

HEREDABILIDAD DE LOS CARACTERES DE FRUTO Y PEPITA EN EL ALMENDRO

N. Arteaga, R. Socías i Company

Unidad de Fruticultura SIA - DGA, Apartado 727,
50080 Zaragoza, España

RESUMEN

La variabilidad y la heredabilidad de algunos caracteres del fruto y la pepita se estudiaron en 22 familias del programa de mejora genética del almendro desarrollado en el SIA de Zaragoza.

Los caracteres estudiados comprendieron parámetros métricos y ponderados. Los caracteres métricos fueron peso, longitud (L), anchura (A), espesor (E) y sus relaciones A/L y E/L tanto para el fruto como para la pepita, así como el rendimiento en pepita y el porcentaje de pepitas dobles. Los caracteres ponderados fueron forma, tipo de superficie y presencia de mucrón tanto para el fruto como para la pepita, así como la presencia de quilla, presencia y tamaño de agujeros en la cáscara, espesor de la cáscara, cáscara con doble capa, presencia de surcos en la pepita, color del tegumento y sabor de la pepita.

Las heredabilidades más altas se observaron para longitud, espesor, relaciones A/L y E/L, forma, tipo de superficie y tamaño de los agujeros para el fruto, así como para longitud y relaciones A/L y E/L para la pepita. Estos resultados muestran la correlación de la heredabilidad del mismo carácter para el fruto y la pepita y que la forma y el tamaño del fruto y la pepita son altamente heredables.

La comparación con los resultados reseñados previamente para algunos de estos caracteres muestran que nuestras heredabilidades son inferiores. Esta disminución puede deberse a la mayor diversidad genética entre los parentales de estas 22 progenies, así como a las condiciones de cultivo diferentes de los parentales y las plantas de mejora al considerar la heredabilidad por regresión.

Palabras clave: *Prunus amygdalus* Batsch, Fruto, Pepita, Heredabilidad.

SUMMARY

HERITABILITY OF FRUIT AND KERNEL TRAITS IN ALMOND

The variability and heritability of several fruit and kernel traits were studied in 22 families of the almond breeding programme being developed at the SIA of Zaragoza.

The traits studied included metric and non-metric parameters. The metric traits were weight, length (L), width (W), thickness (T) and their relations W/L and T/L both for fruit and kernel, as well as the kernel percentage and the amount of double kernels. Non-metric traits included shape, surface type, and mucro presence both for fruit and kernel, as well as the presence of keel, presence and size of points on the shell, shell thickness, shell with a double layer, presence of furrows on the kernel, tegument colour and kernel taste.

The highest heritabilities were observed for length, thickness, relations W/L and T/L, shape, surface type and point size for the fruit, as well as for length and relations W/L and T/L for the kernel. These results show a correlation of heritability of the same trait for fruit and kernel and that the shape and size of the fruit and kernel are highly heritable.

Comparison with results reported previously for some of these traits show that our heritabilities are lower. This decrease could be due to the larger genetic diversity among the parents involved in these 22 progenies, as well as to the different growing conditions of the parents and the seedlings when considering the heritability by regression.

Key words: *Prunus amygdalus* Batsch, Fruit, Kernel, Heritability.

Introducción

Los criterios de calidad utilizados hasta ahora en el almendro (*Prunus amygdalus* Batsch) han sido fundamentalmente parámetros físicos. Aunque se han expuesto consideraciones sobre el sabor de las distintas almendras, especialmente según su procedencia, estas diferencias no se han cuantificado y cuando se ha estudiado la composición química de los distintos cultivares, las diferencias observadas difícilmente explican los criterios subjetivos de calidad previamente indicados. Así, en el International Nut Council se ha llegado al criterio de considerar la composición química media de la almendra (QUATRUCCI, 1996) ante la dificultad de establecer un criterio claro en cuanto a las diferencias observadas, especialmente en cuanto a la composición de los diferentes ácidos grasos (ABDALLAH *et al.*, 1998).

Es evidente que cada tipo de almendra, debido a su diferente composición, puede adaptarse mejor a determinados usos, ya que las posibilidades de utilización de las almendras son numerosas: distintos tipos de turrón, mazapán, leche de almendra, peladillas, aperitivos... Aunque esta posibilidad ya fue apuntada hace más de 30 años por BERGER (1969), se le ha dedicado muy poca

atención y hasta muy recientemente no se ha puesto interés en la capacidad transformadora de cada cultivar (ROMERO *et al.*, 2001).

Sin embargo, el mercado mundial sigue basándose en criterios físicos: calibres dentro de la homogeneidad de una muestra, como es 'Nonpareil' y los tipos California en la producción californiana. El mercado español sólo diferencia los cultivares 'Marcona' y 'Desmayo Largueta', mientras que el resto de la producción española se acumula en el apartado de "comunales". Por ello, los esfuerzos de los planes de mejora en España se han dirigido a la obtención de cultivares que se asemejen a 'Marcona' y 'Desmayo Largueta', pero con mejores caracteres agronómicos, especialmente la autocompatibilidad (GARCÍA *et al.*, 1996; SOCIAS I COMPANY, 1989).

La heredabilidad de algunos caracteres del fruto y la pepita ha sido ya estudiada (SOCIAS I COMPANY, 1998), aunque de forma parcial: el peso del fruto y la pepita, las dimensiones de la pepita, la forma, la dureza de la cáscara, etc. (KESTER *et al.*, 1977). A pesar de que las características comerciales de la pepita vienen definidas por sus dimensiones lineales, así como por la relación longitud/anchura (KESTER, 1965; KESTER *et al.*, 1980), llama la atención que no se haya estudiado la hereda-

bilidad de las relaciones entre las dimensiones lineales del fruto y la pepita, que definen básicamente su forma. Por ello, nuestro objetivo ha sido el de estudiar la heredabilidad de los distintos parámetros físicos que definen el fruto y la pepita del almendro.

Materiales y Métodos

Se estudiaron 519 plantas procedentes de 22 cruzamientos (5 de ellos recíprocos de otros) entre 16 parentales que incluyen dos cultivares tradicionales españoles ('Marcona' y 'Menut'), una selección local española ('Bertina'), cinco obtenciones del programa de mejora genética del SIA-DGA ('Aylés', 'Cambra', 'Felisia', 'Guara' y 'Moncayo'), un cultivar italiano ('Tuono'), dos obtenciones del programa de mejora genética francés ('Ferragnès' y 'Ferralise') y cinco selecciones del programa del SIA-DGA (B-4-2, B-5-2, B-5-7, H-4-34 y H-4-38).

Se recogieron de cada árbol muestras de 50 frutos al azar siempre que fuera posible y se dejaron secar para después proceder a la toma de datos del fruto seco, incluyendo parámetros ponderados y métricos. Los primeros, determinados por observación, fueron: forma (largo, amigdalóide, elíptico, acorazonado o redondo), mucrón (inexistente, saliente o muy pronunciado), quilla (inexistente, poco marcada, media o acusada), superficie (lisa, rugosa o asurcada), puntuaciones (escasas, medias o abundantes), tamaño de las puntuaciones (pequeñas o grandes) y existencia de capas en la cáscara (observadas al cascar el fruto). Los caracteres métricos del fruto fueron: peso, longitud, anchura y espesor. Al cascar el fruto también se midió el espesor de la cáscara, se obtuvieron las pepitas y se calculó el rendimiento en pepita y el porcentaje de pepitas dobles.

Con las pepitas también se tomaron datos ponderados y métricos. Los primeros fueron: forma (larga, amigdalóide, elíptica, acorazonada o redonda), mucrón (presencia o no), superficie del tegumento (lisa, débilmente rugosa, rugosa, bastante rugosa o muy rugosa), surcos (ausentes, único o múltiples; porcentaje de presencia), coloración (por las tablas de color de la Royal Horticultural Society (RHS, 1966)) y sabor (dulce o amargo). Los caracteres métricos fueron: peso, longitud, anchura y espesor.

Tanto para el fruto como para la pepita se calcularon las relaciones anchura/longitud y espesor/longitud.

La heredabilidad se calculó tanto por el sistema de regresión como por el de varianza. La heredabilidad por regresión es una heredabilidad en sentido estricto (FALCONER, 1970) y se calculó con la fórmula:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i + E_i$$

en la que

Y_i = media de la progenie de la i -ésima familia (= 1, 2, ..., 21).

B_0 = media del total de la progenie estudiada.

B_1 = coeficiente de regresión.

X_i = media de los genitores de la i -ésima familia.

E_i = error experimental.

La heredabilidad calculada mediante los componentes de la varianza se halló con la fórmula (KEARSEY, 1965; MATHER y JINKS, 1971):

$$h^2 = 2S_f^2 / (S_f^2 + S_e^2)$$

en la que

S_f^2 es la varianza entre familias.

S_e^2 es la varianza dentro de familias o varianza del error.

Resultados

Con el fin de analizar los distintos parámetros estudiados se han agrupado los

caracteres métricos y ponderados tanto para el fruto como para la pepita en el cuadro 1.

Para todos los caracteres las heredabilidades fueron bajas, con una diferencia notable en algunos casos entre los dos métodos y en general inferiores a los indicados para aquellos caracteres que ya se habían estudiado previamente (DICENTA *et al.*, 1983:

Cuadro 1. Heredabilidad de distintos caracteres del fruto y la pepita del almendro
Table 1. Heritability of different fruit and kernel traits in almond

Carácter			Heredabilidad por varianza	Heredabilidad por regresión
Fruto	Métrico	Longitud	0,4954	0,0564
		Anchura	0,3674	0,0398
		Espesor	0,2797	0,0326
		A/L	0,4614	0,0446
		E/L	0,5272	0,0545
		E/A	0,2953	0,0275
		Peso	0,2316	0,1081
	Ponderado	Espesor de la cáscara	0,5072	0,1223
		Forma	0,4139	0,1400
		Mucrón	0,2070	0,0769
		Quilla	0,2475	0,0895
		Superficie	0,8031	0,1255
		Capas en la cáscara	0,3748	0,1816
		Puntuaciones	0,3350	0,1153
		Tamaño de las puntuaciones	0,5117	0,1904
Pepita	Métrico	Longitud	0,4753	0,2027
		Anchura	0,3091	0,1915
		Espesor	0,3315	0,1278
		A/L	0,4586	0,5396
		E/L	0,4315	0,6149
		E/A	0,2142	0,2426
		Peso	0,2453	0,2246
		Rendimiento	0,3344	0,2358
	Ponderado	Dobles (%)	0,3625	1,2323
		Forma	0,3191	0,1236
		Color	0,3030	0,0540
		Mucrón	0,1925	0,0122
		Rugosidad	0,3919	0,0636
		Surcos	0,1930	0,1198
		Tipo de surcos	0,1992	0,5688
		Porcentaje de surcos	0,3117	0,7497

KESTER *et al.*, 1977; SPIEGEL-ROY y KOCHBA, 1981).

Dimensiones

En el fruto las heredabilidades por varianza fueron muy superiores a las de por regresión, destacando especialmente el espesor de la cáscara y la longitud del fruto, con valores cercanos a 0,5 en el cálculo por varianza. Estos caracteres no se habían estudiado previamente, probablemente porque el aspecto comercial de la almendra viene definido más por la pepita que por la cáscara. En la pepita las diferencias entre los dos sistemas de cálculo no fueron tan elevadas, destacando igualmente la heredabilidad de la longitud de la pepita, que también presentó la mayor heredabilidad en el estudio de KESTER *et al.* (1977), aunque la heredabilidad de las dimensiones ya fue observada por GRASSELLY (1972), si bien sin cuantificar. Las mayores heredabilidades obtenidas por regresión para la pepita en relación con las del fruto pueden deberse a una mayor variabilidad de las dimensiones del fruto y a una mayor constancia de las dimensiones de la pepita.

Esta elevada heredabilidad de la longitud se traduce en una heredabilidad equivalente de las relaciones entre las dimensiones en las que interviene la longitud. Así, tanto para el fruto como para la pepita, las relaciones A/L y E/L presentan una elevada heredabilidad, mientras que la relación E/A, en la que no interviene la longitud, presenta unas heredabilidades menores. Estas relaciones no se habían estudiado previamente, a pesar de su importancia para definir comercialmente las almendras (KESTER, 1965; KESTER *et al.*, 1980).

Peso

Las heredabilidades del peso, tanto del fruto como de la pepita, fueron bajas, alrededor del 0,23 e incluso menor para la heredabilidad por regresión del peso del fruto. Estos valores son muy inferiores a los establecidos por KESTER *et al.* (1977) y posteriormente confirmados (DICENTA *et al.*, 1983; SPIEGEL-ROY y KOCHBA, 1981).

Rendimiento en pepita

Este carácter, ligado a la dureza de la cáscara, presenta heredabilidades muy bajas que discrepan de las señaladas anteriormente de 0,55-0,56 (DICENTA *et al.*, 1983; KESTER *et al.*, 1977) y 0,81 (SPIEGEL-ROY y KOCHBA, 1981). Quizás la utilización de parentales diferentes puede haber creado una desviación en el cálculo de estas heredabilidades y así destaca que la heredabilidad por varianza del rendimiento es inferior a la del espesor de la cáscara, siendo superior la heredabilidad por regresión, cuando son dos caracteres que deberían ir correlacionados.

Pepitas dobles

Los resultados son discrepantes, obteniéndose por regresión una heredabilidad superior a 1. Ello es reflejo de la complejidad de este carácter para el que se han sugerido muchas influencias externas (SOCIAS I COMPANYY, 1998). KESTER *et al.* (1977) estimaron su heredabilidad en 0,51, pero con una elevada desviación típica. También señalaron heredabilidades bajas DICENTA *et al.* (1983) y VARGAS y ROMERO (1988), pero la utilización de parentales sin pepitas dobles en la mayoría de los cruzamientos

evidentemente distorsiona el cálculo de su heredabilidad por regresión.

Forma

Tanto el fruto como la pepita presentaron heredabilidades medias o elevadas en relación con los bajos valores obtenidos en el conjunto. Estos valores están ligados a la alta heredabilidad de la relación A/L, ya que la forma se valora según el perfil transversal del fruto o de la pepita. En ambos casos las heredabilidades por varianza fueron superiores a las de por regresión. Aunque la forma del fruto es una característica varietal (GÜLCAN, 1985), previamente no se había calculado su heredabilidad, sino sólo la de las dimensiones.

Mucrón y quilla

La presencia de mucrón, tanto para el fruto como para la pepita, presenta heredabilidades muy bajas con los dos sistemas de cálculo. Un resultado similar se obtuvo con la presencia de quilla en la sutura de la cáscara.

Detalles de la cáscara

La rugosidad de la superficie de la cáscara presenta una heredabilidad por varianza muy elevada, la más alta de todas las obtenidas en este estudio, aunque no fue tan alta la obtenida por regresión.

La presencia de capas en la cáscara es un carácter muy importante en el proceso industrial del descascarado, siendo un inconveniente porque provoca un descascarado incompleto y una mayor rotura de pepitas. Su heredabilidad es media-baja y menor en el cálculo por regresión.

La presencia de puntuaciones en la superficie de la cáscara presenta también una heredabilidad media-baja, pero el tamaño de estas puntuaciones presenta una mayor heredabilidad. En ambos casos el cálculo por regresión da valores inferiores.

Para ninguno de estos caracteres existen referencias anteriores sobre su posible heredabilidad.

Detalles de la pepita

La heredabilidad por varianza del color del tegumento de la pepita resultó media, inferior, pero no muy discrepante, de la señalada por KESTER *et al.* (1977) de 0,42, quienes la consideraron altamente inconsistente por mostrar fuertes efectos ambientales y por depender en parte del estado de madurez en el momento de la cosecha y del tiempo y tipo de almacenaje.

La rugosidad de la superficie de la pepita presenta una heredabilidad media-alta, superior a la indicada por KESTER *et al.* (1977) de 0,36, probablemente porque el sistema de cultivo de estas plantas indujo una mayor rugosidad de las pepitas.

La heredabilidad de la presencia de surcos en la pepita fue muy baja con ambos cálculos, lo que contrasta con la muy elevada heredabilidad del carácter “crease” por KESTER *et al.* (1977): 0,79, definida como una depresión profunda en el lado de algunas pepitas.

El tipo de surcos, superficiales o profundos (que sería asimilable al “crease” anterior) presenta heredabilidades muy distintas, siendo bastante elevada por regresión, aunque estos resultados no son concluyentes porque dependen de la presencia o no de surcos, por lo que los cálculos debieron limitarse al reducido número de plantas que presen-

taban pepitas con este carácter y no con todas las plantas de las distintas descendencias.

Este mismo comentario puede aplicarse al porcentaje de surcos, que se refiere al porcentaje de pepitas que presentan surcos de cualquier tipo, en el caso de que haya surcos en la pepita, e igualmente se obtuvo una heredabilidad por regresión muy elevada.

Sabor

No se presenta ningún dato sobre este carácter porque todas las muestras analizadas tuvieron pepitas dulces, por lo que se deduce que de acuerdo con la heredabilidad de este carácter (HEPPNER, 1923) en cada cruzamiento al menos uno de los dos parentales era homocigótico para el carácter de pepita dulce.

Discusión

Hay que tener en cuenta que la selección de genitores con valores próximos para un determinado carácter puede producir una reducción en la varianza y, consecuentemente, en la covarianza entre las descendencias (FALCONER, 1970). En los cruzamientos estudiados, los parentales se habían seleccionado por algunos buenos caracteres del fruto, por lo que los resultados pueden estar afectados por esta reducción.

Los resultados obtenidos han mostrado que existe una correlación entre las heredabilidades calculadas para los distintos caracteres del fruto y los mismos en la pepita, lo que confirma la heredabilidad general de la forma del fruto y la pepita.

Los bajos índices de heredabilidad obtenidos, en comparación con los ya indicados

por otros autores, se deben probablemente a la gran diversidad genética entre los parentales utilizados, mayor que entre los utilizados en los otros programas que han servido para los otros cálculos de la heredabilidad, especialmente por KESTER *et al.* (1977), en los que sólo intervienen cultivares de origen californiano.

En general se han obtenido unas cifras de heredabilidad inferiores por el método de regresión, en el que intervienen los parentales, en comparación con las obtenidos por el método de varianza, en el que sólo se consideran las descendencias. Ello puede venir influido por la diversidad de las condiciones de cultivo de los parentales, en la colección de germoplasma, y de las descendencias, en los campos de plantones de mejora.

Desde el punto de vista de un programa de mejora genética se constata que la forma del fruto, en sus distintos componentes, es altamente heredable, lo cual es de gran importancia cuando actualmente el mercado se basa fundamentalmente en la forma del fruto para definir la calidad comercial.

Agradecimientos

Trabajo desarrollado en el proyecto CICYT AGF 98-0211-C03-01. Se agradece la colaboración de José M. Ansón, Mayte Espiau, Julio Búbal y José M. Alonso en la elaboración de muestras y datos.

Bibliografía

- ABDALLAH A., AHUMADA M.H. GRADZIEL T.M. 1998. Oil content and fatty acid composition of almond kernels from different genotypes and California

- production regions. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 123: 1029-1033.
- BERGER P. 1969. Aptitudes à la transformation industrielle de quelques variétés d'amandier. Bull. Techn. Inf. 241: 577-580.
- DICENTA F., GARCÍA J.E., CARBONELL E. 1983. Heritability of fruit characters in almond. J. Hortic. Sci. 68: 121-126.
- FALCONER, D.S. 1970. Introduction to quantitative genetics. Ronald Press Co., New York. 365 pp.
- GARCÍA J.E., DICENTA F., BERENGUER T., EGEA J. 1996. New self-compatible late flowering almond cultivars obtained in CEBAS-CSIC, Murcia. Nucis 5: 23-24.
- GRASSELLY C. 1972. L'amandier: caractères morphologiques et physiologiques des variétés, modalités de leurs transmissions chez les hybrides de première génération. Tesis, Univ. Bordeaux. 156 pp.
- GÜLCAN R. 1985. Almond descriptors (revised). IBPGR, Roma. 30 pp.
- KEARSEY M.J. 1965. Biometrical analysis of a random mating population: a comparison of five experimental designs. Heredity 20: 205-235.
- KESTER D.E. 1965. Size, shape and weight relationships in almond kernels. Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci. 87: 204-213.
- KESTER D.E., HANSCHKE P.E., BERES W., ASAY R.N. 1977. Variance components and heritability of nut and kernel traits in almond. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 102: 264-266.
- KESTER D.E., MICKE W.C., ROUGH D., MORRISON D., CURTIS R. 1980. Almond variety evaluation. Calif. Agric. 34 (10): 4-7.
- MATHIER K., JINKS J.L. 1971. Biometrical genetics. Chapman and Hall, London. XII + 382 pp.
- QUATRUCCI E. 1996. Nutritional quality of treenuts and how they complement other foods. Cracker 3: 14-15.
- RHS. 1966. RHS Colour chart. Royal Hortic. Soc., London.
- ROMERO A., TOUS J., PLANA J., GUARDIA M.D., DÍAZ I. 2001. How variety affects Spanish consumers' acceptance of marzipan and chocolates made with almonds. III Int. Symp. Pistachios and Almonds, Zaragoza. 20-25 Mayo 2001. Abstracts: 29.
- SOCIAS i COMPANY R. 1989. Estado actual en la creación de variedades de almendro. Frut 4: 336-339.
- SOCIAS i COMPANY R. 1998. Fruit tree genetics at a turning point: the almond example. Theor. Appl. Genet. 96: 588-601.
- SPIEGEL-ROY P., KOCHBA J. 1981. Inheritance of nut and kernels traits in almond (*Prunus amygdalus* Batsch). Euphytica 30: 167-174.
- VARGAS F.J., ROMERO M.A. 1988. Comparación entre descendencias de cruzamientos intervarietales de almendro en relación con la época de floración y la calidad del fruto. Rap. EUR 11557: 59-72.