de medias se llevó a cabo con la prueba LSD con una probabilidad de 0,05. Los coeficientes de correlación fenotípica entre los parámetros productivos se determinaron con el procedimiento PROC CORR.

Resultados

Densidad floral

Los resultados mostraron una gran variabilidad para la densidad floral entre los genotipos (tabla 1), con unos valores medios que oscilan entre 0,21 (para G-3-12) y 1,13 (para G-3-5) yemas/cm. También se encontró una gran variabilidad para los otros caracteres, como son el número de ramilletes de mayo por cm (desde 0,04 en G-1-27 a 0,29 en G-3-5), y el número de yemas por ramillete de mayo (desde 2,18 en G-3-12 a 5,13 en G-2-22). Las selecciones con una elevada densidad floral, como G-3-5, también mostraron un número elevado de ramilletes de mayo. El estudio de los coeficientes de variación (tabla 1) confirmó la gran variabilidad encontrada para estos caracteres entre los genotipos, siendo los caracteres más variables el número de yemas y la densidad floral. Al

Tabla 1. Densidad de yemas (DY) y de ramilletes de mayo (DR) (número de yemas o ramilletes por cm de longitud de rama) y número de yemas de flor por ramillete de mayo (NY/R) en nueve selecciones de almendro durante dos años
Table 1. Bud density (DY) and spur density (DR) (number of buds or spurs per cm of branch length) and number of flower buds per spur (NY/R) in nine almond selections during two years

Selección	Año	DY		DR		NY/R	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004
G-1-27		0,51	0,35	0,04	0,11	4,33	3,10
G-2-2		0,55	0,47	0,06	0,10	4,04	3,88
G-2-22		0,83	0,67	0,16	0,26	5,13	3,77
G-2-25		0,30	0,56	0,07	0,18	3,55	2,82
G-3-12		0,52	0,21	0,16	0,13	2,96	2,18
G-3-5		1,13	0,64	0,29	0,24	3,86	3,94
G-4-3		0,70	0,60	0,13	0,23	4,36	3,78
G-5-25		0,70	0,36	0,14	0,15	4,37	3,34
G-6-14		0,69	0,33	0,11	0,12	3,35	3,24
Media \pm SD		0,65 \pm 0,2	0,46 \pm 0,16	0,12 \pm 0,06	0,17 \pm 0,17	3,9 \pm 0,93	3,33 \pm 0,7
VC anual (%)		31,49	34,46	47,42	34,09	23,34	21,37
VC interanual (%)		32,99		39,81		22,64	

comparar estos coeficientes de variación para cada selección y año con la variación entre los años (tabla 1), se encontró que la variación interanual era del mismo orden que la observada entre genotipos, lo que muestra que la variable año es muy importante al calcular el valor de estos caracteres.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para los caracteres estudiados entre los genotipos en ambos años (tabla 2). Sin embargo, la interacción genotipo \times año sólo fue significativa para la densidad floral, mientras que no lo fue para la densidad de ramilletes de mayo y el número de yemas de flor por ramillete (tabla 2).

Cuajado y productividad

El cuajado, la densidad de frutos y la productividad también mostraron una gran variabilidad entre los genotipos (tabla 3). El cuajado osciló entre 5,72% en G-2-22 y 24,77% en G-4-3; la densidad de frutos entre 0,04 frutos/cm en G-3-12 y 0,18 en G-3-5 y la productividad entre 2,97 frutos/cm² en G-3-12 y 19,79 en G-4-3. Los coeficientes de variación para el cuajado fueron similares en los dos años, pero para la densidad de frutos y la productividad fueron mucho

mayores en 2003 que en 2004. Para todos los caracteres, los coeficientes de variación entre años fueron menores que dentro de los años (tabla 3).

El análisis de varianza (tabla 4) mostró diferencias significativas entre los genotipos para estos tres caracteres, pero no para todos ellos entre los dos años. La densidad de frutos y la productividad fueron mayores en 2004 que en 2003, con diferencias significativas, pero las diferencias para el cuajado no fueron significativas. La interacción genotipo \times año para cuajado y densidad de fruto fue significativa y puede explicar que no sólo fueron diferentes los valores para cada selección durante los dos años, sino que también su orden de clasificación fuese diferente. Las selecciones G-2-22, G-3-12 y G-4-3 mostraron diferencias significativas para el cuajado entre los dos años, mostrando el efecto del año, probablemente como resultado de las condiciones climáticas de cada año (fig. 2). Todas las selecciones, excepto G-2-22 y G-3-12 (fig. 3), mostraron el mismo nivel de significación para las diferencias en la densidad de fruto entre los dos años. La interacción genotipo \times año, sin embargo, no fue significativa para la productividad (tabla 4).

Tabla 2. Análisis de varianza de la densidad floral y sus componentes: yemas de flor (DY), ramilletes de mayo (DR) y número de yemas por ramillete de mayo (NY/R)
Table 2. Analysis of variance of bloom density and its components: Flower buds (DY), spurs (DR) and number of flower buds per spur (NY/R)

Fuente de variación	df	Variable		
		DY	DR	NY/R
Genotipo	8	0,22 ***	0,030 ***	2,52 ***
Año	1	0,67 ***	0,032 ***	7,68 ***
Genotipo \times año	8	0,09 **	0,007 ns	0,51 ns
Error	54	0,03	0,003	0,68

Significación de los cuadrados medios a $P \leq 0,001$ (***), $P \leq 0,01$ (**), o no significativo (ns)



Tabla 3. Cuajado, densidad de frutos y productividad en nueve selecciones de almendro durante dos años
Table 3. Fruit set, fruit density and productivity in nine almond selections during two years

Selección	Cuajado (%)		Densidad de frutos (frutos/cm)		Productividad (frutos/cm ²)	
	Años 2003	2004	2003	2004	2003	2004
G-1-27	20,09	21,48	0,09	0,12	11,26	14,70
G-2-2	15,87	17,97	0,08	0,10	7,59	8,93
G-2-22	5,72	12,04	0,04	0,10	5,54	10,05
G-2-25	22,14	19,09	0,13	0,06	17,27	8,32
G-3-12	19,96	9,32	0,04	0,06	2,97	6,60
G-3-5	15,04	16,55	0,18	0,10	19,26	10,44
G-4-3	11,39	24,77	0,07	0,17	10,24	19,79
G-5-25	16,76	15,14	0,06	0,11	6,07	12,76
G-6-14	22,97	19,13	0,08	0,13	9,76	13,40
Media ± SD	16,65 ± 6,38	17,27 ± 6,61	0,08 ± 0,05	0,10 ± 0,04	9,99 ± 7,72	11,6 ± 5,94
VC anual (%)	38,33	38,27	63,50	38,97	77,32	50,96
VC interanual (%)	32,76		38,65		46,66	

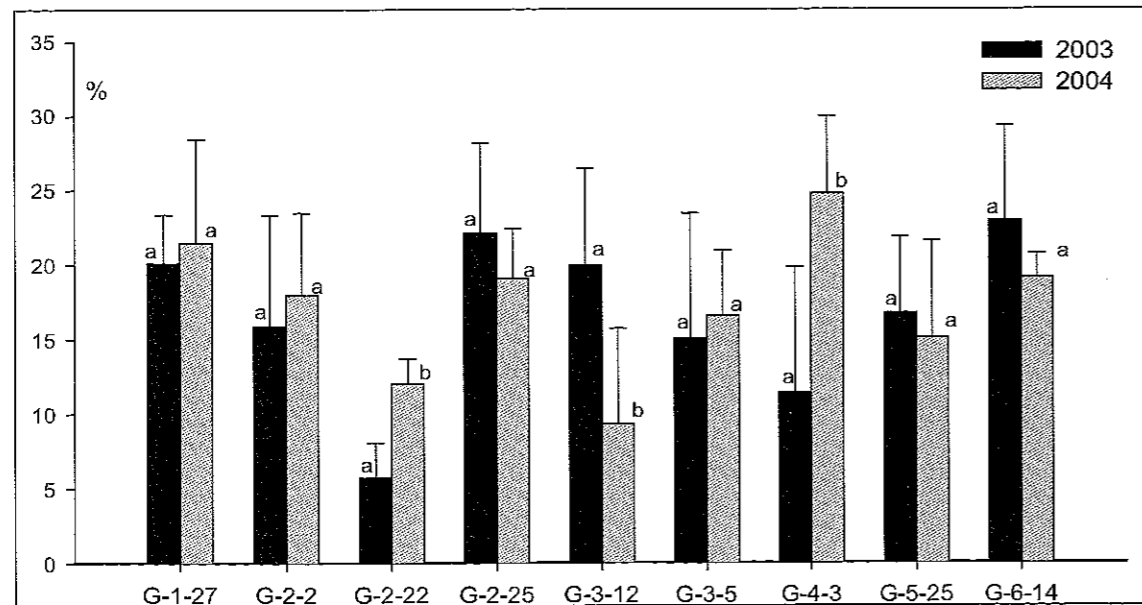


Figura 2. Variabilidad del cuajado de nueve selecciones de almendro durante los dos años de estudio. Las letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.01$ para cada selección.
Figure 2. Fruit set variability of the nine almond selections in the two years of the study. Different letters indicate significant differences at $P \leq 0.01$ for each selection.

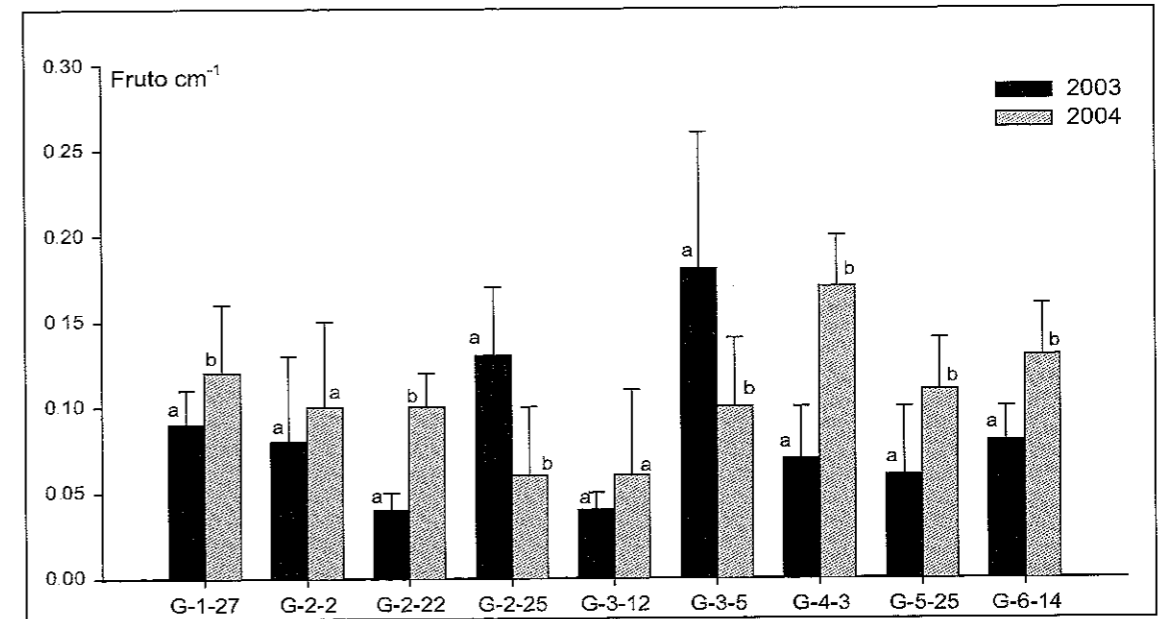


Figura 3. Variabilidad de la densidad de fruto de nueve selecciones de almendro durante los dos años de estudio. Las letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.01$ para cada selección.
Figure 3. Fruit density variability of the nine almond selections in the two years of the study. Different letters indicate significant differences at $P \leq 0.01$ for each selection.

Tabla 4. Análisis de varianza del cuajado, la densidad de frutos y la productividad
Table 4. Analysis of variance for fruit set, fruit density and productivity

Fuente de variación	df	Variable		
		Cuajado	Densidad de fruto	Productividad
Genotipo	8	0,025 ***	0,005 ***	97,02 ***
Año	1	0,002 ns	0,023 ***	236,91 ***
Genotipo × año	8	0,022 **	0,004 **	58,91 ns
Error	54	0,008	0,002	47,53

Significación de los cuadrados medios a $P \leq 0.001$ (***), $P \leq 0.01$ (**), o no significativo (ns)

Las correlaciones fenotípicas entre los caracteres (tabla 5) mostraron que hay una relación altamente significativa entre el cuajado y la densidad de fruto y la productividad. La productividad está altamente correlacionada con la densidad de flores y de frutos y a un nivel menor con el número de ramilletes de mayo.

La densidad de frutos está correlacionada positivamente con la densidad floral y con el número y la densidad de ramilletes de mayo. La densidad floral está positivamente correlacionada con el número y la densidad de ramilletes de mayo y en un grado menor con el número de flores por ramillete de mayo.

Tabla 5. Correlaciones fenotípicas entre los parámetros que contribuyen a la productividad del almendro

Table 5. Phenotypic correlations between the traits contributing to almond productivity

Variable	Cuajado	Productividad	Densidad de fruto	Densidad de yemas	Nº de ramilletes de mayo
Cuajado	1,00				
Productividad	0,57	1,00			
Densidad de fruto	0,63	0,80	1,00		
Densidad de yemas	0,69	0,94	0,70	1,00	
Nº de ramilletes de mayo	0,35	0,53	0,59	0,72	1,00
Nº de ramilletes de mayo/ longitud de rama	0,38	0,51	0,32	0,63	0,95
Nº de yemas/ramilletes de mayo	0,15	0,48	0,40	0,75	0,87
	0,04	0,31	0,36	0,70	0,12
	0,22	0,22	-0,01	0,70	0,87
	0,20	0,01	0,18	0,29	0,12
	0,12	-0,03	-0,01	0,52	0,24

Para cada parámetro, la figura superior representa el valor de 2003 y la inferior el de 2004. Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se muestran en negrita.

Caracteres de los frutos de los ramilletes de mayo y de los brotes del año

Se encontraron diferencias significativas para el peso, el tamaño y el diámetro tanto del fruto como de la pepita, y para el peso

de la cáscara entre los frutos producidos sobre ramilletes del año y sobre brotes del año (tabla 6). En todos los casos los valores de los frutos producidos sobre brotes del año fueron mayores que los de los frutos producidos sobre ramilletes de mayo (tabla 7). Sin

Tabla 6. Análisis de varianza de los caracteres de los frutos producidos sobre ramilletes de mayo o sobre brotes del año (PF: peso del fruto; PP: peso de la pepita; Rdt: rendimiento en pepita; TF: tamaño del fruto; TP: tamaño de la pepita; DF: diámetro del fruto; DP: diámetro de la pepita; ØF: esfericidad del fruto; ØP: esfericidad de la pepita)

Table 6. Analysis of variance of the fruit traits of fruits produced on spurs or on one-year fruiting branches (PF: fruit weight; PP: kernel weight; Rdt: kernel percentage; TF: fruit size; TP: kernel size; DF: fruit diameter; DP: kernel diameter; ØF: fruit sphericity; ØP: kernel sphericity)

Fuente	DF	Variable									
		PF	PP	Rdt	TF	TP	DF	DP	ØF	ØP	
Genotipo	8	35,4**	0,71**	4,26**	251322604**	2082107**	63,8**	5,6**	2,41*	0,0164**	
Rama fructífera	1	4,37**	0,50**	16,5ns	91961703**	2411925**	51,2**	7,6**	5,02ns	0,00001ns	
G x RF	8	0,54*	0,05*	11,9*	7232763ns	106425ns	5,5ns	0,3ns	2,19ns	0,0003ns	
Error	179	0,25	0,02	4,6	4357127	81001	4,6	0,2	2,4	0,00004	

Significación de los cuadrados medios a $P \leq 0,001$ (***), $P \leq 0,01$ (**), o no significativo (ns)

Tabla 7. Valores medios de los caracteres del fruto y la pepita según la rama fructífera (PF: peso del fruto; PP: peso de la pepita; Rdt: rendimiento en pepita; TF: tamaño del fruto; TP: tamaño de la pepita; DF: diámetro del fruto; DP: diámetro de la pepita; ØF: esfericidad del fruto; ØP: esfericidad de la pepita)

Table 7. Mean values of the fruit and kernel traits depending of the fruiting branch (PF: fruit weight; PP: kernel weight; Rdt: kernel percentage; TF: fruit size; TP: kernel size; DF: fruit diameter; DP: kernel diameter; ØF: fruit sphericity; ØP: kernel sphericity)

Tipo de rama fructífera	Variable								
	PF	PP	Rdt	TF	TP	DF	DP	ØF	ØP
Brotes del año	5,07 a	1,31 a	26,7 a	14568 a	2712 a	24,7 a	13,9 a	1,03 a	0,55 a
Ramilletes de mayo	4,76 b	1,20 b	26,1 a	14039 b	2481 b	23,7 b	13,4 b	0,82 a	0,55 a

Separación de medias en cada columna por LSD a $P \leq 0,05$.

embargo, no hubo diferencias significativas para el rendimiento en pepita ni para los índices de esfericidad del fruto y de la pepita. Estos resultados indican que las diferencias de tamaño afectan de la misma forma al fruto y a la pepita, por lo que se mantiene el rendimiento en pepita así como la forma del fruto y de la pepita, caracteres que pueden considerarse como característicos del cultivar e independientes del tipo de rama fructífera. La interacción genotipo x tipo de rama fructífera fue significativa para el peso del fruto y el de la pepita, así como para el rendimiento en pepita, lo que muestra que no sólo varía el valor de estos caracteres de un año a otro, sino también el orden de clasificación de los genotipos según su valor.

Discusión

Densidad floral

Las diferencias significativas encontradas para la densidad floral entre las selecciones y entre los años están de acuerdo con resultados previos en otros cultivares y seleccio-

nes de almendro (Bernad y Socias i Company, 1998; Socias i Company, 1988), así como en otras especies, como el manzano (Simidchev, 1976), el melocotonero (Okie y Werner, 1996; Werner et al., 1988) y el albaricoquero (Alburquerque et al., 2004). La densidad floral muestra una baja heredabilidad, estimada entre 0,26 y 0,30 (Sarvisé y Socias i Company, 2004), lo que indica que los factores genéticos que controlan la densidad floral están condicionados en gran medida por el ambiente, especialmente por la condiciones climáticas de cada año (Bernad y Socias i Company, 1998).

Hasta ahora se ha dedicado poca atención a entender el efecto de los ramilletes de mayo en la densidad floral, la productividad y la producción regular en el almendro (Kester y Gradziel, 1996; Polito et al., 2002). El número medio de ramilletes de mayo, la densidad de ramilletes de mayo y el número de yemas por ramillete de mayo en cada genotipo mostraron diferencias significativas, siendo las selecciones G-3-5, G-2-22 y G-4-3 las de mayores valores para estos parámetros. Aunque estos valores dependen tanto del genotipo como del año, la baja interacción genotipo x año indica que las selecciones no cambian en su rango de clasificación de un

año a otro. Por ello estos parámetros pueden considerarse características varietales y permiten clasificar los genotipos de almendro según la densidad y las características de los ramilletes de mayo, como ya se ha hecho para otros tipos de ramas fructíferas (Gülcan, 1985; Kester y Gradziel, 1990). La gran variabilidad observada para estos parámetros físicos es especialmente llamativa porque todas las selecciones son de la misma progenie, lo que podría reflejar la gran heterosis presente en el almendro (Socias i Company y Felipe, 1992b).

Algunas de las diferencias encontradas entre los años pueden deberse tanto a las diferencias climáticas de un año a otro como a la presencia o no de vejería. En el almendro, como en las otras especies (Bustamante-García, 1980; Raseira y Moore, 1986), la densidad floral depende de la iniciación floral que tiene lugar durante el año anterior (Lamp *et al.*, 2001), desde el principio al fin del verano, según el cultivar y las condiciones ambientales (Jacobini y Pinnola, 1994). Cualquier desequilibrio durante este periodo puede desplazar o dañar el desarrollo normal de la iniciación y diferenciación floral (Lamp *et al.*, 2001; Sedgley y Griffin, 1989). El agua también juega un papel importante en el desarrollo de la yema, especialmente durante el verano, y cualquier estrés hídrico puede condicionar este proceso llegando a la inhibición de la formación de flores (Kester, 1978). El resultado final del estrés hídrico es una reducción en el número de yemas florales (Goldhamer y Viveros, 2000). Este fenómeno puede ser el resultado de una nutrición deficiente de la planta debido a la falta de acumulación de carbohidratos (Kozlowski *et al.*, 1991) o a una distribución deficiente de los nutrientes en el interior de la planta a causa de un desequilibrio entre el crecimiento vegetativo y la diferenciación floral (Goldhamer y Viveros, 2000). El verano de 2003 fue extremadamente cálido, y este hecho pudo tener un efecto negativo en la diferen-

ciación floral dando como resultado una menor densidad floral.

Estas selecciones no han mostrado vejería durante estos dos años. Sin embargo, se ha señalado la existencia de diferencias entre genotipos (Socias i Company *et al.*, 2004), y también que algunos cultivares tienen una tendencia a la vejería si no se cultivan de manera adecuada, como 'Marcona', 'Cristomorto' (Felipe, 2000), 'Ferraduel' (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980), 'Price' y 'Sonora' (Kester y Gradziel, 1996).

Cuajado, densidad de frutos y productividad

La evaluación de la producción en el almendro se basa en un conjunto de parámetros que incluyen el número de frutos por árbol, el peso de la pepita y el porcentaje de defectos (Kester y Gradziel, 1996; Godini, 2002). Estos parámetros dependen a su vez de otras características, tales como la densidad floral, y se encuentran bajo un control genético y ambiental (Kester, 1989). Por ello, la definición y la evaluación de la producción en el almendro es difícil (Socias i Company *et al.*, 1998), aunque un cultivar que produzca un número elevado de frutos por árbol y, por lo tanto, por hectárea, será considerado productivo (Godini, 2002). La presencia de diferencias significativas entre selecciones y entre años (tabla 4) muestra que ambas variables influyen sobre los parámetros medidos, pero la baja interacción genotipo \times año para la productividad permite establecer una clasificación de los genotipos de almendro según su productividad, que puede utilizarse en el proceso de selección de nuevos cultivares de almendro porque el orden de su clasificación se mantendrá a lo largo de los años.

El cuajado no alcanzó el 25% en ninguna selección en los dos años (tabla 3), inferior al 30%, que se considera el umbral para una

cosecha comercial (Kester y Griggs, 1959). Sin embargo, es muy difícil establecer un nivel aceptable de cuajado para todos los casos a causa de la gran variabilidad de la densidad floral entre los cultivares de almendro (Socias i Company, 1988), así como de la calidad floral (Bernad y Socias i Company, 1995; Socias i Company, 1983), de la auto-compatibilidad (Ben Njima y Socias i Company, 1995; Socias i Company y Felipe, 1992a), del clima durante y después de la floración (Felipe, 1988; Kodad y Socias i Company, 2004) y de las condiciones en que se desarrolla el cultivo. La variabilidad significativa del cuajado entre estas selecciones confirma los resultados ya señalados en el almendro (Dicenta *et al.*, 2001; Socias i Company *et al.*, 2004). Aunque en conjunto el efecto del año no fue significativo (tabla 4), algunas selecciones mostraron diferencias significativas entre años, como G-2-22, G-3-12 y G-4-3. Ello implica que el comportamiento de cada genotipo depende de su entidad biológica (Socias i Company *et al.*, 2004), pero, al igual que en otras especies, como en el albaricoquero (Alburquerque *et al.*, 2004) y en el peral (Atkinson y Taylor, 1994; Atkinson y Lucas, 1996), el cuajado se mostró influenciado por otros factores.

Todas las selecciones casi coincidieron en su floración, y sólo las selecciones G-2-25 y G-1-27 florecieron un poco más tarde en 2004 (fig. 1). Por ello, todas las selecciones florecieron bajo las mismas condiciones climáticas, aunque la reacción de cada selección fue diferente, como era de esperar debido al comportamiento de otros genotipos de almendro (Felipe, 1988; Kodad y Socias i Company, 2004; Socias i Company *et al.*, 2004).

Las selecciones con las medias de productividad y de densidad de fruto mayores fueron G-3-5 (14,85 frutos/cm²; 0,14 frutos/cm) y G-4-3 (15,01 frutos/cm²; 0,12 frutos/cm), mientras que G-3-12 mostró los valores inferiores

(4,78 frutos/cm²; 0,05 frutos/cm). Estos valores son menores que en otras selecciones de almendro (Socias i Company *et al.*, 2004) y pueden deberse a la identidad de las selecciones, al efecto del año o a la menor edad de los árboles del presente estudio.

La densidad floral mostró una gran correlación fenotípica con el número y la densidad de ramilletes de mayo, pero menor con el número de yemas por ramillete de mayo (tabla 5). Además, el número de ramilletes de mayo mostró una elevada correlación positiva con la densidad de frutos y la productividad. Estas correlaciones indican que cuanto mayor sea el número de flores en estas selecciones auto-compatibles, tanto mayor será la probabilidad de que estas flores se fecunden adecuadamente para asegurar un buen nivel de cuajado y, con ello, una cosecha comercial, mostrando que la densidad floral está positivamente correlacionada con el cuajado, como ya se ha mencionado (Byers y Marini, 1994; Socias i Company, 1988).

La fructificación sobre ramilletes de mayo aumenta en el almendro la superficie productiva y permite extender el periodo productivo de la rama durante varios años (Kester y Gradziel, 1996), como ya se ha indicado para el albaricoquero (Alburquerque *et al.*, 2003). Por ello, para mantener la producción también es aconsejable seleccionar para una elevada densidad de ramilletes de mayo, independientemente del número de flores por ramillete de mayo. Además, en condiciones en las que los riesgos de helada son elevados, un gran número de flores pueden compensar los daños de las heladas y permitir un nivel de cosecha aceptable, como se ha observado con algunas de estas selecciones de elevada densidad floral después de una helada (Kodad y Socias i Company, 2004), de forma semejante a lo observado en el melocotonero (Okie y Werner, 1996; Werner *et al.*, 1988).

Frutos de las diferentes ramas fructíferas

Las diferencias encontradas entre los frutos procedentes de los diferentes tipos de ramas fructíferas muestran que existe variabilidad entre algunos parámetros físicos de los frutos del mismo árbol. Estas diferencias reflejan el vigor de cada rama fructífera y el número de frutos en cada rama. Los ramilletes de mayo miden generalmente menos de 2,5 cm con un diámetro aproximado de 5 mm, pero sostienen a 4-5 frutos, o incluso 6. Esta concentración de frutos en un pequeño espacio provoca una competencia por nutrientes entre los frutos que conduce a un menor tamaño y peso, aunque este fenómeno es menor en el almendro que en otras especies (Felipe, 2000), en las que se ha encontrado una correlación directa entre el peso del fruto y la superficie foliar por fruto (Ferree y Cahoon, 1987; Lauri *et al.*, 1996; Maust *et al.*, 1999; Roper y Loescher, 1987; Weinberger, 1931). Por otro lado, los frutos sobre brotes del año tienen más espacio disponible y una menor competencia entre frutos que en los ramilletes de mayo. Todas estas diferencias resaltan la necesidad de tener en cuenta la posición y la distribución de las ramas fructíferas en cada cultivar para decidir las técnicas de cultivo más apropiadas para cada uno, especialmente la poda, como ya se ha indicado para otras selecciones de almendro (Bernad y Socias i Company, 1998), así como para otras especies frutales (Denby *et al.*, 1988; Kappel y Lichou, 1994).

Las diferencias en el tamaño del fruto pueden influir en el valor final de la cosecha porque las pepitas se calibran durante su proceso industrial y el mercado prefiere pepitas grandes. Sin embargo, a diferencia del tamaño del fruto, la productividad no viene afectada en el almendro por el tipo de rama fructífera ya que está determinada especialmente por el número de frutos por árbol (Felipe, 2000; Godini, 2002). La ausencia de diferencias significativas en el índice de esfericidad entre los

frutos de los dos tipos de ramificación indica que la forma del fruto y de la pepita es una clara característica del cultivar (Gülcan, 1985) y probablemente la razón por la que la calidad del almendro se ha definido hasta ahora exclusivamente por parámetros físicos (Socias i Company *et al.*, 2008). La uniformidad de los frutos del almendro permite la racionalización de las operaciones de cultivo, como la recolección, el despellejado, el transporte, el almacenaje y el descascarado, con una maquinaria bien adaptada a cada tipo de fruto, así como el mantenimiento de la imagen comercial de cada cultivar, que puede ser fácilmente identificado por el consumidor.

Conclusiones

Estos resultados permiten considerar que cuatro genotipos, G-2-25, G-5-25, G-3-5 y G-6-14, pueden considerarse selecciones prometedoras en los aspectos considerados, especialmente por su buen nivel de cuajado y, por consiguiente, su buena productividad y su falta de vecería. Además, estas selecciones presentan una elevada densidad floral, adecuada para asegurar una producción elevada y regular a lo largo de los años porque producen las flores sobre todo en ramilletes de mayo, lo que permite su producción durante varios años. Finalmente, estas selecciones se caracterizan por una época de floración muy tardía, lo que permite una estrategia de escape de las heladas tardías.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto AGL2004-00674-C02-01 de la CICYT. OK agradece la financiación del INIA y del grupo consolidado A12 de Aragón. Se agradece igualmente el apoyo técnico de J. Búbal, O. Frontera y J.M. Ansón.

Bibliografía

- Albuquerque N, Burgos L, Egea J, 2003. Apricot flower bud development and abscission related to chilling, irrigation and type of shoots. *Scientia Hort.* 98, 265-276.
- Albuquerque N, Burgos L, Egea J, 2004. Influence of flower bud density, flower bud drop and fruit set on apricot productivity. *Scientia Hort.* 102, 397-406.
- Atkinson CJ, Lucas AS, 1996. The response of flowering date and cropping of *Pyrus communis* cv. 'Concorde' to autumn warming. *J. Hort. Sci.* 71, 427-434.
- Atkinson CJ, Taylor L, 1994. The influence of autumn temperature on flowering time and cropping of *Pyrus communis* cv. 'Conference'. *J. Hort. Sci.* 69, 1067-1075.
- Aydin C, 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *J. Food Engineer.* 60, 315-320.
- Ben Njima N, Socias i Company R, 1995. Characterization of some self-compatible almonds. I. Pollen tube growth. *HortScience* 30, 318-320.
- Bernad D, Socias i Company R, 1995. Characterization of some self compatible almonds. II. Flower phenology and morphology. *HortScience* 30, 321-324.
- Bernad D, Socias i Company R, 1998. Bud density and shoot morphology of some self-compatible almond selections. *Acta Hort.* 470, 273-279.
- Bruchou C, Génard M, 1999. A space-time model of carbon translocation along a shoot bearing fruits. *Ann. Bot.* 84, 565-576.
- Bustamente-García MA, 1980. Influence of different irrigation regimes on flower bud formation and development in peach trees. MS thesis, Univ. Calif., Davis.
- Byers RE, Marini RP, 1994. Influence of blossom and fruit thinning on peach flower bud tolerance to an early spring freeze. *HortScience* 29, 146-148.
- Church RM, Williams RR, 1983. Comparison of flower number and pollen production of several dessert apple and ornamental *Malus* cultivars. *J. Hort. Sci.* 58, 327-336.
- De Silva HN, Hall AJ, Cashmor WM, Tustin DS, 2000. Variation of fruit size and growth within an apple tree and its influence on sampling methods for estimating the parameters of mid-season size distributions. *Ann. Bot.* 86, 493-501.
- Denby LG, Meheriuk M, Brownlee R, 1988. Effect of training system on yield in 'Early Redhaven' peach. *Fruit. Var. J.* 42, 49-52.
- Dicenta F, Ortega E, Cánovas JA, Egea J, 2002. Self-pollination vs. cross-pollination in almond: pollen tube growth, fruit set and fruit characteristics. *Plant Breed.* 121, 163-167.
- Felipe AJ, 1977. Almendro. Estados fonológicos. *Inf. Téc. Econ. Agrar.* 27, 8-9.
- Felipe AJ, 1988. Observaciones sobre comportamiento frente a heladas tardías en almendro. *Rap. EUR* 11557, 145-148.
- Felipe AJ, 2000. El almendro: el material vegetal. *Integrum*, Lérida.
- Ferree DC, Cahoon GA, 1987. Influence of leaf to fruit ratios and nutrient sprays on fruiting, mineral elements, and carbohydrates of apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112, 445-449.
- Godini A, 2002. Almond fruitfulness and role of self-fertility. *Acta Hort.* 591, 191-204.
- Goldhamer DA, Viveros M, 2000. Effects of pre-harvest irrigation cut-off duration and post-harvest water deprivation on almond tree performance. *Irrig. Sci.* 19, 125-131.
- Grasselly C, Crossa-Raynaud P, 1980. *L'Ammandier*. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris.
- Gülcan R, 1985. Almond descriptors (revised). IBPGR, Roma, 30pp.
- Jacoboni A, Pinnola IA, 1994. Climatological relationships of almond. *Acta Hort.* 373: 167-169.
- Kappel F, Lichou J, 1994. Flowering and fruiting of 'Burlat' sweet cherry on size-controlling rootstock. *HortScience* 29, 611-612.
- Kester DE, 1978. Cultural systems and rootstocks of the almond. I Congr. Int. Almendra y Avelana, 25-28 October 1976, Reus, Spain, pp. 783-799.

- Kester DE, 1989. An almond development model for analyzing yield. *HortScience* 24, 133.
- Kester DE, Gradziel TM, 1990. Growth habit trait nomenclature in almond and peach phenotypes. *HortScience* 25, 72.
- Kester DE, Gradziel TM, 1996. Almonds. En: J Janick y JN Moore (eds.): *Fruit Breeding*, vol III. J. Wiley & Sons, New York, pp. 1-97.
- Kester DE, Griggs WH, 1959. Fruit setting in almond: the effect of cross-pollinating various percentages of flowers. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 74, 214-219.
- Kodad O, Socías i Company R, 2004. Differential flower and fruit damages by spring frosts in almond. *Nucis* 12, 5-7.
- Kozlowski TT, Kramer PJ, Pallardy SG, 1991. The physiological ecology of woody plants. Stanford Univ., Stanford, California.
- Lamp BM, Connell JH, Duncan RA, Viveros M, Polito VS, 2001. Almond flower development: floral initiation and organogenesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126, 689-696.
- Lauri PE, Térouanne E, Lespinasse JM, 1996. Quantitative analysis of relationships between size, bearing-axis size and fruit-set- an apple tree case study. *Ann. Bot.* 77, 277-286.
- Maust BE, Williamson JG, Darnell RL, 1999. Effects of flower bud density on vegetative and reproductive development and carbohydrate relations in southern highbush blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124, 532-538.
- Mohsenin NN, 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publ., New York.
- Okie WR, Werner DJ, 1996. Genetic influence on flower bud density in peach and nectarine exceeds that of environment. *HortScience* 31, 1010-1012.
- Polito VS, Pinney K, Heerema R, Weinbaum SA, 2002. Flower differentiation and spur leaf area in almond. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 77, 474-478.
- Raseira MCB, Moore JN, 1986. Comparison of flower bud initiation in peach cultivars in northern and southern hemispheres. *HortScience* 21, 1367-1368.
- Roper TR, Loescher WH, 1987. Relationship between leaf area per fruit and fruit quality in 'Bing' sweet cherry. *HortScience* 22, 1273-1276.
- Sarvisé R, Socías i Company R, 2005. Variability and heritability of bud density and branching habit in almond. *Acta Hort.* 663, 401-404.
- SAS Institute, 2000. SAS/STAT user's guide. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Sedgley M, Griffin AR, 1989. Sexual reproduction of tree crops. Academic Press, London.
- Simidchev T, 1976. Pollen production of some trees. *Int. Symp. Melliferous Flora*, Budapest, September 1976. *Apimondia*, pp. 85-90.
- Socías i Company R, 1983. Flower sterility in almond. *Acta Hort.* 139, 69-74.
- Socías i Company R, 1988. La densité florale comme critère variétale chez l'amandier. *Rap. EUR* 11557, 145-148.
- Socías i Company R, Felipe AJ, 1992a. Self-compatibility and autogamy in 'Guara' almond. *J. Hort. Sci.* 67, 313-317.
- Socías i Company R, Felipe AJ, 1992b. Almond: a diverse germplasm. *HortScience* 27, 717-718, 803.
- Socías i Company R, Felipe AJ, Gómez Aparisi J, García JE, Dicenta F, 1998. The ideotype concept in almond. *Acta Hort.* 470, 51-56.
- Socías i Company R, Felipe AJ, Gómez-Aparisi J, 1999. A major gene for flowering time in almond. *Plant Breed.* 118, 443-448.
- Socías i Company R, Alonso JM, Gómez Aparisi J, 2004. Fruit set and productivity in almond as related to self-compatibility, flower morphology and bud density. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79, 754-758.
- Socías i Company R, Kodad O, Alonso JM, Gradziel TM, 2008. Almond quality: a breeding perspective. *Hort Rev.* 34, 197-238.
- Weinberger JH, 1931. The relation of leaf area to size and quality of peaches. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 28, 18-22.

- Werner DJ, Mowrey BD, Chaparro JX, 1988. Variability in flower bud number among peach and nectarine clones. *HortScience* 23, 578-580.
- Williams RR, 1965. The effect of summer nitrogen application on the quality of apple blossom. *J. Hort. Sci.* 40, 31-41.

(Aceptado para publicación el 18 de abril de 2008)