

O. Kodad, A. Mamouni, M. Lahlo y R. Socias i Company

**IMPLICACIÓN COMERCIAL E INDUSTRIAL DE LA VARIABILIDAD
DEL CONTENIDO EN ACEITE Y PROTEÍNA Y DE LOS CARACTERES FÍSICOS
DEL FRUTO Y DE LA PEPITA DEL ALMENDRO EN LAS CONDICIONES
CLIMÁTICAS MEDITERRÁNEAS**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **107** N.º 4 (300-314), 2011

Implicación comercial e industrial de la variabilidad del contenido en aceite y proteína y de los caracteres físicos del fruto y de la pepita del almendro en las condiciones climáticas mediterráneas

O. Kodad^{*,**}, A. Mamouni^{***}, M. Lahlo^{***} y R. Socias i Company^{*1}

¹ Autor para correspondencia. E-mail: rsocias@aragon.es

* Unidad de Fruticultura, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Av. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España

** Departamento de Fruticultura, Escuela Nacional de Agricultura, Meknès, Marruecos

*** Unité de Recherche, Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques, INRA, Meknès, Marruecos

Resumen

Se determinaron los caracteres físicos y la composición química de los frutos de 11 cultivares de almendro cultivados en dos zonas distintas, Zaragoza (España) y Meknès (Marruecos). Independientemente de la variabilidad entre cultivares para todos los parámetros medidos, el efecto del año fue significativo para todos los parámetros físicos, excepto para el espesor de la pepita. Igualmente fue significativo el efecto de la localidad para todos los parámetros físicos, excepto para la longitud y el índice de esfericidad del fruto, la longitud y la anchura de la pepita, y el rendimiento en pepita. La calidad física de las pepitas producidas en Zaragoza fue mayor que las producidas en Meknès, probablemente por el diferente sistema de cultivo y las condiciones ambientales que fueron más extremas en Meknès. Estos resultados muestran que las condiciones de cultivo adecuadas favorecen el aumento de los caracteres conducentes a una mayor calidad física del fruto y de la pepita. En cuanto al contenido en aceite y en proteína, se encontraron diferencias significativas entre los genotipos y las localidades. Las condiciones ambientales y de cultivo de Zaragoza favorecieron la acumulación de aceite en la pepita, mientras que las de Meknès favorecieron la acumulación de proteína. Ello apunta a que la utilización industrial de los distintos cultivares estudiados no sólo depende del propio cultivar, sino también de las condiciones ambientales y de cultivo, lo que debe tenerse muy en cuenta para la valorización de la producción en las distintas zonas de cultivo del almendro.

Palabras clave: Almendro, fruto, parámetros físicos, composición, calidad, variabilidad, clima.

Summary

Commercial and industrial implication of the variability of oil and protein content and of the nut and kernel physical traits of almond in Mediterranean climates

The fruit physical traits and the chemical composition were determined for 11 almond cultivars grown in two different regions: Zaragoza (Spain) and Meknès (Morocco). Independently of the variability among cultivars for all traits measured, the year effect was significant for all physical traits except for kernel thickness. The location effect was significant for all physical traits except for fruit length and sphericity, kernel length and width, and kernel percentage. The physical quality of the kernels produced in Zaragoza was higher than that of the kernels produced in Meknès, probably because of the different growing system and the environmental conditions, more extreme in Meknès. These results show that adequate growing conditions favour the increase of traits leading to increased physical quality of nuts and kernels. The

cultivar and the location effects were significant for the contents of oil and protein. The environmental and growing conditions of Zaragoza led to a higher oil accumulation, whereas those of Meknès to a higher protein accumulation. These results indicate that the industrial utilization of the different almond cultivars does not only depend on the cultivar, but also on the environmental and growing conditions, a fact to be considered when marketing the production of the different growing regions.

Key words: Almond, fruit, physical parameters, composition, quality, variability, climate.

Introducción

En el almendro (*Prunus amygdalus* Batsch), las características del fruto y de la pepita siguen siendo criterios determinantes en el momento de la elección de un cultivar para su plantación e igualmente discriminantes en un programa de mejora genética. Los cultivares de almendro pueden caracterizarse y evaluarse por su calidad comercial, industrial, sensorial y nutricional. La calidad comercial se refiere a todos los caracteres relacionados con el aspecto general del fruto, incluyendo tamaño, forma, textura, peso y color de la pepita, así como la ausencia de pepitas dobles. La calidad industrial se refiere a la compatibilidad del fruto de un cultivar determinado con los distintos manejos post-cosecha y a su aptitud para la fabricación de diferentes productos (Socias i Company *et al.*, 2008).

La dureza de la cáscara es uno de los caracteres más importantes del fruto, por su papel en la protección de la pepita y por el tipo de maquinaria utilizada en el descascarado. Este carácter parece estar bajo control poligénico (Kester *et al.* 1977), aunque con una gran influencia ambiental (Kodad *et al.*, 2010b). El tamaño de la pepita es igualmente importante, ya que las pepitas de gran tamaño tienen más valor comercial (Socias i Company *et al.*, 2008). Este carácter, altamente correlacionado con el peso de la pepita, es variable de un año a otro (Godini, 2002; Grasselly, 1972). La forma de la pepita es una característica varietal (Gülcan, 1985) y está correlacionada con la forma del fruto. La forma se define por

sus dimensiones, longitud, anchura y espesor, se transmite a la descendencia (Grasselly, 1972) y parece estar bajo control poligénico (Arteaga y Socias i Company, 2002; Kester *et al.*, 1977). La longitud y en un grado menor la anchura de la pepita vienen predefinidos por el tamaño de la cavidad del fruto durante las primeras fases de su desarrollo, mientras que el espesor depende de la acumulación de nutrientes durante la fase final del desarrollo del fruto, fase muy vulnerable frente a distintos estreses ambientales (sequía, altas temperaturas, etc...) que puedan tener lugar durante este período del crecimiento del fruto (Kester y Gradziel, 1996). Las dimensiones de la pepita definen algunos de sus usos comerciales, ya que las pepitas alargadas suelen elegirse para la producción de filetes uniformes de almendra (Schirra, 1997), mientras que las pepitas redondas y de tamaño medio son más adecuadas para la fabricación de peladillas y de bombones de chocolate.

La composición química de la pepita es un aspecto de gran interés en la determinación de la calidad nutricional y el uso industrial que se le puede dar a un cultivar, teniendo en cuenta que el uso final de la pepita depende de los valores medios de cada componente químico, como el aceite, la proteína y los azúcares (Berger, 1969). Los contenidos en aceite y en proteína son muy importantes para la industria de la repostería, ya que un alto contenido en aceite implica una absorción baja del agua por la pasta de la almendra (Alessandroni, 1980), manteniendo así la ca-

lidad de la misma. Un contenido bajo en aceite de la pepita se prefiere para la producción de harina y de leche de almendra y para otros productos debido a su alto contenido en proteína (Longhi, 1952). Tanto el contenido en aceite como en proteína son caracteres que dependen del genotipo y de las condiciones ambientales (Abdallah *et al.*, 1998; Kodad, 2006; Kodad *et al.*, 2010a).

El notable efecto de las condiciones climáticas y ambientales durante el desarrollo del fruto sobre los caracteres físicos del fruto y de la pepita y sobre su composición puede afectar la calidad nutricional, comercial e industrial de un cultivar determinado. La evaluación de la estabilidad de estos caracteres durante varios años y en ambientes distintos permitiría aconsejar los cultivares más estables a los agricultores, sobre todo en zonas áridas, con una gran variabilidad en su estado hídrico. Por ello, el objetivo de este trabajo ha sido la evaluación de los caracteres físicos del fruto y de los contenidos en aceite y en proteína para un grupo de cultivares de origen diverso cultivados en dos condiciones mediterráneas distintas con el fin de determinar la estabilidad de la calidad de estos cultivares y su posterior implicación comercial y industrial.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se estudiaron los frutos de 11 cultivares, cuyas características pomológicas de encuentran detalladas en Felipe (2000). La producción analizada procede de dos zonas de cultivo diferentes, el banco de Germoplasma del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón en Zaragoza (CITA) y la estación experimental del Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA) en la región de Meknès, situada en el centro de Maruecos. La parcela experimental del CITA está situada a

unas coordenadas de 41°38' N y 0°53' W, a 220 m sobre el nivel del mar, en un suelo de tipo aluvial, con textura franca en superficie a franco-limosa en profundidad. En esta colección los árboles reciben riego y están plantados a un marco de de 3 × 5 m. La parcela experimental del INRA está situada a una coordenadas de 33°55' N y 5°13' W, a 500 m sobre el nivel del mar, con el mismo marco de plantación de 5 × 3 m, pero sin aporte de agua, en un suelo profundo de tipo pluvial y de textura franca. En ambas estaciones la poda se practica anualmente y es de tipo largo. Los árboles están formados en vaso abierto, con tres árboles por cultivar.

Caracteres físicos de la pepita

El presente estudio se llevó a cabo durante dos años consecutivos, 2008 y 2009. Para determinar las características físicas del fruto se cogieron 25 frutos maduros al azar de los tres árboles de cada cultivar. Se determinó el peso del fruto y de la pepita usando una balanza electrónica de precisión. Se midieron las dimensiones del fruto y de la pepita (longitud: L, anchura: A; espesor: E) mediante un pie de rey digital con una precisión de 0,01 mm. A partir de estas variables se calculó el diámetro geométrico (Dg) y el índice de esfericidad (\emptyset) del fruto y de la pepita utilizando las siguientes ecuaciones (Aydin, 2003): $Dg = (LAE)^{1/3}$ y $\emptyset = Dg/L$ (Tabla 1).

Análisis químicos de la pepita

Los análisis químicos se llevaron a cabo en 2009. Se extrajo el aceite de las pepitas, anteriormente repeladas y molidas, con éter de petróleo como solvente utilizando el aparato de extracción Soxtec Avanti 2055 (Selecta, Barcelona, España), durante 2 horas a una temperatura de 135°C (Kodad y Socias i Company, 2008). El contenido total de aceite se determinó por duplicado. Los resultados se expre-

Tabla 1. Características estudiadas en el fruto y la pepita de los cultivares de almendro y su abreviatura

Table 1. Traits studied in the fruit and the kernel of the almond cultivars and their abbreviation

Carácter	Abreviatura
Peso del fruto (g)	Pf
Longitud del fruto (mm)	<i>Lf</i>
Anchura del fruto (mm)	<i>LrF</i>
Espesor del fruto (mm)	<i>EPF</i>
Diámetro geométrico del fruto	<i>Dgf</i>
Índice de esfericidad del fruto	$\emptyset f$
Peso de la cáscara (g)	<i>PQ</i>
Peso de la pepita (g)	<i>Pn</i>
Longitud de la pepita (mm)	<i>LP</i>
Anchura de la pepita (mm)	<i>LrP</i>
Espesor de la pepita (mm)	<i>ESP</i>
Diámetro geométrico de la pepita	<i>Dgp</i>
Índice de esfericidad de la pepita	$\emptyset p$
Rendimiento en cáscara (%)	<i>Rdtc</i>

saron en porcentaje del peso de aceite en relación al de la muestra total. El contenido en proteína total se determinó por el método Dumas, que consiste en la determinación de la tasa del nitrógeno total. Multiplicando esta tasa por un factor específico del almendro (6.25) se obtuvo el porcentaje de proteína total. Los análisis se realizaron por duplicado y los resultados se expresan como el porcentaje de proteína sobre el peso total (Kodad, 2006).

Resultados

Variación de los caracteres físicos del fruto y de la pepita

Como era de esperar existen diferencias significativas entre los cultivares estudiados en cuanto a todos los caracteres físicos del fruto

(Tabla 2) y de la pepita (Tabla 3). Los rangos de variación fueron para el peso del fruto de 2,2 g en 'Vivot' a 5,7 g en 'Ferraduel'; el peso de la cáscara de 1,1 g en 'Retsou' a 4,38 g en 'Ferraduel'; la longitud del fruto de 22,3 mm en 'Colorada' a 26,2 mm en 'Fournat de Brézenaud'; el espesor del fruto de 12,7 mm en 'Retsou' a 18,2 en 'Desmayo Rojo' (Tabla 4). Para la pepita fueron: el peso de 1,03 g en 'Vivot' a 1,6 g en 'Fournat de Brézenaud'; la longitud de 21,7 mm en 'Vivot' a 28,7 mm en 'Fournat de Brézenaud'; el espesor de 3,1 mm en 'Ferraduel' a 8,5 mm en 'Desmayo Rojo' (Tabla 5).

El efecto del año climático, considerando ambas localidades, resultó significativo para todos los caracteres considerados, con la excepción de la anchura de la pepita (Tablas 2 y 3). En cuanto al peso del fruto, el valor medio registrado en el año 2008 (4,11 g) fue inferior que en el año 2009 (4,39 g). Sin embargo, algunos cultivares ('Del Cid', 'Vivot', 'Ferraduel', 'Fournat de Brézenaud', 'Picantilli', y 'Retsou') mostraron valores estables del peso del fruto entre ambos años del estudio y en ambas estaciones experimentales (Tablas 4 y 5). Para el peso de la cáscara, los valores medios del año 2008 (2,89 g) fueron más bajos que los del 2009 (3,12 g) en ambas estaciones (Tabla 6). Los cultivares que mostraron valores similares entre ambos años y en ambas estaciones son: 'Del Cid', 'Vivot', 'Fournat de Brézenaud' y 'Retsou' (Tabla 4). En cuanto a las dimensiones del fruto, los valores determinados en 2008 fueron más bajos que en 2009 (Tabla 6). La longitud y el espesor del fruto fueron los caracteres más variables entre ambos años. 'Del Cid', 'Fournat de Brézenaud', 'Picantilli', 'Retsou' y 'Vivot' mostraron valores similares del índice de esfericidad del fruto y de la pepita (Tabla 4). Sin embargo, los demás cultivares mostraron diferencias significativas, pero no drásticas, entre ambos años en cuanto a estos caracteres determinantes de la forma del fruto. Los análisis

Tabla 2. Análisis de varianza de los caracteres físicos del fruto de los cultivares estudiados
 Table 2. Analysis of variance of the fruit physical traits of the cultivars studied

Fuente de variación	gl	PF ^z	PQ	Lf	LrF	EPF	Dgf	Øf
Cultivar (Cul)	10	63,9***	60,9***	480,3***	388,8***	121,9***	203,9***	0,13***
Año	1	122,5***	78,8***	492,6***	504,5***	190,1***	376,5***	0,01***
Cultivar × Año	10	13,4***	9,1***	98,2***	32,8***	27,1***	32,8***	0,007**
Estación (Est)	1	11,6***	7,4***	33,4**	0,5ns	24,5***	14,6**	0,004ns
Cul × Est	10	2,6***	1,2***	28,4***	17,6***	2,8*	8,1***	0,002**
Año × Est	1	3,5**	2,09*	42,8**	8,7ns	2,4ns	10,5**	0,0003ns
Cul × Año × Est	10	2,9***	1,9***	25,6***	26,5***	8,7***	12,5***	0,005***
Error	529	0,38	0,37	4,7	3,58	1,46	1,43	1,92

ns, *, **, ***: No significativo o significativo a P = 0,05, 0,01 o 0,001, respectivamente.

^z Abreviaturas correspondientes en la Tabla 1.

Tabla 3. Análisis de varianza de los caracteres físicos de la pepita de los cultivares estudiados
 Table 3. Analysis of variance of the kernel physical traits of the cultivars studied

Fuente de variación	G.L	Pn ^z	LP	LrP	EPN	Dgp	ØP	Rdte
Cultivar (Cul)	10	1,2***	236,1***	105,9***	11,9***	15,7***	0,08***	5896,1***
Año	1	4,9***	192,1***	114,4***	0,4ns	33,1***	0,007**	1462,7***
Cultivar × Año	10	0,49***	76,9***	12,8***	3,3***	7,9***	0,01***	436,8***
Estación (Est)	1	0,32**	6,4ns	0,0025ns	14,3***	2,9*	0,01***	0,02ns
Cul × Est	10	0,23**	22,3***	2,5**	1,9***	3,1***	0,003**	75,7ns
Año × Est	1	0,18*	15,2*	3,09*	6,8***	7,02***	0,001ns	66,5ns
Cul × Año × Est	10	0,14**	11,9***	5,9***	2,3***	2,9***	0,005***	104,5*
Error	529	0,02	2,43	0,73	0,35	0,44	0,0004	46,8

ns, *, **, ***: No significativo o significativo a P = 0,05, 0,01 o 0,001, respectivamente.

^z Abreviaturas correspondientes en la Tabla 1.

estadísticos mostraron diferencias significativas entre los años para la dureza de la cáscara (Tabla 3), que es uno de los caracteres importantes para la industria, ya que de ella depende la presión a aplicar para descascarar el fruto.

El peso de la pepita mostró diferencias significativas entre los años del estudio (Tabla 3). Sin embargo, 'Colorada', 'Desmayo Rojo', 'Del Cid', 'Retsou' y 'Vivot' mostraron valores

estables entre ambos años y en ambas estaciones (Tabla 5). Las dimensiones de la pepita mostraron a su vez diferencias significativas entre los años y en ambas localidades (Tabla 3). No obstante, la magnitud de esta variación no es elevada considerando la posibilidad de perjudicar la calidad de las almendras.

En cuanto al efecto de la zona de cultivo, los análisis revelaron diferencias significativas

Tabla 4. Caracteres físicos del fruto de los cultivares estudiados en cada año y localidad
 Table 4. *Fruit physical traits in the studied cultivars for each year and location*

Cultivar	Localidad	Pf		PQ		Lf		LrF		EPF		Dgf		Øf	
		2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Atocha	España	4,90	5,58	3,70	4,12	35,13	36,99	23,77	23,84	16,38	16,64	23,83	24,41	0,68	0,66
	Marruecos	4,37	4,87	3,39	3,68	33,70	35,77	24,52	22,14	15,99	16,97	23,63	23,76	0,70	0,66
Castilla	España	5,14	6,14	3,95	4,73	31,07	32,73	24,49	26,18	15,67	16,61	22,80	24,18	0,74	0,74
	Marruecos	5,00	4,06	3,82	3,09	30,90	29,55	24,39	21,65	16,89	15,74	23,35	21,60	0,76	0,73
Colorada	Marruecos	3,52	4,13	2,34	3,06	29,95	30,93	21,64	20,61	14,87	15,67	21,25	21,51	0,71	0,70
	España	3,97	4,40	2,71	3,22	31,62	30,90	22,96	24,01	14,21	15,37	21,76	22,50	0,69	0,73
D. Largueta	España	4,66	5,70	3,44	4,16	35,91	41,81	23,89	26,93	14,68	14,83	23,25	25,55	0,65	0,61
	Marruecos	3,21	4,27	2,24	3,11	33,07	34,66	20,15	22,25	12,55	14,31	20,29	22,25	0,61	0,64
D. Rojo	Marruecos	4,56	5,65	3,43	4,40	30,27	32,52	22,86	27,22	17,16	17,57	22,75	24,95	0,75	0,77
	España	5,77	6,18	4,45	4,89	33,84	33,04	28,27	27,14	19,13	19,07	26,34	25,75	0,78	0,78
DelCid	España	6,15	5,67	4,78	4,17	36,69	34,61	25,18	23,23	18,18	17,70	25,61	24,21	0,70	0,70
	Marruecos	2,25	2,31	1,35	1,40	27,12	26,64	19,60	19,07	13,94	13,86	19,49	19,13	0,72	0,72
Vivot	España	3,61	3,64	2,69	2,58	30,63	32,48	20,56	19,84	14,76	14,46	21,02	21,04	0,69	0,65
	Marruecos	3,32	3,34	2,28	2,28	30,83	30,07	19,74	19,97	14,15	15,21	20,48	20,64	0,66	0,69
Ferraduel	España	5,12	6,87	3,91	5,26	36,58	40,06	25,51	26,94	16,25	18,22	24,74	26,97	0,68	0,68
	Marruecos	5,58	5,25	4,37	4,00	38,52	36,80	24,89	24,91	16,66	16,34	25,18	24,64	0,66	0,67
Fournat de B.	España	4,64	4,53	2,85	2,96	39,16	39,48	27,35	25,35	17,77	16,83	26,68	25,62	0,63	0,65
	Marruecos	4,35	4,36	2,87	2,82	38,93	39,72	25,61	26,32	15,87	16,61	25,09	25,89	0,64	0,65
Picantilli	España	2,86	3,18	1,51	1,81	35,10	35,69	23,98	25,22	15,33	17,35	23,41	24,98	0,67	0,70
	Marruecos	2,70	2,11	1,23	0,83	36,84	34,05	23,76	22,35	13,18	12,88	22,58	21,39	0,61	0,63
Retsou	España	2,30	2,39	1,17	1,24	32,93	31,87	17,03	17,56	12,81	13,98	19,27	19,83	0,58	0,62
	Marruecos	2,10	2,02	1,06	0,95	33,83	32,54	17,76	16,40	12,56	11,78	19,58	18,45	0,58	0,57
Media		4,09	4,39	2,89	3,13	33,76	34,22	23,09	23,14	15,41	15,82	22,84	23,15	0,68	0,68

Tabla 5: Caracteres físicos de la pepita de los cultivares estudiados en cada año y localidad
 Table 5. Kernel physical traits in the studied cultivars for each year and location

Cultivar	Localidad	Pn		LP		LrP		ESP		DgP		ØP		Rdtc	
		2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Atocha	España	1,2	1,46	26,01	28,75	13,76	14,59	7,23	7,82	13,71	14,66	0,53	0,51	25,12	26,67
	Marruecos	0,97	1,19	22,92	25,87	13,64	13,75	7,00	6,96	12,97	13,39	0,57	0,52	22,74	24,63
Castilla	España	1,19	1,41	22,92	23,05	13,99	15,45	8,22	8,72	13,80	14,48	0,60	0,63	23,55	23,16
	Marruecos	1,18	0,97	22,20	21,67	14,15	14,08	8,92	7,70	12,20	12,73	0,64	0,59	23,73	24,38
Colorada	España	1,19	1,06	22,88	22,97	13,07	13,95	8,48	7,14	13,81	12,81	0,60	0,56	33,61	26,31
	Marruecos	1,26	1,18	24,90	23,50	14,09	14,59	7,87	7,23	13,24	13,62	0,57	0,58	32,18	27,76
D. Largueta	España	1,22	1,54	25,79	28,87	13,15	14,97	7,07	7,27	14,08	14,46	0,55	0,50	30,90	28,00
	Marruecos	0,92	1,16	24,98	25,00	11,50	12,98	7,97	7,75	12,84	12,59	0,51	0,54	26,64	27,48
D. Rojo	España	1,32	1,30	23,12	22,22	15,15	14,92	9,01	8,52	14,65	14,12	0,63	0,64	23,06	21,36
	Marruecos	1,18	1,25	21,72	23,41	13,08	15,19	8,73	7,73	13,66	13,91	0,63	0,60	24,79	22,72
DelCid	España	1,66	1,50	28,58	26,96	15,15	14,93	7,86	7,58	15,31	14,49	0,54	0,54	25,85	26,84
	Marruecos	0,90	0,91	20,83	20,73	12,08	12,92	8,56	7,76	12,91	12,54	0,62	0,61	40,11	39,70
Ferraduel	España	1,21	1,61	24,27	27,11	15,05	16,55	6,51	7,03	13,50	14,65	0,56	0,54	23,73	24,02
	Marruecos	1,21	1,25	25,49	25,06	15,08	15,74	7,81	6,99	13,51	13,83	0,57	0,55	21,90	24,41
Fournat de B.	España	1,78	1,57	28,75	29,18	17,02	16,13	7,84	6,84	15,62	14,76	0,54	0,51	38,49	35,09
	Marruecos	1,49	1,54	28,67	28,31	16,15	16,45	7,25	6,92	15,12	14,76	0,53	0,52	34,74	36,35
Picantilli	España	1,35	1,37	25,36	24,28	15,05	15,73	7,27	7,38	14,03	14,09	0,55	0,58	48,22	43,34
	Marruecos	1,47	1,28	28,85	26,25	14,03	14,51	7,44	6,80	13,76	13,70	0,51	0,52	55,76	65,97
Ret sou	España	1,14	1,15	27,05	27,07	11,22	11,36	7,73	7,90	13,28	13,43	0,49	0,50	50,81	49,06
	Marruecos	1,04	1,07	28,04	26,44	11,25	11,32	7,87	7,92	12,53	13,32	0,48	0,51	50,42	54,08
Vivot	España	0,96	1,07	21,21	22,97	12,73	13,61	6,88	7,00	12,28	12,65	0,58	0,55	25,50	30,12
	Marruecos	1,04	1,05	22,32	21,92	12,08	13,62	8,24	7,83	12,34	13,07	0,60	0,60	32,05	32,07
Media		1,22	1,27	24,86	25,07	13,75	14,42	7,81	7,49	13,6	13,73	0,56	0,55	32,45	32,43

Tabla 6. Valores medios de los caracteres físicos estudiados en cada localidad y en cada año del estudio
 Table 6. Mean values for the physical traits studied in each location and year

Variable	año	España	Marruecos	Variable	año	España	Marruecos
Caracteres del fruto				Caracteres de la pepita			
<i>PF</i> ^z	2008	4,46a	3,72b	<i>Pn</i>	2008	1,29a	1,15b
	2009	4,94a	3,85b		2009	1,37a	1,17b
<i>PQ</i>	2008	3,20a	2,58b	<i>LN</i>	2008	25,08a	24,63a
	2009	3,56a	2,69b		2009	25,77a	24,38b
<i>Lf</i>	2008	34,42a	33,09a	<i>LrP</i>	2008	14,12a	13,38b
	2009	35,42a	33,02b		2009	14,75a	14,1a
<i>LrF</i>	2008	23,91a	22,27a	<i>EPN</i>	2008	7,64a	7,97a
	2009	24,21a	22,08b		2009	7,56a	7,42a
<i>EPF</i>	2008	15,92a	14,89b	<i>Dgp</i>	2008	14,01a	13,19b
	2009	16,46a	15,18b		2009	14,05a	13,41a
<i>DgF</i>	2008	23,52a	22,15a	$\emptyset p$	2008	0,56a	0,57a
	2009	24,09a	22,2b		2009	0,55a	0,56a
$\emptyset f$	2008	0,68a	0,67a	<i>Rdtc</i>	2008	31,71a	33,19a
	2009	0,68a	0,68a		2009	30,36a	34,5b

Valores con letras distintas son significativamente diferentes entre las localidades por el test LSD a $P = 0,05$.

^z Abreviaturas correspondientes en la Tabla 1.

para todos los caracteres considerados, con la excepción de la longitud y la anchura de la pepita, la anchura y el índice de esfericidad del fruto y el rendimiento en pepita (Tablas 2 y 3). Los valores medios fueron más altos en las muestras procedentes del CITA de Aragón (Tablas 4 y 5). El rendimiento en pepita fue mayor en las muestras del INRA de Meknès (Tabla 5), indicando que la cáscara es más blanda en las condiciones de Meknès que en las de Zaragoza. La magnitud de las diferencias entre ambas estaciones experimentales, en ambos años, fueron muy marcadas en el caso de 'Del Cid' y 'Picantilli'. 'Castilla', 'Colorada', 'Desmayo Largueta' y 'Ferraduel' mostraron valores similares entre ambas localidades y los dos años del estudio.

El peso de la pepita (Tabla 6) fue más elevado en las muestras de Zaragoza (1,33 g) que en

las de Meknès (1,15g). El efecto significativo de la interacción Cultivar \times Zona de cultivo en estos caracteres, indica que el comportamiento de cada cultivar depende de las condiciones ambientales de la zona de cultivo (Tabla 3). 'Colorada' y 'Desmayo Largueta' mostraron valores ligeramente elevados para las muestras de Meknès (Tabla 4). La magnitud de las diferencias fue mayor entre las dos localidades, incluyendo ambos años, para 'Atocha', 'Desmayo Largueta' y 'Del Cid'. Sin embargo, 'Castilla' y 'Ferraduel' mostraron diferencias elevadas entre ambas localidades sólo en 2009.

En cuanto a la longitud y la anchura de la pepita, los valores fueron similares entre ambas localidades (Tabla 6), aunque 'Atocha' y 'Del Cid' sí mostraron diferencias significativas entre localidades, siendo mayores los valores

registrados en las condiciones de Zaragoza (Tabla 5). Aunque el espesor de la pepita mostró diferencias significativas entre ambas localidades (Tabla 3), la magnitud de estas diferencias no fue muy elevada (Tabla 6). Para el índice de esfericidad y el diámetro geométrico de la pepita, las diferencias entre las dos localidades no fueron muy elevadas (Tabla 6), aunque sí estadísticamente significativas (Tabla 3). Los valores del espesor de la pepita fueron más elevados en las muestras de Zaragoza, siendo 'Del Cid' y 'Picantilli' las que mostraron los valores más dispares entre las localidades y en ambos años del estudio (Tabla 5).

Variación de los contenidos en aceite y proteína

Los valores del contenido en aceite variaron considerablemente entre los cultivares, con el valor más elevado (60,9%) en 'Vivot' y el menor (52%) en 'Picantilli'. Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas en los contenidos en aceite, en proteína y en la relación aceite/proteína entre los genotipos y entre las localidades, así como en la interacción genotipo × localidad (Tabla 7). El menor contenido en proteína fue en 'Vivot' (17,3%) y el mayor en 'Retsou' (31%). Sin embargo, al analizar los rangos de variabili-

dad en cada localidad se observó que en Zaragoza los valores del contenido en aceite variaron entre 52% en 'Desmayo Largueta' y 63,8% en 'Vivot' y en proteína entre 14% en 'Vivot' y 29% en 'Retsou'. En Meknès, los valores del contenido en aceite variaron entre 46% en 'Desmayo Rojo' y 61% en 'Del Cid' y en proteína entre 20% en 'Vivot' y 32% en 'Retsou' (Tabla 8). Los valores del contenido en aceite fueron más elevados en las muestras procedentes de Zaragoza (Tabla 8), mientras que los valores del contenido en proteína fueron más elevados en las muestras procedentes de Meknès. Sin embargo, 'Desmayo Largueta' y 'Del Cid' mostraron valores más elevados de proteína y más bajos de aceite en las muestras de Zaragoza (Tabla 8). 'Atocha' y 'Picantilli' mostraron valores similares del contenido en aceite en ambas localidades (Tabla 8). En cuanto a la relación aceite/proteína, 'Desmayo Largueta', 'Del Cid' y 'Fournat de Brézenaud' no mostraron diferencias significativas entre ambas localidades (Tabla 8). En las dos localidades se ha observado una correlación negativa entre el contenido en aceite y en proteína, como ya se ha descrito (Askin *et al.*, 2007; Font i Forcada *et al.*, 2011; Kodad *et al.*, 2004), pero la magnitud de esta correlación fenotípica fue muy distinta entre las dos estaciones ($r = -0,59$ en Zaragoza y $r = -0,78$ en Meknès).

Tabla 7. Análisis de varianza de los de los contenidos en aceite y en proteína de los cultivares estudiados
Table 7. Analysis of variance of the oil and protein content of the cultivars studied

Fuente de variación	gl	Contenido en aceite	Contenido en proteína	Aceite / Proteína
Cultivar	10	32,7***	65,11***	1,11***
Estación	1	152,3***	202,61***	3,88***
Cultivar × Estación	10	33,7***	16,28***	0,45***
error	22	2,67	0,74	0,01

ns, *, **, ***: No significativo o significativo a $P = 0,05$, $0,01$ o $0,001$, respectivamente.

Tabla 8. Valores medio de los contenidos en aceite y en proteína de los cultivares estudiados en cada localidad
Table 8. Mean values of the oil and protein content in the cultivars studied for each location and year

Cultivar	Localidad	Contenido en aceite (%MS)	Contenido en proteína (%)	Aceite / Proteína (R)
Atocha	España	53,14a	25,15a	2,11a
	Marruecos	53,46a	29,33b	1,82b
	Media	53,3	27,24	1,96
Castilla	España	57,26a	23,91b	2,39a
	Marruecos	50,74b	30,48a	1,66b
	Media	54	27,19	1,99
Colorada	España	62,12a	17,59b	3,53a
	Marruecos	54,14b	23,13a	2,34b
	Media	58,13	20,36	2,86
Desmayo Largueta	España	52,63a	25,93a	2,03b
	Marruecos	55,78a	23,84b	2,34a
	Media	54,2	24,88	2,18
Desmayo Rojo	España	60a	19,44b	3,09a
	Marruecos	46,39b	30,79a	1,51b
	Media	53,19	25,15	2,12
Del Cid	España	54,39b	24,41a	2,23
	Marruecos	61,29a	21,26a	2,88
	Media	57,84	22,83	2,53
Ferraduel	España	58,35a	18,73b	3,12a
	Marruecos	55,37b	23,85a	2,32b
	Media	56,86	21,29	2,67
Fournat de Brézenaud	España	62,13a	20,86b	2,98a
	Marruecos	57,33b	25,21a	2,27a
	Media	59,73	23,03	2,59
Picantilli	España	53,18a	25,04b	2,12a
	Marruecos	52,26a	29,45a	1,77a
	Media	52,72	27,24	1,94
Retsou	España	61,76a	29,20a	2,12a
	Marruecos	53,19b	32,82a	1,62b
	Media	57,475	31,01	1,85
Vivot	España	63,89a	14,46b	4,42a
	Marruecos	58,8b	20,01a	2,94b
	Media	61,34	17,23	3,56

Valores con letras distintas son significativamente diferentes entre las dos localidades por el test LSD a P = 0,05.

Discusión

Caracteres físicos del fruto

La variabilidad de los caracteres físicos del fruto de los cultivares estudiados ya ha sido mencionada anteriormente (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980; Gülcan, 1985; Socias i Company *et al.*, 2008). La variación interanual de los caracteres físicos del fruto y de la pepita ha sido bien estudiada, mostrando claramente el efecto del año climático sobre estos caracteres (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980; Egea *et al.*, 2009; Felipe, 2000; Kodad, 2006; Nieddu *et al.*, 1989; Saura Calixto *et al.*, 1988), aunque la forma del fruto y la relación pepita/cáscara son independientes del tamaño. Sin embargo, en nuestro estudio estas diferencias no han sido drásticas y no afectarían a la calidad comercial de la pepita, aunque resalta la importancia de adecuar los cuidados culturales (riego, abonado, tratamientos fitosanitarios) a las condiciones climáticas del año para favorecer su efecto beneficioso sobre la calidad. A tal efecto, debe recordarse que la plantación del CITA de Aragón se riega mientras que la del INRA de Meknès no.

Los valores medios de los caracteres físicos del fruto y de la pepita han sido mayores en las muestras procedentes del CITA de Aragón. La dureza de la cáscara no mostró diferencias significativas entre ambas estaciones y en ambos años, dando por resultado que el rendimiento en pepita fue más elevado en las muestras de Meknès que en las de Zaragoza. Este carácter viene determinado por el peso de la cáscara (Felipe, 2000), que a su vez fue más alto en las muestras de Zaragoza. Algunos cultivares ('Castilla', 'Colorada', 'Desmayo Largueta' y 'Ferraduel') mostraron valores similares entre ambas estaciones y en los dos años. Estos cultivares poseen cáscara dura o muy dura, lo que probablemente explica la estabilidad de su dureza. Kodad (2006) señaló que los cultivares de cáscara dura no

muestran una variabilidad interanual significativa, mientras que las de cáscara blanda se ablandaron más en años de sequía. La pérdida de peso y de dureza de la cáscara podría ser debida a la débil lignificación y endurecimiento de la misma a causa de la sequía. Estos resultados indican claramente que los cultivares de cáscara dura o muy dura son los más adecuados para zonas áridas del mediterráneo y para el cultivo en secano, ya que no pierden su dureza. Ello implica menos ataques bióticos y mejor protección de la pepita en el árbol y durante el almacenaje y menores pérdidas en el descascarado, ya que en la cuenca mediterránea la maquinaria está diseñada para cáscara dura. Optar por cultivares de cáscara semi-dura o blanda implicaría una gran variación interanual en zonas de cultivo áridas, así como la pérdida de calidad que conlleva y el aumento de pérdidas en el descascarado.

Existen referencias contradictorias sobre el efecto del riego en los caracteres físicos de la pepita como el peso o el tamaño, desde que no les afecta (Nanos *et al.*, 2002), a que los aumenta (Nieddu *et al.*, 1989), o a que en condiciones de sequía el peso de la pepita es mayor (Valverde *et al.*, 2006). Estas diferencias podrían deberse a los distintos cultivares estudiados y a su grado de tolerancia a la sequía, a la intensidad de la sequía y de las condiciones climáticas (humedad y temperatura), así como al nivel de producción. En cualquier caso, parece ser que cuanto más severa es la sequía en condiciones de secano, mayores son los efectos de la falta de agua sobre los caracteres físicos del fruto y de la pepita (Egea *et al.*, 2009; Goldhamer *et al.*, 2006).

Las diferencias del peso de la pepita entre las dos localidades no fueron significativas para algunos cultivares, pero sí en otros, como 'Atocha', 'Desmayo Largueta' y 'Del Cid'. Ello puede indicar diferencias en cuanto a la tolerancia a la sequía entre cultivares. La disminución del peso de la pepita, y por consi-

guiente de su tamaño, perjudica el valor comercial de la misma, ya que las pepitas de gran tamaño tienen mayor valor comercial (Socias i Company *et al.*, 2008). El tamaño de la pepita está determinado por sus dimensiones, especialmente la longitud y la anchura, que se establecen durante la primera fase del desarrollo del fruto en la primavera, cuando tiene lugar la multiplicación celular (Egea *et al.*, 2009; Hawker y Buttrose, 1980), completándose en abril o mayo, según la zona de cultivo. Cualquier anomalía fisiológica durante este período podría modificar tanto el peso como el tamaño final de la pepita (Egea *et al.*, 2009; Hill *et al.*, 1987). Sin embargo, la longitud y la anchura de la pepita no mostraron diferencias significativas entre ambas localidades, lo que probablemente indica que la humedad del suelo en ambas estaciones no fue deficiente durante este período, debido a las altas precipitaciones registradas durante el invierno y el principio de la primavera (datos no mostrados).

Los valores del espesor de la pepita, por otra parte, fueron superiores en las muestras procedentes del CITA de Aragón, siendo 'Del Cid' y 'Picantilli' los cultivares que mostraron valores más dispares entre las dos estaciones para los dos años. Un estrés hídrico acentuado antes de la maduración de la pepita se refleja en la disminución de su espesor debido probablemente a la falta de acumulación de agua y nutrientes (Egea *et al.* 2009; Goldhamer y Viveros, 2000; Goldhamer *et al.*, 2006). En Meknès las precipitaciones fueron nulas durante los meses de julio y agosto de los dos años, con temperaturas elevadas (datos no mostrados), lo que aumentó el estrés hídrico durante esta fase del año a estos cultivares cultivados en secano. Ello explica los valores bajos del espesor de la pepita y por consiguiente de su peso.

Como ya se ha mencionado, algunos usos comerciales de la almendra dependen de sus caracteres físicos. Las pepitas alargadas y con

buen espesor son las más adecuadas para producir filetes circulares uniformes (Schirra, 1997). Los cultivares más adecuados para producir este tipo de producto serían: 'Desmayo Rojo', 'Castilla', 'Fournat de Brézenaud' y 'Atocha'. Para producir bastones serían más adecuados 'Del Cid', 'Ferraduel', y 'Desmayo Langueta', por su forma alargada y su anchura. Como en cualquier otro árbol frutal, la calidad de la pepita depende en gran medida de las condiciones de cultivo, sobre todo del riego y el abonado (Felipe, 2000), por lo que la pérdida del peso y del espesor de la pepita en los almendras producidas en las condiciones de Meknès probablemente impediría su utilización para determinados usos industriales.

Aceite y proteína

Los resultados confirman el efecto de las condiciones ambientales y de cultivo en la expresión de estos componentes químicos (Kodad *et al.*, 2004; Sánchez-Bel *et al.*, 2001; Saura-Calixto *et al.*, 1988), así como la relación que existe entre ambos componentes. Al parecer las condiciones ambientales y de cultivo del CITA de Aragón favorecieron la acumulación de aceite en la pepita, mientras que las del INRA de Meknès favorecieron la acumulación de proteína.

La acumulación de aceite y proteína en la almendra presenta un patrón sigmoidal desde la formación del fruto hasta la maduración, siendo esta acumulación más rápida durante la fase final del crecimiento del fruto (Cherif *et al.*, 2004; Hawker y Buttrose, 1980). Aunque Egea *et al.* (2009) determinaron que el estrés hídrico no afectaba al contenido en proteína de la almendra, Sánchez-Bel *et al.* (2008) encontraron diferencias del contenido en proteína entre el cultivo en secano y en regadío. Para el contenido en aceite, Schirra y Agabbio (1989) hallaron que el contenido en aceite era más elevado en condiciones de regadío, mientras que Egea *et al.* (2009) señalaron un re-

sultado contrario. En el presente estudio, algunos cultivares ('Desmayo Largueta' y 'Del Cid') no mostraron diferencias significativas entre ambas localidades en cuanto a los contenidos en aceite y en proteína; algunos otros mostraron valores significativamente más altos del aceite y bajos de proteína en las condiciones de Meknès; otro grupo mostró valores más altos en aceite y bajos en proteína en la condiciones del CITA. Por ello, el posible efecto del riego sobre estos caracteres puede depender de las características del genotipo, ya que cada estudio se ha realizado con un diferente material vegetal.

Para la fabricación de pasta de almendra se prefieren almendras con un alto contenido en aceite, ya que ello implica una menor absorción de agua (Alessandroni, 1980) y el mantenimiento de su calidad. Los cultivares con valores elevados y más o menos estables del contenido en aceite en ambas estaciones, como 'Fournat de Brézenaud', 'Ferraduel' y 'Vivot', pueden utilizarse para la producción de pasta de almendra de buena calidad y para la extracción del aceite, tanto en condiciones de estrés como en regadío. Cultivares como 'Desmayo Rojo', 'Castilla' y 'Retsou' no deberían destinarse a la fabricación de pasta de almendra cuando se cultiven en condiciones áridas, ya que entonces el contenido en aceite baja considerablemente. Sin embargo, cultivares con bajo contenido en aceite se pueden destinar para la producción de harina de almendra y otros productos por su alto contenido en proteína (Longhi, 1952). 'Atocha' y 'Picantilli' pueden destinarse para este uso industrial en ambas condiciones de cultivo.

Estos resultados confirman el efecto de la zona de cultivo, con sus condiciones ambientales y culturales, en los aspectos físicos y químicos de la almendra, por lo que la utilización industrial de los distintos cultivares no sólo puede depender de cada uno de ellos, sino también de su procedencia, lo que debe tenerse muy en cuenta para la valorización de

la producción en las distintas zonas de cultivo del almendro. Cabe destacar que los cultivares de cáscara dura o muy dura son los más adecuados para zonas áridas, así como que algunos cultivares parecen mejor adaptados a las condiciones de sequía, ya que no disminuye el peso de sus pepitas, como en 'Colorada' 'Desmayo Rojo', 'Del Cid', 'Retsou' y 'Vivot' o no varía su composición química, como en 'Desmayo Largueta' y 'Del Cid'.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del proyecto AGL2010-22197-C02-01 (Mejora genética del almendro), así como con la financiación de la actividad del Grupo Consolidado de Investigación A12 de Aragón (Adaptación y mejora del material vegetal para una fruticultura sostenible), École Nationale d'Agriculture de Meknès e Institut National de la Recherche Agronomique de Meknès. Se agradece la asistencia técnica de J. Búbal y O. Frontera.

Bibliografía

- Abdallah A, Ahumada MH, Gradziel TM, 1998. Oil content and fatty acid composition of almond kernels from different genotypes and California production regions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 1029-1033.
- Alessandroni A, 1980. Le mandorle. *Panif. Pasticc.* 8: 67-71.
- Arteaga N, Socias i Company R, 2002. Heritability of fruit and kernel traits in almond. *Acta Hort.* 591: 269-274.
- Askin MA, Balta MF, Tekintas FE, Kazankaya A, Balta F, 2007. Fatty acid composition affected by kernel weight in almond [(*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.]. *J. Food Comp. Anal.* 20: 7-12.
- Aydin C, 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *J. Food Engineer.* 60, 315-320.

- Berger P, 1969. Aptitude à la transformation industrielle de quelques variétés d'amandier. Bull. Techn. Inf. 241: 577-580.
- Cherif A, Sebei K, Boulhchina S, Kallel H, Belkacemi K, Arul J, 2004. Kernel fatty acid and triacylglycerol composition for three almond cultivars during maturation. J. Amer. Oil Chem. Soc. 81: 901-905.
- Egea G, González-Real MM, Baille A, Nortes PA, Sánchez-Bel P, Domingo R, 2009. The effects of contrasted deficit irrigation strategies on the fruit growth and kernel quality of mature almond trees. Agric. Water Manag. 96: 1605-1614.
- Felipe AJ, 2000. El almendro: el material vegetal. Integrum, Lérida.
- Font i Forcada C, Kodad O, Juan T, Estopañán G, Socias i Company R, 2011. Genetic variability and pollen effect on the transmission of the chemical components of the almond kernel. Span. J. Agric. Res. 9: 781-789.
- Godini A, 2002. Almond fruitfulness and role of self-fertility. Acta Hort. 591: 191-203.
- Goldhamer DA, Viveros M, 2000. Effects of pre-harvest irrigation cutoff durations and post-harvest water deprivation on almond tree performance. Irrig. Sci. 19: 125-131.
- Goldhamer DA, Viveros M, Salinas M, 2006. Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. Irrig. Sci. 24: 101-114.
- Grasselly C, 1972. L'amandier: caractères morphologiques et physiologiques des variétés, modalité de leur transmission chez les hybrides de première génération. Tesis doctoral, Univ. Bordeaux, 156 pp.
- Grasselly C, Crossa-Raynaud P, 1980. L'amandier. G.P. Maisonneuve et Larouse, Paris, 265 pp.
- Gülcan R, 1985. Almond descriptors (revised). IBPGR, Rome.
- Hawker JS, Buttrose MS, 1980. Development of the almond nut (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb): anatomy and chemical composition of fruit parts from anthesis to maturity. Ann. Bot. 46: 313-321.
- Hill SJ, Stephensen DW, Taylor BK, 1987. Almond yield in relation to tree size. Scientia Hort. 33: 97-111.
- Kester DE, Gradziel TM, 1996. Almonds. En: J. Janick y J.N. Moore (eds.): Fruit breeding, vol 3, p. 1-97. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Kester DE, Hansche PE, Beres W, Asay RN, 1977. Variance components and heritability of nut and kernel traits in almond. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102: 264-266.
- Kodad O, 2006. Criterios de selección y de evaluación de nuevas obtenciones autocompatibles en un programa de mejora genética del almendro. Tesis doctoral, Univ. Lérida.
- Kodad O, Socias i Company R, 2008. Variability of oil content and of major fatty acid composition in almond (*Prunus amygdalus* Batsch) and its relation with kernel quality. J. Agric. Food Chem. 56: 4096-4101.
- Kodad O, Socias i Company R, Gracia Gómez MS, Martínez Lázaro JM, Bonilla A, 2004. La composición de la almendra como criterio para su utilización industrial y como base para la selección en un programa de mejora genética. pp. 1094-1102. Actas III Congreso Español de Ingeniería de Alimentos, Pamplona, ISBN 86-688-7989-4.
- Kodad O, Estopañán G, Juan T, Molino F, Mamouni A, Messaoudi Z, Lahlou M, Socias i Company R, 2010a. Plasticity and stability in the major fatty acid content of almond kernels grown under two Mediterranean climates. J. Hort. Sci. Biotechnol. 85: 381-386.
- Kodad O, Juan T, Estopañán G, Messaoudi Z, Socias i Company R, 2010b. Efecto de la zona de cultivo sobre la calidad de la almendra en la cuenca mediterránea: caso de 'Ferragnès y Marcona en España y Marruecos. Ver. Frutic. 8: 26-33.
- Longhi S, 1952. High-protein animal feed. It. Patent 470,433 (Chem. Abstr. 1953, 47: 10766).
- Nanos GD, Kazantzis I, Kefalas P, Petrakis C, Stavroulakis GG, 2002. Irrigation and harvest time affect almond kernel quality and composition. Scientia Hort. 96: 249-254.
- Nieddu G, Schirra M, Mulas M, 1989. The effects of irrigation on developmental processes in almond fruits. Irrig. Drain. 36: 137-141.

- Sánchez-Bel P, Madrid R, Sánchez A, Valverde M, Romojaro F, 2001. La calidad de la almendra española. I. Fracción proteica. Cuad. Fitopatol. 67: 15-21.
- Saura-Calixto F, Cañellas-Mut J, Soler L, 1988. La almendra: composición, variedades, desarrollo y maduración. INIA, Madrid.
- Schirra M, 1997. Postharvest technology and utilization of almonds. Hort. Rev. 20: 267-292.
- Schirra M, Aggabio M, 1989. Influence of irrigation on keeping quality of almond kernels. J. Food Sci. 54: 1642-1465.
- Socias i Company R, Kodad O, Alonso JM, Gradziel TM, 2008. Almond quality: a breeding perspective. Hort. Rev. 34: 197-238.
- Valverde MR, Madrid A, García L, 2006. Effect of the irrigation regime, type of fertilization, and culture year on the physical properties of almond (cv. Guara). J. Food Engin. 76: 584-593.
- (Aceptado para publicación el 14 de octubre de 2011)