

Factores ambientales en el cuajado del almendro

R. Socías i Company, J. Gómez Aparisi, J.M. Alonso

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

Resumen

Se estudió durante dos años el cuajado en 'Guara', un cultivar autógamo de almendro, con cuatro tratamientos distintos: polinización libre, polinización libre de un número reducido de flores, autopolinización, y polinización cruzada con un polen compatible. Los tratamientos se aplicaron a árboles en el campo, a un árbol cubierto por una cabina y a ramas embolsadas. Los cuajados dentro de la cabina fueron en general menores que al aire libre, pero no siempre. Los cuajados en las bolsas después de las polinizaciones artificiales fueron siempre inferiores que en los otros ambientes, mostrando un efecto real de la bolsa. La reducción en el número de flores no siempre se tradujo en un cuajado mayor de las flores restantes. Las diferencias observadas entre los dos tipos de polinización no fueron consistentes, mostrando la autocompatibilidad total de 'Guara'. Se observaron efectos propios del año, pero sin afectar los distintos tratamientos en la misma dirección ni al mismo nivel, lo que confirma la necesidad de evaluar la autogamia de un cultivar durante más de un año.

Palabras clave: Almendro, *P. amygdalus* Batsch, Autocompatibilidad, Autogamia, Polinización, Cuajado

Summary

Environmental effects on almond fruit set

Fruit set was studied over two years in 'Guara', an autogamous almond (*Prunus amygdalus* Batsch) cultivar, following four different pollination treatments: open pollination, open pollination of a reduced number of flowers, self-pollination, and cross-pollination with a cross-compatible pollen. The treatments were applied to trees growing in the open air, to a tree inside an insect-proof cage, and to bagged branches in the open air. Fruit sets inside the cage were in general lower than at the open air, thus pointing to the possibility that a reduction of the light intensity inside the cage may reduce the level of fruit set. However, artificial pollinations resulted in higher sets inside the cage than in the open air in one of the years. Fruit sets on bagged branches after artificial pollinations were always lower than for the open air and inside the cage, showing that besides a light effect, as observed inside the cage, a bag effect is responsible for the reduction of sets, possibly due to the branch manipulation and flower damage by the bag. The reduction of the number of flowers did not always result in an increase in set of the remaining flowers. The differences between the two types of artificial pollination were not consistent, confirming 'Guara' self-compatibility. Year effects were observed, but not affecting all the treatments in the same direction nor at the same level, thus stressing the need for multiyear evaluation of autogamy.

Key words: Almond, *P. amygdalus* Batsch, Self-compatibility, Autogamy, Pollination, Fruit set

Introducción

La mayoría de los cultivares de almendro son autoincompatibles (Socias i Company, 1977).

Watkins (1979) consideró que el almendro, al evolucionar en Asia Central, en una zona de clima árido con estepas, desiertos y cadenas montañosas bajo condiciones desfavorables,

dirigió su evolución hacia la autoincompatibilidad como mecanismo para aumentar su heterocigosis y así sus posibilidades de adaptación. Como la parte comercial del fruto es una semilla, el proceso de la polinización así como la fecundación del óvulo son de importancia crítica para obtener cosechas aceptables. Para ello normalmente se requiere la plantación conjunta de al menos dos cultivares intercompatibles y de floración coincidente, su correcta distribución en la plantación y la presencia de insectos polinizadores para el transporte del polen, lo que añade el requisito adicional de unas condiciones meteorológicas adecuadas para el vuelo de estos insectos.

Como forma de evitar estos problemas, la autocompatibilidad se ha considerado una característica deseable de cualquier nuevo cultivar (Socías i Company et al., 1998). La mayoría de los programas de mejora genética actuales han incorporado esta característica como uno de sus principales objetivos (Socías i Company, 1990).

Se han utilizado diversos métodos para evaluar la autocompatibilidad en el almendro, cada uno con sus ventajas y sus limitaciones. El primero fue el crecimiento de los tubos polínicos (Socías i Company et al., 1976), así como el cuajado después de polinizaciones artificiales (Socías i Company y Felipe, 1987) o del embolsado de ramas (Grasselly y Olivier, 1984), o incluso el aislamiento de árboles enteros en cabinas, con o sin abejas (Godini et al., 1994; Socías i Company y Felipe, 1992). Posteriormente se han utilizado marcadores moleculares para la detección de plantones autocompatibles en los programas de mejora (Bošković et al., 1999; Channuntapipat et al., 2001; Ma y Oliveira, 2001), aunque esta información es únicamente de interés genético, ya que la evaluación final de la autocompatibilidad de un cultivar es la comprobación de su productividad en condiciones de campo, especial-

mente cuando el objetivo es la autogamia, o sea, la capacidad de un cultivar genéticamente autocompatible para polinizarse a sí mismo (Weinbaum, 1985). La morfología de la flor, en particular las posiciones relativas del estigma y de las anteras, es de crucial importancia para la autogamia natural (Bernad y Socías i Company, 1995; Godini et al., 1994). Sólo esta última característica puede permitir el establecimiento de plantaciones monovariales aisladas de cualquier otra en ausencia de insectos polinizadores.

La autocompatibilidad implica, en primer lugar, un crecimiento de los tubos polínicos después de la autopolinización similar al de la polinización cruzada con un polen compatible. En segundo lugar, este buen crecimiento de los tubos polínicos debe producir cuajados similares, lo que probablemente no sucede en todos los casos de un crecimiento comparable. En tercer lugar, estos cuajados deben alcanzar el nivel de una cosecha comercial. Desde un punto de vista agronómico se debe considerar un cuarto requisito, como es que estos cuajados comerciales se deben conseguir por medio de la autogamia natural. Evidentemente todos estos aspectos se han considerado durante el proceso de evaluación de las nuevas selecciones de almendro (Oukabli et al., 2000; Socías i Company y Felipe, 1987; Torre Grossa et al., 1994), aunque la autogamia sólo ha recibido una atención especial posteriormente (Dicenta et al., 2001; Godini et al., 1992; Socías i Company y Felipe, 1992; Vargas et al., 1998).

'Guara' es un cultivar de almendro seleccionado en el programa de mejora genética de Zaragoza (Felipe y Socías i Company, 1987) que ha mostrado elevados niveles de autogamia, probablemente gracias a su autocompatibilidad y morfología floral (Socías i Company y Felipe, 1992). En los últimos 10-12 años se ha plantado extensivamente en plantaciones mixtas y únicas en todas las zonas

productoras españolas, representando más del 53% de los plantones de almendro producidos por los viveros españoles (MAPA, 2002). Sin embargo, en algunos años se ha obtenido una cosecha menor de la esperada en algunas plantaciones, por lo que se planteó la consideración de su verdadero nivel de autogamia ya que éste podría venir condicionado por algunas condiciones ambientales que en este trabajo se plantea examinar.

Materiales y métodos

Se estudiaron los cuajados dos años consecutivos en los mismos tres árboles contiguos de 'Guara' injertados sobre el patrón híbrido melocotonero x almendro INRA GF-677 de la colección de germoplasma del almendro del CITA de Aragón en Zaragoza, que se mantiene con las labores usuales de cultivo. Se consideraron tres ambientes: aire libre, embolsado de ramas con una malla de plástico verde, y cobertura total de un árbol por una cabina cubierta por el mismo tipo de malla de plástico, con el fin de evitar en estos dos últimos ambientes, la entrada de cualquier insecto polinizador que pudiera transportar un polen extraño a los estigmas de las flores cubiertas. Los dos años se cubrió con la cabina el mismo árbol.

Se aplicaron cuatro tratamientos de polinización en cada uno de los tres ambientes descritos: polinización libre; polinización libre de un número reducido de flores, eliminando las que no estuvieran en el estado D (Felipe, 1977), como si se fueran a emasculadas; polinización cruzada de flores emasculadas con polen compatible de 'Marcona'. La polinización libre fue natural, facilitándose la polinización cruzada por la presencia de cultivares en floración en la colección coincidentes con la flo-

ración de 'Guara' y por la presencia de insectos polinizadores. La emasculación se realizó sobre flores en el estado D y se polinizaron dos días después, cuando se supone que tendría lugar su antesis. Todos los tipos de polen utilizados en las polinizaciones artificiales presentaron una germinación *in vitro* superior al 80%.

Para los ensayos de cuajado, se seleccionaron varias ramas distribuidas por la copa de los árboles y se asignaron a los distintos tratamientos. El número de ramas para cada tratamiento fue variable, con 4-6 ramas al aire libre y 2-4 ramas en la cabina. Sólo se embolsó una rama para cada tratamiento debido a la mayor complejidad del embolsamiento. Para cada tratamiento se contó el número de yemas de flor al inicio de la floración, y para el testigo-D el número de flores que se dejaron después de su eliminación parcial. También se contó el número de flores polinizadas manualmente. El número final de frutos se contó en junio.

La cabina se colocó sobre el árbol antes de la apertura de ninguna flor. Para las ramas embolsadas, los tratamientos testigo y testigo-D se embolsaron en este mismo estado, pero para los tratamientos de polinizaciones artificiales, el embolsado se realizó inmediatamente después de la polinización artificial. La cabina y las bolsas se quitaron después de la caída de pétalos.

Se midió la intensidad luminosa en días alternos, por la mañana y al mediodía, en los tres ambientes con un quantum radiómetro-fotómetro LAMBDA LI-170 usando un sensor fotométrico calibrado bien nivelado. Las medidas se promediaron para los diferentes ambientes y momentos de lectura.

Los cuajados se analizaron estadísticamente, después de su transformación angular por el procedimiento del Modelo General Linear SAS (SAS Institute, 2000). Las medias se compararon con el test de Duncan múltiple.

Resultados y discusión

Se observó un comportamiento diferente de los cuajados en relación al año, el ambiente y el tratamiento (tabla 1). El análisis de varianza de los cuajados mostró diferencias significativas para todas las variables, así como para la interacción entre ellas (tabla 2). Sin embargo, no se pudo establecer una línea regular de variación para el cuajado según cada variable.

En conjunto, el efecto del año fue significativo (tabla 3), aunque sólo al 1% (tabla 2). El cuajado medio del primer año (51,0%) fue mayor que el del segundo (39,5%), aunque

no para todos los tratamientos ni todos los ambientes. Ello puede ser debido tanto al efecto de la variación anual (Socías i Company et al., 2004) como a la mayor densidad floral observada en el segundo año. El efecto del ambiente fue más importante, con cuajados medios al aire libre (50,0%) y en la cabina (46,3%) significativamente mucho más altos que en las bolsas (19,4%), mostrando que en la mayoría de los casos los cuajados en las ramas embolsadas fueron menores que en los otros ambientes, aunque las diferencias entre el aire libre y la cabina dependieron del año y del tratamiento. El efecto del tratamiento fue también altamente significativo en el conjunto,

Tabla 1. Cuajados en el almendro 'Guara' después de los diferentes tratamientos de campo en dos años
Table 1. Fruit set of 'Guara' almond following different field treatments during two years

Año	Ambiente	Tratamiento	Nº inicial de flores	Flores finales	Frutos	Cuajado (% de flores finales)	
1	Aire libre	Testigo	859	859	541	62,98	
		Testigo-D	908	534	227	42,51	
		Cruzamiento	870	165	83	50,30	
	Cabina	Auto	889	128	56	43,75	
		Testigo	652	652	108	16,56	
		Testigo-D	662	232	38	16,38	
	Bolsa	Cruzamiento	680	276	215	77,90	
		Auto	747	323	254	78,64	
		Testigo	203	203	37	18,23	
	2	Aire libre	Testigo-D	204	61	11	18,03
			Cruzamiento	247	53	20	37,73
			Auto	387	66	18	27,27
Cabina		Testigo	3.791	3.791	1.312	34,61	
		Testigo-D	3.668	860	527	61,23	
		Cruzamiento	3.790	657	465	70,77	
Bolsa		Auto	3.790	720	236	32,78	
		Testigo	2.950	2.950	186	6,31	
		Testigo-D	2.095	545	188	34,50	
Bolsa		Cruzamiento	2.589	533	311	58,35	
		Auto	2.205	373	106	28,42	
		Testigo	611	611	26	4,26	
Bolsa	Testigo-D	283	90	10	11,11		
	Cruzamiento	500	76	13	17,11		
	Auto	418	65	14	21,54		

con un cuajado mayor para la polinización cruzada (61,2%) que para los otros tratamientos: autopolinización (41,8%), testigo-D (38,9%), y testigo (36,5%).

Como hubo interacciones entre las variables (tabla 2), significativas para el caso de año x ambiente, y altamente significativas para los otros casos, año x tratamiento, ambiente x tratamiento, así como para la triple interacción año x ambiente x tratamiento, se realizó también el análisis de varianza considerando sólo un grupo de resultados. Así, al considerar sólo los árboles al aire libre, el análisis de varianza (tabla 4) no mostró efectos del año, pero sí efectos significativos del tratamiento, con los cuajados después de la autopolinización (37%) significativamente menores que después de la polinización cruzada (61%), el testigo (52%), y el testigo-D (51%). A pesar de los niveles de significación indicados, la interacción año x tratamiento fue altamente significativa.

Considerando solamente los tratamientos en la cabina, el análisis de varianza (tabla 4) mostró efectos altamente significativos

para el año, el tratamiento y su interacción. Así, el cuajado medio, considerando todos los tratamientos, fue mayor en el primer año (59%) que en el segundo (33%). Igualmente, considerando los dos años, el cuajado después de la polinización cruzada (71%) fue mayor que después de la autopolinización (51%), y ambos fueron superiores a los cuajados de los tratamientos testigo-D (27%) y testigo (11%).

No se pudo realizar el análisis de varianza con los cuajados en las ramas embolsadas porque sólo había una rama por tratamiento. Sin embargo, el cuajado medio en el primer año (25%) fue superior al del segundo año (14%). En conjunto, los cuajados después de las polinizaciones artificiales fueron similares (24% para la autopolinización y 27% para la polinización cruzada) y superiores a los de los testigos, que también fueron similares entre sí (11% para el testigo y 15% para el testigo-D).

Si los dos años se consideran en su conjunto, el análisis de varianza (tabla 5) mostró efectos altamente significativos para el ambiente, el tratamiento y la interacción del

Tabla 2. Análisis de la varianza de los cuajados del almendro 'Guara' considerando todas las variables y su interacción

Table 2. Analysis of variance of fruit set of 'Guara' almond considering all the variables and their interaction

Fuente	GL	Tipo III SC	Cuadrado medio	Valor F	Probabilidad ^z
Año	1	0.18341495	0.18341495	6,06	0,0170 *
Ambiente	2	0.82463280	0.41231640	13,63	<,0001 ***
Tratamiento	3	0.65185079	0.21728360	7,18	<,0004 ***
Año * ambiente	2	0.28954803	0.14477401	4,78	0,0121 *
Año * tratamiento	3	0.71481702	0.23827234	7,87	<,0002 ***
Ambiente * tratamiento	6	1.00437013	0.16739502	5,53	<,0002 ***
Año * ambiente * tratamiento	6	0.48788189	0.08131365	2,69	0,0071 **
Error	55	1.66433907	0.03026071		

^zSignificación de la probabilidad a P ≤ 0,001 (***), P ≤ 0,01 (**), o P ≤ 0,05 (*).

ambiente y el tratamiento. Por otro lado, al considerar los dos años independientemente, los efectos del ambiente y del tratamiento fueron altamente significativos, como se había deducido al considerar el conjunto de los resultados, pero la interacción ambiente x tratamiento sólo fue altamente significativa el primer año, como lo había sido para

el conjunto de los datos. Así, el primer año, los cuajados al aire libre (51%) y en la cabina (59%) fueron similares y mayores que en las bolsas (25%), mientras que en el segundo año los datos de los tres ambientes fueron distintos. Sin embargo, no se pudieron hacer comparaciones consistentes entre los resultados de los distintos tratamientos.

Tabla 3. Cuajados medios del almendro 'Guara' considerando todas las variables
Table 3. Average sets of 'Guara' almond considering all the variables

Tipo de variable	cuajado (%)
Año	
1	51.0 a ²
2	39.5 b
Ambiente	
Aire libre	50.0 a
Cabina	46.3 a
Embolsado	19.4 b
Tratamiento	
Testigo	36.5 b
Testigo-D	38.9 b
Polinización cruzada	61.2 a
Autopolinización	41.8 b

²Separación media de cada tipo de variable por el test múltiple de Duncan ($P \leq 0,05$ para el año y $P \leq 0,01$ para las otras variables).

Tabla 4. Análisis de varianza de los cuajados del almendro 'Guara' teniendo en cuenta independientemente cada ambiente

Table 4. Analysis of variance of fruit sets of 'Guara' almond taking into account independently each environment

Variable	Fuente	GL	Tipo III SC	Cuadrado medio	Valor F	Probabilidad ²
Aire libre	Año	1	0.001	0.001	0.03	0.8574 ns
	Tratamiento	3	0.357	0.119	4.62	0.0088 **
	Año * tratamiento	3	0.632	0.211	8.17	0.0004 ***
	Error	31	0.799	0.0258		
Cabina	Año	1	0.233	0.233	11.12	0.0037 **
	Tratamiento	3	1.488	0.496	23.68	< .0001 ***
	Año * tratamiento	3	0.563	0.188	8.96	0.0008 ***
	Error	18	0.377	0.021		

²Significación de la probabilidad a $P \leq 0,001$ (***), $P \leq 0,01$ (**), o no significativo (ns)

Tabla 5. Análisis de la varianza de los cuajados del almendro 'Guara' considerando ambos años o cada año por separado

Table 5. Analysis of variance of fruit sets of 'Guara' almond taking into account both years or each year independently

Años	Fuente	GL	Tipo III SC	Cuadrado medio	Valor F	Probabilidad ²
Ambos	Ambiente	2	0.804	0.402	8.42	0.0006 ***
	Tratamiento	3	0.673	0.224	4.70	0.0051 **
	Ambiente * tratamiento	6	1.054	0.176	3.68	0.0035 **
	Error	61	2.911	0.048		
1	Ambiente	2	0.272	0.136	6.06	0.0071 **
	Tratamiento	3	0.458	0.153	6.81	0.0016 ***
	Ambiente * tratamiento	6	1.282	0.214	9.52	< .0001 ***
	Error	25	0.561	0.224		
2	Ambiente	2	0.679	0.339	13.24	0.0001 ***
	Tratamiento	3	0.431	0.144	5.60	0.0047 **
	Ambiente * tratamiento	6	0.210	0.035	1.36	0.2688 ns
	Error	24	0.6156	0.026		

²Significación de la probabilidad a $P \leq 0,001$ (***), $P \leq 0,01$ (**) o no significativo (ns)

La intensidad luminosa fue significativamente menor en la cabina y en las bolsas que al aire libre en los dos momentos de lectura (tabla 6), mostrando que la malla de plástico tiene un importante efecto reductor de la luz, mayor al mediodía que en la mañana. Aunque no hay diferencias significativas entre los dos ambientes protegidos, la intensidad luminosa fue menor en las bolsas que en la cabina.

A la vista de las grandes diferencias observadas entre los dos años, significativas para los ambientes y los tratamientos, no se puede atribuir a la misma razón una misma línea de actuación de los ambientes ni de los tratamientos. El efecto significativo del año muestra que los mismos tratamientos pueden actuar de manera diferente según condiciones sin especificar, probablemente relacionadas con la entidad biológica de los árboles, que no son objetos mecánicos que reaccionen siempre de la misma manera. Además, los árboles crecen en el campo, bajo muchas influencias ambientales que no

se pueden medir, como la temperatura, el estado hídrico o las condiciones nutricionales. Las diferencias de cuajados entre los dos años no pueden atribuirse a sus diferencias climáticas, ya que la evolución de las temperaturas fue similar en ambos años, sin heladas durante la época de floración o después de la misma que pudieran afectar negativamente a los cuajados y modificar el efecto de los tratamientos.

Por otro lado, es muy difícil establecer cuál es un buen nivel de cuajado, especialmente en una plantación comercial, a causa de las grandes variaciones en la densidad floral entre los cultivares (Socías i Company, 1988). Kester y Griggs (1959) señalaron cuajados medios en condiciones comerciales de 30,2 % para 'Nonpareil' y de 33,4 % para 'Texas', los dos cultivares más importantes de California. El cuajado del tratamiento testigo de 'Guara' fue de 62,98% el primer año y de 34,61% el segundo (tabla 1), mucho más alto el primer año y comparable el segundo con las medias de Califor-

nia, y cercanos al obtenido previamente para este cultivar de 55% (Socías i Company y Felipe, 1992). Estos cuajados se pueden considerar muy altos, especialmente si se tiene en cuenta la densidad floral de 'Guara' (0,93 yemas de flor/cm) en comparación con la de otros cultivares, en concreto con la de 'Nonpareil' (0,46 yemas de flor/cm, Socías i Company, 1988). A pesar de las diferencias observadas entre los dos años, la cosecha en ambos se consideró muy buena.

El tratamiento testigo-D se incluyó porque en las polinizaciones artificiales siempre hay una reducción en el número de flores, ya que sólo se emasculan las flores en estado D y se eliminan las flores abiertas y las yemas atrasadas. Aunque Kester y Griggs (1959) señalaron que cualquier reducción en el número de flores implica también una reducción en el número de frutos, no siempre tiene lugar esta disminución (Socías i Company y Felipe, 1987 y 1992), y los resultados obtenidos muestran que el sentido de la reducción fue opuesto entre los dos años. Por ello, las condiciones inespecíficas que anteriormente se han apuntado pueden condicionar que las flores que se mantienen puedan tener una mayor o menor capacidad de cuajado.

Los cuajados tras las polinizaciones artificiales son muy altos, mayores de la mayoría de los indicados para polinizaciones manuales en frutales (Layne, 1983), en las que se reseñó un máximo de 64% en melocotonero, una especie muy cercana al almendro. En un caso, el segundo año después de la polinización cruzada, el cuajado fue superior a este máximo, con un 71%, lo que confirma la capacidad de cuajado de 'Guara'. Sin embargo, los cuajados después de la polinización cruzada fueron superiores a los de la autopolinización, aunque sólo significativamente el segundo año (tabla 3), mientras que previamente se habían encontrado cuajados similares después de los dos tipos de polinización (Socías i Company y Felipe, 1992). La semejanza de estos cuajados con los de los testigos muestran que no se producen daños con la emasculación y la polinización manual.

Al considerar los resultados obtenidos en la cabina y en las ramas embolsadas se deben tener en cuenta dos factores importantes: la reducción de la intensidad de la luz en los ambientes protegidos y el comportamiento distinto de los tratamientos testigo. Al aire libre las ramas sometidas a los tratamientos testigo se dejaron para polinización libre, en unas condiciones óptimas por la presen-

Tabla 6. Intensidad luminosa media (Klux) medida en dos momentos del día en los tres ambientes en los que se estudió el cuajado del almendro 'Guara'
Table 3. Average light intensity (Klux) measured at two different day intervals in the three environments where 'Guara' almond sets were studied

Ambiente	Momento	
	Mañana	Mediodía
Aire libre	21 a ²	67 a
Cabina	11 b	23 b
Bolsa	8 b	17 b

²Separación media en cada columna por el test múltiple de Duncan a $P \leq 0.001$.

cia de insectos polinizadores y la presencia de muchos cultivares en floración en medio de una colección de germoplasma. Por otro lado, los tratamientos testigo en los ambientes protegidos se dejaron para su autopolinización por autogamia natural sin la presencia de ningún insecto polinizador ni de polen extraño.

En la cabina llama la atención la identidad de cuajados para los dos testigos y para las dos polinizaciones artificiales en el primer año. En el segundo año, sin embargo, el cuajado del testigo fue muy bajo (6,31%), sobrepasando justamente el nivel del 6%, considerado por Grasselly et al. (1981) como mínimo para la autocompatibilidad en ramas embolsadas; el cuajado del testigo-D fue muy alto (34,5%) para condiciones de autogamia. Para las polinizaciones artificiales, el cuajado después de la polinización cruzada fue el doble que después de la autopolinización.

Se observó un comportamiento similar para los resultados de las ramas embolsadas, con cuajados idénticos para los tratamientos testigo el primer año, pero muy superiores para el testigo-D que para el testigo en el segundo año. Para las polinizaciones artificiales, el cuajado fue superior para la polinización cruzada en el primer año pero en el segundo para la autopolinización.

Pudo observarse un efecto bolsa para las polinizaciones artificiales, pero no en los testigos, al contrario que Dicenta et al. (2001). Los cuajados en las ramas embolsadas y en la cabina son comparables para los testigos, como era de esperar en ambientes protegidos parecidos, con una reducción similar de la intensidad luminosa, aunque el primer año los cuajados fueron superiores en las ramas embolsadas y el segundo en la cabina. Sin embargo, se observaron unos cuajados especialmente bajos para las polinizaciones artificiales en las ramas embolsadas. Estas

disminuciones de cuajado pudieron deberse al manejo de las flores, ya que las ramas se embolsaron una vez las flores fueron emasculadas y polinizadas, aumentando las posibilidades de daños a los pistilos, lo que no ocurre con los testigos, que se embolsaron antes de la apertura de las flores y por lo tanto sin posibilidad de daño a los pistilos.

Anteriormente se había apuntado a un efecto cabina para explicar la disminución de cuajados en los tratamientos aplicados en el interior de la cabina (Socías i Company y Felipe, 1992), pero esta reducción sólo tuvo lugar el segundo año ya que el primer año los cuajados después de las polinizaciones artificiales fueron mayores en el interior de la cabina que al aire libre. El aislamiento de una rama o de un árbol para evitar una polinización no deseada crea un ambiente especial dentro del espacio protegido, especialmente cambios de temperatura (Larsen et al., 1960). Las temperaturas templadas son negativas para el cuajado (Layne, 1983), y ello es interesante al considerar que siempre que se cubre una rama o un árbol son de esperar aumentos de temperatura, especialmente durante los días soleados que pueden ser bastante frecuentes durante la época de floración del almendro. Aunque hubo ventilación a través de las mallas de plástico de las bolsas y de la cabina, su nivel depende de la intensidad del viento, por lo que se pueden crear diferentes ambientes en los distintos interiores, que por su temperatura pueden ser más o menos favorables para el cuajado.

Aunque los testigos en los ambientes protegidos reflejan el verdadero nivel de autogamia, las diferencias importantes que se observaron según el año pueden deberse a las diferentes condiciones ambientales. El sombreado, por la reducción de la intensidad luminosa, ha producido descensos de cuajado en manzano (Byers et al., 1990) y en cítricos (Iglesias et al., 2003), probablemente como consecuencia de la disminución en la disponibilidad de carbo-

hidratos, y ello también pudo tener lugar en este caso, aunque su efecto real no puede valorarse porque la reducción significativa de la intensidad luminosa (tabla 7) no es comparable con las diferencias de cuajado.

En conjunto, los cuajados después de polinización cruzada fueron mayores que después de autopolinización (tabla 3), cuestionando el verdadero nivel de autogamia de 'Guara'. Sin embargo, en algunos casos fueron semejantes (cabina año 1) o mayores después de autopolinización (bolsa año 2), como muestra de la irregularidad de los resultados. A pesar de estas diferencias, los cuajados después de las autopolinizaciones dieron niveles normales de cosecha.

Para el conjunto de la cabina y de las ramas embolsadas, el cuajado de los testigos en los dos años, que refleja su nivel de autogamia, fue de 11,3%, muy cercano a los valores de 11,1 y 11,8% obtenidos anteriormente (Socias i Company y Felipe, 1992), y solamente ligeramente por debajo del 14,1% conseguido por la polinización libre de 'Aylés', otro cultivar que también tiene una elevada densidad floral (1,16 yemas/cm), y que se consideró suficiente para una cosecha comercial (Socias i Company y Felipe, 1987). Teniendo en cuenta la posible existencia de un efecto cabina reductor del cuajado, el verdadero nivel de autogamia al aire libre sería más elevado y daría claramente los niveles de producción comerciales que se observan en muchas plantaciones monovarietales de 'Guara'.

Las diferencias observadas en este estudio, así como en las plantaciones comerciales, apuntan a condiciones ambientales inespecíficas que afectan al cuajado de entidades biológicas, como son los árboles. A pesar de estas variaciones, 'Guara' mostró elevados niveles de autocompatibilidad y autogamia, pero estos resultados refuerzan la necesidad de la evaluación de la autogamia durante más de un año.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del proyecto CICYT AGL2001-1054-C03-02. JMA agradece una beca del INIA. Se agradece la ayuda estadística de la Dra. D. Quílez y la asistencia de A. Escota, J. Búbal, O. Frontera y M.C. Altarriba.

Bibliografía

- Bernad D, Socias i Company R. 1995. Characterization of some self-compatible almonds. II. Flower phenology and morphology. HortScience 30: 321-324.
- Bošković R, Tobutt KR, Duval H, Batlle I, Dicenta F, Vargas FJ. 1999. A stilar ribonuclease assay to detect self-compatible seedlings in almond progenies. Theor. Appl. Genet. 99: 800-810.
- Byers RE, Barden JA, Polomski RF, Young RW, Carbaugh DH. 1990. Apple thinning by photosynthetic inhibition. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 14-19.
- Channuntapipat C., Sedgley M., Collins G. 2001. Sequences of the cDNAs and genomic DNAs encoding the *S1*, *S7*, *S8* and *Sf* alleles from almond, *Prunus dulcis*. Theor. Appl. Genet. 103: 1115-1122.
- Dicenta F, Ortega E, Canovas JA, Egea J, 2001. Self-pollination versus cross-pollination of six self-compatible almond cultivars: pollen tube growth and fruit set. Cah. Options Méditerran. 56: 369-372.
- Felipe AJ, 1977. Almendro. Estados fenológicos. Inf. Téc. Econ. Agrar. 27: 8-9.
- Felipe AJ, Socias i Company R. 1987. 'Aylés', 'Guara', and 'Moncayo' almonds. HortScience 22: 961-962.
- Godini A, de Palma L, Palasciano M. 1992. Role of self-pollination and reciprocal stigma/anthers position on fruit set of eight self-compatible almonds. HortScience 27: 887-889.
- Godini A, de Palma L, Palasciano M. 1994. Self-fertile almonds and fruit set by optimized self- and cross-pollination. Acta Hort. 373: 157-160.
- Grasselly C, Olivier G. 1984. Avancement du programme de création de variétés autocompatibles. Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ 84/II: 129-131.
- Grasselly C, Crossa-Raynaud P, Olivier G, Gall H. 1981. Transmission du caractère d'autocompatibilité chez l'amandier (*Amygdalus communis*). Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ 81/I: 71-75.
- Iglesias DJ, Tadeo FR, Primo-Millo E, Talon M. 2003. Fruit set dependence on carbohydrate availability in citrus trees. Tree Physiol. 23: 199-204.
- Kester DE, Griggs WH. 1959. Fruit setting in the almond: the effect of cross-pollinating various percentages of flowers. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74: 206-213.
- Larsen FE, Johnston S, Moulton JE. 1960. Fruit set of emasculated and hand-pollinated peach and apricot blossoms in different micro-environments. Quart. Bull. Michigan Sta. Univ. 43: 43-57.
- Layne REC, 1983. Hybridization, pp. 48-65. En: Methods in fruit breeding. J.N. Moore y J. Janick (Eds.). Purdue Univ. Press, West Lafayette, Indiana.
- Ma RC, Oliveira MM. 2001. The RNase PD2 gene of almond (*Prunus dulcis*) represents an evolutionary distinct class of S-like RNase genes. Mol. Gen. Genet. 263: 925-933.
- MAPA. 2002. Página web del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: www.mapya.es/agric/pags/semillas/vivero/almendro.pdf.
- Oukabli A, Lansari A, Wallali DL, Abousalim A, Egea J, Michaux-Ferriere N. 2000. Self and cross pollination effects on pollen tube growth and fertilization in self-compatible almond *Prunus dulcis* 'Tuono'. J. Hort. Sci. Biotechnol. 75: 739-744.
- SAS Institute. 2000. SAS/STAT user's guide. SAS Institute, Caey, NC.
- Socias i Company R. 1977. La autocompatibilidad en el almendro. Inf. Téc. Econ. Agrar. 26: 41-47.
- Socias i Company R. 1988. La densité florale comme critère variétal chez l'amandier. Rap. EUR 11557: 119-122.
- Socias i Company R. 1990. Breeding self-compatible almonds. Plant Breed. Rev. 8: 313-338.
- Socias i Company R., Felipe AJ. 1987. Pollen tube growth and fruit set in a self-compatible almond selection. HortScience 22: 113-116.
- Socias i Company R, Felipe AJ. 1992. Self-compatibility and autogamy in 'Guara' almond. J. Hort. Sci. 67: 313-317.
- Socias i Company R, Kester DE, Bradley MV. 1976. Effects of temperature and genotype on pollen tube growth of some self-incompatible and self-compatible almond cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 490-493.
- Socias i Company R, Felipe AJ, Gómez Aparisi J, García JE, Dicenta F. 1998. The ideotype concept in almond. Acta Hort. 470: 51-56.
- Socias 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 (5): 754-758.
- Torre Grossa JP, Vaissière B.E., Rodet G., Botella L., Cousin M., 1994. Besoins en pollinisation de la variété d'amandier auto-compatible "Lauranne". Acta Hort. 373: 145-152.
- Vargas FJ, Clavé J, Romero M, Batlle I, Rovira M. 1998. Autogamy studies on almond progenies. Acta Hort. 470: 74-81.
- Watkins R. 1979. Cherry, plum, peach, apricot and almond. *Prunus* spp., pp. 242-247. En: Evolution of crop plants. N.W. Simmonds (Ed.). Longman, London, UK.
- Weinbaum SA. 1985. Role of natural self-pollination in self-fruitfulness in almond. Scientia Hort. 27: 295-302.

(Aceptado para publicación el 21 de septiembre de 2005).