

Universitat de Lleida

Departament d'Hortofruticultura Botànica i Jardineria

TESIS DOCTORAL

Criterios de selección y de evaluación de nuevas obtenciones autocompatibles en un programa de mejora genética del almendro (*Prunus amygdalus* Batsch).

Memoria presentada por D. Ossama Kodad, Ingeniero Agrónomo, para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo.

Director:

Rafael Socias i Company
Dr. Ingeniero Agrónomo

Tutor:

Valero Urbina Vallejo
Dr. Ingeniero Agrónomo

Realizada en la Unidad de Fruticultura del CITA



Zaragoza, Mayo de 2006

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS

D. Rafel Socias i Company, Dr. Ingeniero Agrónomo, Jefe de la Unidad de Fruticultura del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA) de Aragón, de la Consejería de Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón,

CERTIFICA

Que la tesis doctoral titulada “Criterios de selección y de evaluación de nuevas obtenciones autocompatibles en un programa de mejora genética del almendro (*Prunus amygdalus* Batsch)” ha sido realizada íntegramente por el Ingeniero Agrónomo Ossama Kodad bajo mi dirección en dicha Unidad de Fruticultura, habiéndose cumplido todos los objetivos planteados, por lo que se autoriza su presentación.

Zaragoza, 23 de mayo de 2006

Rafel Socias i Company

VºBº, el Tutor

Dr. Valero Urbina Vallejo

La norma observable para discernir en los relatos lo verdadero de lo falso se fundamenta en la apreciación de lo posible y de lo imposible, y consiste en examinar la sociedad humana, es decir la civilización; distinguir, por un lado, lo que es inherente a su esencia y a su naturaleza y, por otro, lo que es accidental y no debe tomarse en cuenta, reconociendo así mismo lo inadmisible.

Ibn Jaldún. Introducción a la historia universal.

Hoy más que nunca necesitamos que los sueños ganen terreno, espiritualizando, desmaterializando la visión del mundo, para descubrir a Dios en el seno de la Naturaleza. Porque, no lo olvidemos, la Naturaleza fue la madre, a través de la cual, desde la noche de los tiempos, conocimos a Dios.

Carlos de Prada. Paraísos perdidos.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents **Boubeker** et **Zahra** qui n'ont cessé de m'aider, de me soutenir et de m'encourager moralement et matériellement durant tout mon parcours d'études. Qu'ils trouvent ici ma reconnaissance pour tout l'amour et tous les sacrifices qu'ils ont faits pour moi. Cette thèse est aussi la leur. Un grand merci du fond de mon cœur.

A la mémoire de mes deux grands-pères que je n'ai pas eu l'occasion de connaître,

A ma grand-mère Fatima, symbole de ma famille,

A mes sœurs Wafae et Ismahan et à mes frères Yassir et Marwan,

A mes très chers Yousef et Noumedia,

A mon oncle Bougheda Ayad pour son soutien et ses conseils,

A tous ceux qui m'ont apporté leur amitié et leur amour.

AGRADECIMIENTOS

Muchas personas me han ayudado a lo largo de los años que ha durado la realización de este trabajo. A todos ellos quiero expresar mi agradecimiento.

Quiero agradecer al Dr. Rafael Socias i Company, por su ánimo, apoyo y optimismo que me han ayudado para superar los momentos más difíciles a lo largo de estos cuatro años. Quiero expresar mi reconocimiento por todo lo que me has enseñado, por tus pertinentes observaciones y orientaciones, la calidad de la dirección científica y el constante interés que has prestado para la realización de este modesto estudio. Que encuentres aquí la expresión de mi admiración por tus grandes cualidades, científicas y humanas.

De igual modo, quiero agradecer al Dr. Valero Urbina su cordial disposición durante la tutela de esta Tesis, así como sus consejos y las correcciones realizadas a los textos presentados en la universidad.

Al Dr. Joaquín Gómez Aparisi por sus consejos, ánimo y su disponibilidad para enseñarme el uso y la aplicación de las técnicas utilizadas para el estudio de la respuesta de las plantas a las condiciones extremas, así como por sus comentarios y apreciaciones.

Al Dr. Vicente Berenguer-Navarro por su amable acogida en su laboratorio en el Departamento de Química Analítica de la Universidad de Alicante y por enseñarme las técnicas químicas que se utilizan para determinar las propiedades antioxidantes de los tegumentos y a la Dra. M^a Soledad Prats por enseñarme la aplicación de las técnicas analíticas para la determinación de los tocoferoles del aceite de la pepita.

Al Dr. Andrés Piñeiro Antón por su amable acogida en su laboratorio en el Departamento de Bioquímica y Biología Molecular y Celular de la Universidad de Zaragoza y la Dra. M^a Ángeles Alava por enseñarme la aplicación de la cromatografía de gases en la determinación de los ácidos grasos del aceite de la pepita.

Al Dr. Ángel Bonilla Polo, por haberme aceptado en el Laboratorio Agroambiental de la DGA, para colaborar en las determinaciones analíticas de los componentes químicos de la pepita, así como a los componentes del mismo M^a Soledad Gracia, M^a Eugenia Miranda y Jesús Betrán.

A la Dra. M^a Ángeles Moreno por haberme aceptado en el departamento de Pomología de la EE de Aula Dei de Zaragoza y por enseñarme la aplicación de las técnicas relativas a la determinación de los carbohidratos en la yemas de almendro. Al Dr. Fermín Morales, también de la EE de Aula Dei, por enseñarme a aplicar el fluorímetro en la determinación de los distintos componentes de la fluorescencia de la clorofila para su uso en el estudio de la tolerancia a las heladas.

Al Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) por la financiación aportada durante la realización de esta tesis doctoral.

Al Dr. Ali Lansari por su amistad y su apoyo.

A todos los integrantes de la Unidad de Fruticultura y en especial a José Miguel Ansón, Julio Búbal, Olga Frontera, Mayte Espiau y Maria José Rubio por su amistad, su apoyo, ánimo y ayuda en los momentos difíciles de la tesis, así como a Jesús Castillo por mantener las plantas en las mejores condiciones.

A mi compañero José Manuel Alonso, por sus comentarios, apreciaciones y consejos. Y a todos los amigos y compañeros por su amistad y apoyo, especialmente a Ana Pina, Olga, Rosa, Afif, Sergio, Olfa, Hafid y a mi amigo de infancia Bouharbe Mustafa.

A la familia Ismael Fathi Al Zurba y Aziza Laham por su afecto, su cariño, la gran amistad que nos une y su hospitalidad.

ÍNDICE

Índice	i
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	viii
Resumen	xi
Summary	xii
Resum	xiii
Resumé	xiv
1. Introducción general	1
1.1 Origen y evolución del almendro	1
1.2 El cultivo del almendro	2
1.2.1 En el mundo	2
1.2.2 En España	3
1.3 Programas de mejora genética del almendro	7
1.4 Caracteres y criterios de selección	10
1.4.1 Caracteres morfológicos del árbol	11
1.4.2 Caracteres relacionados a la biología floral y al sistema reproductivo	12
1.4.2.1 <i>Inducción y diferenciación floral</i>	12
1.4.2.2 <i>El proceso de la floración</i>	12
1.4.2.3 <i>El sistema reproductivo</i>	13
1.4.2.3.1 <i>Anatomía y calidad de la flor</i>	13
1.4.2.3.2 <i>La polinización</i>	14
1.4.2.3.3 <i>Autoincompatibilidad y autocompatibilidad en el almendro</i>	15
1.4.3 Caracteres pomológicos y aspectos de calidad	16
1.4.3.1 <i>Fruto</i>	16
1.4.3.2 <i>Pepita</i>	17
1.4.3.4 <i>Calidad de la pepita</i>	18
1.5 Objetivos de la memoria	23
2. Material vegetal y metodología	25
2.1 Material vegetal	25
2.1.1 Descripción de los parentales	25
2.2 Metodología	30
2.3 Análisis estadísticos	30
2.3.1 Análisis en componentes principales (acp) y de agrupación jerárquica	30
2.3.2 Análisis factorial de correspondencia múltiple	31
2.3.3 Análisis de varianza	31
3. La morfología de las distintas partes del almendro	33
3.1 Introducción	33
3.2 Metodología	35
3.2.1 Porte	35
3.2.2 Vigor de los árboles	35
3.2.3 Ramificación	36
3.2.4 Características de la hoja	36
3.2.5 Características de la flor	37
3.3 Análisis estadísticos	38

3.4 Resultados	39
3.4.1 Porte, vigor y ramificación	39
3.4.2 Características de la hoja	43
3.4.3 Características de la flor	44
3.5 Discusión	45
3.5.1 Porte, vigor y ramificación	45
3.5.2 Características métricas de la hoja	49
3.5.3 Características de la flor	50
3.6 Implicación en un programa de mejora genética	52
3.7 Conclusión	53
4. Densidad floral y capacidad florífera	55
4.1 Introducción	55
4.2 Metodología	55
4.3 Análisis estadísticos	55
4.4 Resultados y discusión	58
4.4.1 Variabilidad y estabilidad de la densidad y capacidad florífera de las selecciones estudiadas	58
4.4.2 Influencia de las características morfológicas de los soportes de fructificación	62
4.4.3 Estudio de la variabilidad y de las semejanzas entre las selecciones y sus parentales: aplicación del análisis de componentes principales	63
4.4.3.1 <i>La variabilidad de los caracteres dentro de la población estudiada</i>	64
4.4.3.2 <i>Similitudes entre las selecciones estudiadas y sus parentales</i>	66
4.5 Conclusión	71
5. De la floración a la maduración	73
5.1 Introducción	73
5.2 Metodología	75
5.2.1 Datos meteorológicos	75
5.2.2 Época y calidad de la floración	75
5.2.3 Calidad de la floración	76
5.2.4 Cuajado del fruto y capacidad fructífera	76
5.2.5 Maduración y período de fructificación	78
5.3 Resultados	79
5.3.1 Fecha y duración de la floración	79
5.3.2 Variabilidad de la calidad de la flor	86
5.3.3 Variabilidad y estabilidad del cuajado, densidad de fruto y capacidad fructífera	87
5.3.4 Época y duración de la maduración	94
5.4 Discusión	97
5.4.1 Fecha y duración de la floración	97
5.4.2 Calidad de la flor y su evolución a lo largo de la floración	100
5.4.3 Cuajado, densidad del fruto y capacidad fructífera	102
5.4.4 Época y duración de la maduración	105
5.5 Implicación en un programa de mejora	106
5.6 Conclusión	108
6. Evaluación de la autogamia y su relación con la morfología floral	109
6.1 Introducción	109
6.2 Metodología	110
6.3 Resultados	112

6.3.1 Cuajados obtenidos	112
6.3.2 Posición recíproca estigma / anteras y su relación con la autogamia	115
6.4 Discusión	117
6.5 Conclusión	120
7. Estudio de la incidencia de las heladas y el grado de tolerancia a las bajas temperaturas	121
7.1 Introducción	121
7.2 Material y Métodos	124
7.2.1 Material vegetal	124
7.2.2 Metodología	124
7.2.2.1 <i>Evaluación de los daños en el campo durante los años 2003 y 2004</i>	124
7.2.2.2 <i>Evaluación en condiciones de laboratorio en el año 2005</i>	124
7.2.2.2.1 <i>Daños causados por bajas temperaturas</i>	124
7.2.2.2.2 <i>Determinación de carbohidratos, humedad y nitrógeno en las yemas</i>	125
7.2.2.2.3 <i>Evaluación mediante fluorescencia de la clorofila (FC)</i>	127
7.3 Resultados y Discusión	128
7.3.1 Daños causados por las heladas en el campo	128
7.3.2 Evaluación en condiciones de laboratorio en el año 2005	136
7.3.2.1 <i>Daños causados por las heladas en condiciones controladas</i>	136
7.3.2.2 <i>Estudio comparativo de algunos componentes químicos de la yema y su relación con la tolerancia a las heladas</i>	138
7.3.2.3 <i>Evaluación mediante la fluorescencia de clorofila (FC)</i>	141
7.4 Conclusión	146
8. Variabilidad de los caracteres pomológicos	147
8.1 Introducción	147
8.2 Metodología	148
8.2.1 Caracteres biométricos (cuantitativos)	148
8.2.2 Caracteres ponderados	149
8.3 Resultados y discusión	149
8.3.1 Variabilidad y estabilidad genética de los caracteres del fruto y de la pepita	149
8.3.2 Análisis multidimensional de las características del fruto y de la pepita	156
8.3.2.1 <i>Análisis en componentes principales de los caracteres biométricos</i>	156
8.3.2.2 <i>Análisis factorial de correspondencias múltiples de caracteres ponderados</i>	161
8.4 Conclusión	165
9. La composición química de la pepita	168
9.1 Introducción	168
9.2 Materiales y métodos	169
9.2.1 Preparación de las muestras	169
9.2.3 Métodos analíticos	170
9.2.3.1 <i>Contenido en aceite y ácidos grasos</i>	170
9.2.3.2 <i>Determinación del contenido en tocoferol</i>	172
9.2.3.3 <i>Determinación del contenido en nitrógeno proteico</i>	172
9.2.3.3 <i>Determinación del contenido en fibra bruta</i>	173
9.2.3.4 <i>Contenido en cenizas y macro-elementos minerales (CA, K, MG)</i>	173
9.4 Resultados y discusión	174
9.4.1 Variabilidad de los componentes químicos estudiados	174
9.4.1.1 <i>Contenido en aceite</i>	174

9.4.1.2	<i>Variabilidad del perfil en ácidos grasos</i>	177
9.4.1.3	<i>Variabilidad de la concentración en tocoferoles</i>	180
9.4.1.4	<i>Contenido en proteína y en nitrógeno total</i>	185
9.4.1.5	<i>Contenido en ceniza y macro-elementos minerales (K, CA Y MG)</i>	187
9.4.1.6	<i>Contenido en fibra bruta</i>	188
9.4.2	Repetibilidad de los caracteres	189
9.4.3	Aplicación del análisis multivariante a las características químicas de la pepita	189
9.4.3.1	<i>Estudio de la variabilidad de los caracteres químicos</i>	189
9.4.3.2	<i>Similitud entre los genotipos y sus parentales</i>	190
9.5	Conclusiones	195
10.	Características físicas y antioxidantes del tegumento	199
10.1	Introducción	199
10.2	Metodología	200
10.2.1	Características físicas	200
10.2.2	Contenido en polifenoles	200
10.2.3	Capacidad anti-radicalaria	200
10.3	Resultados	201
10.3.1	Características del tegumento	201
10.3.2	Variabilidad del contenido en polifenoles totales	202
10.3.3	Actividad anti-radicalaria	204
10.4	Discusión	204
10.5	Conclusión	206
11.	Crecimiento de los tubos polínicos, cuajado y características físicas y químicas de la pepita según el tipo de polinización	207
11.1	Introducción	207
11.2	Material y Métodos	208
11.2.1	Estudio de la dinámica del crecimiento de los tubos polínicos	208
11.2.2	Cuajado de frutos	209
11.2.3	Características físicas y químicas del fruto	210
11.3	Resultados	210
11.3.1	Comparación de la dinámica del crecimiento de los tubos polínicos	210
11.3.2	Estudio comparativo del cuajado	215
11.3.3	Características físicas del fruto	221
11.3.4	Estudio de las características químicas de la pepita	223
11.4	Discusión	225
11.4.1	Crecimiento y número de tubos polínicos en el pistilo	225
11.4.2	El cuajado	227
11.4.3	Características físicas del fruto y de la pepita	231
11.4.4	Características químicas de la pepita	232
11.5	Conclusión	234
12.	Correlaciones fenotípicas entre caracteres de interés agronómico y comercial	236
12.1	Introducción	236
12.2	Metodología	237
12.3	Resultados y discusión	237
12.3.1	Correlaciones fenotípicas entre la productividad y sus componentes	237
12.3.1.1	<i>Densidad floral y morfología de la rama</i>	237

12.3.1.2 <i>El cuajado y sus componentes</i>	240
12.3.2 Correlación entre la floración y la maduración	240
12.3.3 Correlaciones fenotípicas entre los caracteres biométricos del fruto	243
12.3.4 Correlaciones fenotípicas entre los componentes químicos de la pepita	246
12.3.5 Correlaciones entre las características físicas y químicas de la pepita	253
12.4 Conclusiones	254
13. Discusión general	256
14. Conclusiones generales	272
15. Referencias bibliográficas	277
16. Anejos	303

Índice de Figuras

Fig 1.1. Evolución de la superficie y de la producción mundial durante los últimos 5 años.....	2
Fig 1.2. Evolución de la superficie plantada y la producción en España en los años 1996-2005.....	4
Fig 2.1. Vista general de la plantación.....	26
Fig 2.2. Imagen detallada de la parcela experimental.....	26
Fig 2.3. Genealogía de la población estudiada.....	29
Fig 3.1. Los tipos de porte del árbol en el almendro.....	36
Fig 3.2. Nº de genotipos según las categorías del tipo del porte (a) y del vigor (b) observados en la población estudiada.....	39
Fig 3.3. Valores medios de la sección de tronco en cada toma de datos.....	41
Fig 3.4. Tasa de crecimiento de la sección de tronco de un período a otro.....	41
Fig 3.5. Evolución de la sección de tronco en función del vigor inicial de algunas selecciones.....	41
Fig 3.6. Valores medios anuales de la sección en la base de las ramas principales.....	42
Fig 3.7. Evolución interanual de la longitud de las ramas principales.....	42
Fig 3.8. Crecimiento diferencial interanual de la sección en la base de las ramas principales de algunas selecciones.....	42
Fig 3.9. Variación interanual de los valores medios del índice de ramificación.....	42
Fig 3.10. Reparto de los genotipos según el tamaño de la hoja.....	43
Fig 3.11. Reparto de los genotipos según el tamaño (a) y el color (b) de la flor.....	45
Fig 4.1. Densidad floral y tipos de fructificación en almendro.....	57
Fig 4.2. Evolución de la densidad floral de algunas selecciones en los años del estudio.....	60
Fig 4.3. Evolución de la capacidad florífera de algunas selecciones en los años del estudio.....	60
Fig 4.4. Evolución interanual de la densidad floral y la capacidad florífera de las selecciones estudiadas.....	60
Fig 4.5. Evolución del número de ramilletes de mayo y del número de yemas de los mismos a lo largo de los años.....	66
Fig 4.6. Representación gráfica de la población estudiada para los caracteres de densidad floral y de soportes de ramificación en cada año de estudio: A) 2003, B) 2004 y C) 2005.....	67
Fig 4.7. Representación gráfica de los genotipos para los caracteres de densidad floral y de soportes de ramificación.....	69
Fig 4.8. Dendrograma de los genotipos estudiados para los caracteres de la densidad floral.....	70
Fig 5.1. Distintas épocas de floración de algunas selecciones estudiadas.....	77
Fig 5.2. Distintas manifestaciones morfológicas de la esterilidad femenina en el almendro.....	77
Fig 5.3. Cuajado de frutos y algunas anomalías observadas en el fruto.....	78
Fig 5.4. Época de maduración según las fases fenológicas determinadas por Felipe (1977).....	79
Fig 5.5. Evolución de la temperatura durante los meses Enero-Abril de los años 2002, 2003, 2004 y 2005 (a, b, c y d, respectivamente).....	81
Fig 5.6. Época de inicio de floración de toda la población estudiada en cada año del estudio.....	82
Fig 5.7. Duración de la floración de toda la población estudiada en cada año del estudio.....	82
Fig 5.8. Evolución de la apertura de las flores durante la floración de algunas selecciones de floración semi-tardía.....	84
Fig 5.9. Evolución de la apertura de las flores durante la floración de algunas selecciones de floración tardía y muy tardía.....	85
Fig 5.10. Evolución de la apertura de flores y de la aparición de flores estériles de algunas selecciones en cada año del estudio.....	89
Fig 5.11. Evolución del cuajado, densidad frutal y capacidad fructífera de las selecciones afectadas por las heladas (grupo 1).....	92
Fig 5.12. Evolución del cuajado, la densidad de fruto y la capacidad fructífera de las selecciones no afectadas por las heladas (grupo 2).....	94
Fig 6.1. Evaluación de la autogamia por embolsamiento en el campo.....	111
Fig 6.2. Posición relativa del estigma con respecto a las anteras.....	111
Fig 6.3. Valores medios de los cuajados en cada año de estudio en función de la época de floración de las selecciones.....	114

Fig 6.4. Valores de los cuajados obtenidos en ramas embolsadas y en ramas al aire libre en cada año del estudio.....	114
Fig 6.5. Cuajados aceptables obtenidos en algunas selecciones de floración tardía en los tres años de estudio.....	115
Fig 6.6. Valores medios de la longitud del pistilo y de los estambres superiores e inferiores en cada año de estudio.....	116
Fig 6.7. Cuajados obtenidos en cada año de estudio en relación con la posición relativa estigma / anteras superiores.....	117
Fig 7.1. Daños causados por las heladas en el año 2004.....	126
Fig 7.2. Yemas de flor en el estado fenológico E, utilizadas en los ensayos de laboratorio (a- 'Masbovera' y b-'Felisia').....	126
Fig 7.3. Época de floración de las selecciones estudiadas del año 2003.....	130
Fig 7.4. Época de floración de las selecciones estudiadas del año 2004.....	130
Fig 7.5. Porcentaje de frutos dañados, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración media en 2003.....	133
Fig 7.6. Porcentaje de frutos dañados, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración media en 2004.....	133
Fig 7.7. Porcentaje de flores dañadas, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración tardía en 2003.....	135
Fig 7.8. Porcentaje de flores dañadas, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración tardía en 2004.....	135
Fig 7.9. Evolución de Fv de 'Marcona', 'Masbovera' y 'Ferragnès'.....	142
Fig 8.1. Distribución de los distintos genotipos según el valor de los componentes principales de sus características físicas del fruto y de la pepita.....	158
Fig 8.2. Dendograma de las selecciones y los parentales en función de sus características físicas del fruto y de la pepita.....	159
Fig 8.3. Variables ponderadas del fruto y de la pepita en el plano 1-2 del análisis factorial de correspondencias (AFC).....	164
Fig 8.4. Genotipos en el plano de los ejes 1-2 del AFC.....	164
Fig 8.5. Variables ponderadas del fruto y de la pepita en el plano de los ejes 1-3 del AFC.....	164
Fig 8.6. Genotipos en el plano de los ejes 1-3 del AFC.....	164
Fig 9.1. Valores de los ácidos grasos de la población estudiada en los dos años.....	179
Fig 9.2. Cromatograma de HPLC de α -, γ -, δ -tocoferol de una muestra de aceite.....	182
Fig 9.3. Valores medios de los años 2003 y 2004 de α -, γ -, δ -tocoferol y tocoferol total de 32 genotipos.....	184
Fig 9.4. Distribución de los distintos genotipos según el valor de los componentes principales de su composición.	192
Fig 9.5. Dendograma los genotipos en función de los componentes químicos de la pepita.....	193
Fig 10.1. Representación del índice de absorbancia en función del peso del tegumento.....	205
Fig 11.1. Fructificación en el campo después de polinizaciones controladas.....	210
Fig 11.2. Dinámica del crecimiento de los tubos polínicos a distintos tiempos después de la polinización cruzada y la auto-polinización artificial en el laboratorio de dos selecciones.....	212
Fig 11.3. Evolución del crecimiento de los tubos polínicos según el tipo de polinización (Separación de las medias mediante el test LSD $\alpha = 0,05$)	212
Fig 11.4. Cuajados medios globales para cada tratamiento de los genotipos de floración tardía.....	217
Fig 11.5. Cuajados medios de los tres años de estudio para los genotipos de floración tardía.....	217
Fig 11.6. Cuajados medios para cada año de estudio de los genotipos de floración tardía.....	218
Fig 11.7. Cuajados de las selecciones de floración tardía según los dos tipos de polinización manual para cada año.....	220
Fig 11.8. Cuajados medios en función de los distintos tratamientos en 2005.....	220

Índice de Tablas

Cuadro 1.1. Superficie y producción de almendra de las principales comunidades autónomas en los años 1997, 2001 y 2003.....	4
Cuadro 1.2. Superficie y producción de almendra en las provincias de Aragón en los años 1997, 2001 y 2003.....	4
Cuadro 1.3. Características que debe reunir la variedad ideal en el almendro (Socias i Company et al., 1998).....	22
Cuadro 2.1. Origen de los genotipos estudiados.....	27
Cuadro 3.1. Categorías de clasificación del tamaño en función de la superficie de las hojas.....	37
Cuadro 3.2. Categorías de clasificación del tamaño de la flor.....	37
Cuadro 3.3. Categorías de clasificación del color de la flor.....	37
Cuadro 3.4. Variables métricas consideradas de la hoja y de la flor y las abreviaturas correspondientes.....	38
Cuadro 3.5. Análisis de varianza de la sección del tronco de las selecciones estudiadas en cada fecha de toma de datos (T1-T5).....	40
Cuadro 3.6. Análisis de varianza del conjunto de factores considerados.....	40
Cuadro 3.7. Análisis de varianza de la sección y la longitud de ramas y del índice de ramificación.....	40
Cuadro 3.8. Análisis de varianza de las características métricas de la hoja.	44
Cuadro 3.9. Análisis de varianza de la superficie de la hoja en dos años consecutivos.....	44
Cuadro 3.10. Análisis de varianza general de las características métricas de la flor.....	44
Cuadro 3.11. Análisis de varianza de las características métricas de la flor de 10 selecciones en 2 años del estudio.....	45
Cuadro 4.1. Caracteres medidos y abreviaturas correspondientes.....	56
Cuadro 4.2. Variabilidad intra-anual e inter-anual de la densidad floral y la capacidad florífera.....	58
Cuadro 4.3. Análisis de varianza para la densidad floral y de la capacidad florífera.....	59
Cuadro 4.4. Variables morfológicas que influyen en la densidad floral total.....	63
Cuadro 4.5. Varianza explicada por los tres ejes principales en cada año del estudio.....	64
Cuadro 4.6. Contribución de las variables de la densidad floral en la explicación de los tres ejes principales del análisis de componentes principales en cada año del estudio.....	65
Cuadro 4.7. Contribución de las variables consideradas en la explicación de los tres ejes principales.....	68
Cuadro 5.1. Grupos de floración establecidos en relación a las variedades de referencia.....	80
Cuadro 5.2. Duración de la floración de las selecciones estudiadas en cada año del estudio.....	83
Cuadro 5.3. Análisis de varianza del porcentaje de las flores estériles y de las flores gemelas en los años 2004 y 2005.....	87
Cuadro 5.4. Porcentaje de las flores estériles y gemelas en los años 2004 y 2005.....	88
Cuadro 5.5. Época de floración y caracteres productivos de la población estudiadas.....	90
Cuadro 5.6. Análisis de varianza global del cuajado, productividad y densidad de frutos de las selecciones de floración media.....	91
Cuadro 5.7. Análisis de varianza del cuajado, la productividad y la densidad de fruto del grupo 2.....	93
Cuadro 5.8. Análisis de varianza del conjunto de selecciones estudiadas en el año 2005.....	94
Cuadro 5.9. Grupos de maduración establecidos con relación a las variedades de referencia.....	95
Cuadro 5.10. Fecha, duración de la maduración y duración de la fructificación en tres años del estudio (2003-2005) de las selecciones estudiadas.....	96
Cuadro 6.1. Cuajados de las ramas emboladas obtenidos en cada año de estudio.....	113
Cuadro 6.2. Análisis de varianza de la longitud relativa del pistilo y las anteras superiores e inferiores de las flores de la población estudiada en 2 años consecutivos.....	116
Cuadro 7.1. Análisis de varianza de las flores heladas en las selecciones de época de floración media.....	129
Cuadro 7.2. Análisis de varianza del cuajado obtenido en las selecciones de floración tardía.....	129
Cuadro 7.3. Correlaciones entre los caracteres estudiados en los años 2003 (línea superior) y 2004 (línea inferior).....	132
Cuadro 7.4. Porcentaje de daños observados en pistilos después de los tratamientos en condiciones controladas y clasificación de los genotipos en relación a las heladas.....	137
Cuadro 7.5. Porcentaje de humedad, de nitrógeno (MS) y concentraciones de distintos carbohidratos en las yemas de flor en estado fenológico E (en mg/g MS).....	139

Cuadro 7.6. Correlación entre los daños relativos y algunos componentes bioquímicos de la yema de flor....	140
Cuadro 7.7. Evolución de la fluorescencia de la clorofila de la zona ovárica de las yemas de los genotipos estudiados en función de las temperaturas.....	143
Cuadro 8.1. Caracteres biométricos medidos y sus abreviaturas.....	148
Cuadro 8.2. Caracteres ponderados estudiados y las abreviaturas correspondientes.....	150
Cuadro 8.3. Media y coeficientes de variación de los caracteres biométricos del fruto y de la pepita.....	151
Cuadro 8.4. Rango de variabilidad y coeficientes de variación interanual de los caracteres biométricos del fruto y de la pepita.....	151
Cuadro 8.5. Análisis de varianza y repetitividad de los caracteres biométricos del fruto.....	152
Cuadro 8.6. Análisis de varianza y repetitividad de los caracteres biométricos de la pepita.....	152
Cuadro 8.7. Análisis de varianza y repetitividad de los caracteres físicos de la cáscara y de los cocientes de las dimensiones del fruto y de la pepita.....	152
Cuadro 8.8. Análisis de varianza de la dureza de la cáscara (resistencia a la rotura).....	154
Cuadro 8.9. Análisis de varianza de algunas características del fruto según el soporte de fructificación.....	156
Cuadro 8.10. Comparación de medias entre las características del fruto según el soporte de fructificación....	156
Cuadro 8.11. Varianza explicada por cada eje y contribución de cada variable en la explicación de los tres primeros ejes del ACP.....	157
Cuadro 8.12. Porcentaje de la inercia total explicada por cada eje.....	161
Cuadro 8.13. Contribución absoluta de las variables en la formación de los tres primeros ejes.....	162
Cuadro 9.1. Componentes medidos en las pepitas y sus abreviaturas.....	170
Cuadro 9.2. Composición química de la pepita (aceite, proteína, ácidos grasos, fibra, ceniza y elementos minerales) en el año 2002.....	175
Cuadro 9.3. Composición química de la pepita (aceite, proteína, ácidos grasos, fibra, ceniza y elementos minerales) en el año 2003.....	176
Cuadro 9.4. Análisis de varianza del aceite y de los ácidos grasos.....	178
Cuadro 9.5. Elementos estadísticos de cada variable en cada año del estudio.....	178
Cuadro 9.6. Elementos estadísticos de cada variable en ambos años del estudio.....	178
Cuadro 9.7. Composición de los distintos isómeros de tocoferol en cada genotipo (mg/kg aceite).....	181
Cuadro 9.8. Análisis de varianza de las composiciones en los diferentes homólogos de tocoferol en el año 2003.....	183
Cuadro 9.9. Análisis de varianza de los tocoferoles de 32 genotipos en los años 2003 y 2004.....	183
Cuadro 9.10. Temperatura y lluvia registrados durante el período del desarrollo del fruto de los dos años del estudio.....	185
Cuadro 9.11. Análisis de varianza del contenido en nitrógeno, proteína, fibra, ceniza y elementos minerales.....	186
Cuadro 9.12. Varianza y contribución de las variables estudiadas en la explicación de los tres componentes principales en el año 2002 y 2003.....	190
Cuadro 9.13. Contribución de las características químicas de la pepita del año 2003 a los 4 primeros componentes principales.....	191
Cuadro 10.1. Análisis de los datos de las características del tegumento.....	201
Cuadro 10.2. Análisis de la varianza del peso del tegumento y el rendimiento al repelado.....	202
Cuadro 10.3. Análisis de varianza del contenido en polifenoles en las selecciones y los parentales.....	202
Cuadro 10.4. Valores del contenido en poli fenoles del índice I(A _{50%}) de cada genotipo.....	203
Cuadro 10.5. Análisis de varianza del contenido en polifenoles totales de la familia 'Felisia' × 'Bertina'.....	204
Cuadro 11.1. Composición alélica de los genotipos estudiados y sus parentales.....	211
Cuadro 11.2. Longitud del estilo y porcentaje medio de la longitud del estilo recorrido por el tubo polínico más largo a distintos tiempos después de la polinización.....	213
Cuadro 11.3. Análisis de varianza del crecimiento de los tubos polínicos para todos los tiempos de muestreo y para cada muestreo.....	214
Cuadro 11.4. Análisis de varianza del número y porcentaje de tubos polínicos en la base del estilo.....	214
Cuadro 11.5. Número medio de granos de polen en el estigma y en la base del estilo y porcentaje de los tubos polínicos a la base del pistilo después de 4 días de la polinización.....	215
Cuadro 11.6. Cuajados obtenidos en los 3 años de estudio según cada tratamiento.....	216
Cuadro 11.7. Análisis de varianza global del cuajado.....	217

Cuadro 11.8. Análisis de varianza global para las selecciones de floración tardía según el tipo de polinización manual.....	218
Cuadro 11.9. Análisis de varianza del cuajado obtenido según el tipo de polinización manual en cada año para las selecciones de floración tardía.....	219
Cuadro 11.10. Análisis de varianza del cuajado obtenido en el año 2005.....	219
Cuadro 11.11. Análisis de varianza del cuajado obtenido en 2005 para las polinizaciones manuales.....	220
Cuadro 11.12. Análisis de la varianza de las características físicas de los frutos y pepitas procedentes de la autopolinización y de la polinización cruzada (con polen de 'Cavaliera').....	221
Cuadro 11.13. Comparación de las características físicas de los frutos procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.....	222
Cuadro 11.14. Comparación de las características físicas de las pepitas procedentes de la autopolinización o la polinización cruzada.....	222
Cuadro 11.15. Análisis de la varianza de las características químicas de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada (con polen de 'Cavaliera').....	223
Cuadro 11.16. Análisis de la varianza de la composición en ácidos grasos del aceite de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada (con polen de 'Cavaliera').....	223
Cuadro 11.16. Comparación de las características químicas (aceite, proteína, ceniza y elementos minerales) de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.....	224
Cuadro 11.17. Comparación de las características químicas (composición en ácidos grasos mayoritarios) de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.....	224
Cuadro 12.1. Correlación entre los caracteres de la densidad floral, la capacidad florífera y la morfología de los soportes de fructificación en los años 2003-2005.....	239
Cuadro 12.2. Coeficiente de correlación entre los datos de los años 2003/2004 y 2003/2005.....	240
Cuadro 12.3. Correlaciones fenotípicas entre los caracteres varietales que contribuyen a la determinación de la productividad.....	241
Cuadro 12.4. Coeficientes de correlación entre algunos caracteres fenológicos.....	242
Cuadro 12.5. Correlación entre los caracteres físicos del fruto en los años 2001, 2002 y 2003.....	244
Cuadro 12.6. Correlaciones interanuales entre algunos caracteres del fruto.....	247
Cuadro 12.7. Correlaciones genotípicas entre los compuestos químicos en los años 2002 y 2003.....	249
Cuadro 12.8. Correlaciones entre los distintos ácidos grasos en los años 2002 y 2003.....	251
Cuadro 12.9. Correlaciones fenotípicas entre los tres isómeros del tocoferol en los años 2003 y 2004 y entre los ácidos grasos y los tocoferoles en el año 2003.....	251
Cuadro 12.10. Correlaciones interanuales de los caracteres químicos de la pepita.....	253
Cuadro 12.11. Correlación entre el peso y el tamaño del fruto y los componentes químicos de la pepita.....	253
Cuadro 13.1. Criterios de selección en función de las características de la región de cultivo.....	269
Cuadro 13.2. Criterios de selección relacionado con las características químicas y físicas de la pepita y su destino comercial e industrial (aspectos generales).....	270
Cuadro 14.1. Características de los genotipos seleccionados como futuras variedades.....	276
Cuadro I.1. Evaluación subjetiva de algunos caracteres morfológicos del árbol.....	303
Cuadro I.2. Evolución semestral de la sección del trunco de los genotipos estudiados.....	304
Cuadro I.3. Las variables métricas de la hoja.....	305
Cuadro I.4. Variables métricas de la flor consideradas en este estudio.....	306
Cuadro II.1. Datos de densidad floral y sus componentes del año 2003.....	307
Cuadro II.2. Datos de densidad floral y sus componentes del año 2004.....	308
Cuadro II.3. Datos de densidad floral y sus componentes del año 2005.....	309
Cuadro III.1. Evolución de la floración en el año 2002.....	310
Cuadro III.2. Evolución de la floración en el año 2003.....	311
Cuadro III.3. Evolución de la floración en el año 2004.....	312
Cuadro III.4. Evolución de la floración en el año 2005.....	313
Cuadro IV.1. Datos biométricos del fruto y de las pepitas del año 2001-2002.....	314
Cuadro VI.2. Datos biométricos del fruto y de la pepita del año 2002-2003.....	315
Cuadro IV.3. Datos biométricos del fruto y de la pepita del año 2003-2004.....	316

Resumen

Se han estudiado distintos aspectos morfológicos, fisiológicos, productivos y cualitativos en una población de selecciones auto-compatibles de almendro (*Prunus amygdalus* Batsch) del programa de mejora genética del CITA de Aragón.

La evaluación de los caracteres morfológicos permitió ratificar la variabilidad genética y ambiental sobre su expresión, permitiendo considerar la morfología del árbol como un objetivo alcanzable en un programa de mejora. La densidad floral y la capacidad florífera dependen del genotipo y de las condiciones ambientales. Las características floríferas dependen de los soportes de fructificación, siendo una fructificación equilibrada sobre ramos del año y ramilletes de mayo la más adecuada para una rápida entrada en producción y el aumento de la superficie productiva. La gran variabilidad genotípica y ambiental del cuajado preconiza su selección mediante una selección indirecta para otros caracteres, como la densidad floral, la calidad de flor y la autogamia, debido a que los cuajados obtenidos fueron muy erráticos, siendo también independientes de la morfología floral.

La respuesta de los genotipos a las heladas en condiciones de campo y de laboratorio confirma la existencia de fuentes de tolerancia a las heladas. La incorporación de posibles métodos de valoración como la fluorescencia de la clorofila, la determinación de los componentes bioquímicos de las yemas y el seguimiento de su evolución estacional, podrían aumentar las posibilidades de selección de nuevo material tolerante a las heladas.

Los caracteres del fruto y de la pepita presentan una gran variabilidad y están influidos por los soportes de la fructificación, siendo de tamaño ligeramente menor los frutos procedentes de ramilletes de mayo en relación a los procedentes de ramos del año, aunque se mantiene la forma. Los componentes químicos de la pepita dependen principalmente del genotipo, excepto para la concentración en tocoferoles, influida por las condiciones ambientales, sobre todo por las altas temperaturas. La capacidad anti-radicalaria del tegumento permite considerar su capacidad de mantenimiento de la calidad de la pepita. Las grandes semejanzas observadas en las características físico-químicas de la pepita mediante los análisis multidimensionales entre los parentales y sus descendencias ratificaron la necesidad de elegir los parentales en función de los objetivos a alcanzar.

Por primera vez se han considerado los componentes químicos como criterios de selección, lo que abre nuevos horizontes para la mejora de la calidad de la pepita considerando sus diferentes usos. La ausencia de correlaciones significativas entre los componentes químicos y las características físicas de la pepita indica la posibilidad de emprender la mejora para la composición química de la pepita sin alterar los avances logrados en materia de calidad física.

La comparación de la autopolinización con la polinización cruzada ha mostrado que el crecimiento de los tubos polínicos, el cuajado, y las características físico-químicas de la pepita presentan valores inferiores después de la autopolinización, poniendo en evidencia su posible efecto depresivo sobre estos caracteres. Ello indica que las selecciones autógamias pueden presentar un posible efecto depresivo por consanguinidad en sus posibilidades productivas, lo que se debe tener en cuenta en su evaluación y en la elección de los parentales.

Se han determinado diversas correlaciones fenotípicas entre los caracteres de interés agronómico, comercial e industrial, lo que permite realizar la selección conjunta de algunos de ellos, reduciendo los costes y el tiempo de su evaluación, al mismo tiempo que facilita la fijación de los objetivos básicos para cada conjunto de caracteres correlacionados para aumentar la eficiencia del proceso de mejora.

Finalmente, todos estos aspectos se han aplicado como criterios de selección en la población estudiada, lo que ha permitido identificar tres selecciones como futuras variedades por sus elevadas cualidades agronómicas así como por las posibilidades que ofrecen para los sectores comercial e industrial y finalmente para el consumidor.

Summary

Selection and evaluation criteria for new self-compatible selections in an almond (*Prunus amygdalus* Batsch) breeding programme

Several morphological, physiological, productive and qualitative aspects have been studied in a group of self-compatible almond (*Prunus amygdalus* Batsch) selections from the breeding programme of the CITA de Aragón.

The evaluation of the morphological traits allowed the genetic and environmental variability of their expression to be ratified and for tree morphology to be considered as an attainable objective in a breeding programme. Bloom density and flowering ability also depend on the genotype and the environment. The flower characteristics depend on the fruiting supports, balanced fruiting on one-year shoots and on spurs being the most adequate for an early bearing and an increase of the productive surface. The large genotypic and environmental variability of fruit set requires that its selection be done by an indirect selection through other traits, such as bloom density, flower quality and autogamy because the fruit sets obtained were very erratic and also independent from the flower morphology.

The response of the genotypes to frosts, both in the field and the laboratory, confirmed the existence of frost tolerance sources. The incorporation of possible valorisation methods such as chlorophyll fluorescence, determination of the bud biochemical components, and their seasonal evolution, could increase the possibilities of selection of new plant material tolerant to frosts.

Shell and kernel traits show a large variability and are under the effect of the fruiting supports. The fruits from spurs are of a slightly smaller size than those from one-year shoots, although the shape is maintained. The kernel chemical components mostly depend on the genotype, with the exception of the tocopherol concentration, affected by the environmental conditions, mostly by high temperatures. The anti-radical ability of the tegument allows considering its ability to maintain kernel quality. The large similarity observed between parents and offspring for the kernel physical and chemical characteristics by the multidimensional analysis ratified the need to choose the parents in function of the desired objectives.

The kernel chemical components have been considered for the first time as selection criteria, opening new horizons in breeding for kernel quality considering its different utilizations. The lack of significant correlations between the chemical components and the physical traits of the kernel points to the possibility of attempting almond breeding for the kernel chemical composition without losing the advances obtained in its physical quality.

The comparison of self- and cross-pollination has shown that pollen tube growth, fruit set, and the kernel physical and chemical characteristics show lower values after self-pollination, evidencing a possible depressive effect of selfing on these traits. This indicates that autogamous selections may present a possible depressive effect in their productive ability due to inbreeding, a fact that must be taken into consideration in their evaluation as well as in choosing the parents.

Several phenotypic correlations between some interesting horticultural, commercial and industrial traits have been determined, thus allowing the joint selection to be undertaken of some of them and the costs and time of their evaluation to be reduced. This fact helps at the same time in fixing the basic objectives for each ensemble of correlated traits and increases the efficiency of the breeding process.

Lastly, all these aspects have been applied as selection criteria in the studied group of selections, allowing the identification of three selections as possible new cultivars due to their good horticultural qualities, as well as to the possibilities offered to the commercial and industrial sectors, as well as to the consumers.

Resum

Criteris de selecció i d'avaluació de noves obtencions autocompatibles a un programa de millora genètica de l'ametller (*Prunus amygdalus* Batsch)

S'han estudiat diferents aspectes morfològics, fisiològics, productius i qualitius en una població de seleccions auto-compatibles d'ametller (*Prunus amygdalus* Batsch) del programa de millora genètica del CITA d'Aragó.

L'avaluació del caràcters morfològics permeté de ratificar la variabilitat genètica i ambiental sobre la seva expressió, permetent de considerar la morfologia de l'arbre com un objectiu assolible en un programa de millora. La densitat floral i la capacitat florífera depenen del genotip i de les condicions ambientals. Les característiques floríferes depenen del suports de fructificació, essent una fructificació equilibrada sobre rams de l'any i brots de maig la més adequada per a una ràpida entrada en producció i l'augment de la superfície productiva. La gran variabilitat genotípica i ambiental del quallat preconitza la seva selecció mitjançant una selecció indirecta per a d'altres caràcters, com la densitat floral, la qualitat de flor i l'autogàmia, ja que els quallats obtinguts foren molt erràtics, essent també independents de la morfologia floral.

La resposta dels genotips a les gelades en condicions de camp i de laboratori confirma l'existència de fonts de tolerància a les gelades. La incorporació de possibles mètodes de valoració com la fluorescència de la clorofil·la, la determinació dels components bioquímics de les gemmes i el seguiment de la seva evolució estacional, podrien augmentar les possibilitats de selecció de nou material tolerant a les gelades.

Els caràcters del fruit i del bessó presenten una gran variabilitat i estan influïts pels suports de la fructificació, essent de grossària lleugerament menor els fruits procedents de brots de maig en relació als procedents de rams de l'any, encara que es manté la forma. Els components químics del bessó depenen principalment del genotip, excepte per a la concentració en tocoferols, influïda per les condicions ambientals, sobre tot per les altes temperatures. La capacitat anti-radicalària del tegument permet de considerar la seva capacitat de manteniment de la qualitat del bessó. Les grans semblances observades en les característiques físico-químiques del bessó mitjançant les anàlisis multidimensionals entre els parentals i les seves descendències ratificaren la necessitat d'elegir els parentals en funció dels objectius a assolir.

Per primera vegada s'han considerat els components químics com a criteris de selecció, el que obre nous horitzons per a la millora de la qualitat del bessó considerant els seus usos diferents. L'absència de correlacions significatives entre els components químics i les característiques físiques del bessó indica la possibilitat d'emprendre la millora per a la composició química del bessó sense alterar els avanços aconseguits en matèria de qualitat física.

La comparació de l'autopol·linització amb la pol·linització encreuada ha mostrat que el creixement dels tubs pol·línics, el quallat, i les característiques físico-químiques del bessó presenten valors inferiors després de l'autopol·linització, posant en evidència el seu possible efecte depressiu sobre aquests caràcters. Tot això indica que les seleccions autògames poden presentar un possible efecte depressiu per consanguinitat en les seves possibilitats productives, el que s'ha de tenir en compte en la seva avaluació i en l'elecció dels parentals.

S'han determinat diverses correlacions fenotípiques entre els caràcters d'interès agronòmic, comercial i industrial, el que permet de realitzar la selecció conjunta d'alguns d'ells, reduint les despeses i el temps de la seva avaluació, al mateix temps que facilita la fixació dels objectius bàsics per a cada conjunt de caràcters correlacionats per a augmentar l'eficiència del procés de millora.

Finalment, tots aquests aspectes s'han aplicat com a criteris de selecció en la població estudiada, el que ha permès d'identificar tres seleccions com a futures varietats per les seves elevades qualitats agronòmiques, així com per les possibilitats que ofereixen per als sectors comercial i industrial, i finalment per al consumidor.

Résumé

Critères de sélection et d'évaluation de nouvelles obtentions autocompatibles dans un programme d'amélioration génétique de l'amandier (*Prunus amygdalus* Batsch)

Différents aspects morphologiques, physiologiques, productifs et qualitatifs ont été étudiés dans une population auto-compatible d'amandier (*Prunus amygdalus* Batsch) issue du programme d'amélioration génétique du CITA d'Aragón.

L'évaluation des caractères morphologiques a permis de confirmer la variabilité génétique et environnementale de leur expression, permettant de considérer la morphologie de l'arbre comme un objectif concevable dans un programme d'amélioration. La densité florale et la floribondité dépendent du génotype et des conditions climatiques. Les caractéristiques florifères dépendent des supports de fructification, une fructification équilibrée sur les rameaux de l'année et les bouquets de mai étant la plus adéquate pour une entrée en production rapide et pour l'augmentation de la surface productive. La variabilité génotypique et environnementale de la nouaison préconise une sélection indirecte pour ce caractère, en sélectionnant pour d'autres caractères, comme la densité florale, la qualité de la fleur et l'autogamie, due à l'irrégularité de la nouaison qui s'est montrée indépendante de la morphologie florale.

La réponse des génotypes aux gelées dans les conditions du champ et du laboratoire a confirmé l'existence de sources de tolérance aux gelées. L'incorporation de méthodes d'évaluation comme la fluorescence de la chlorophylle, la détermination des composés biochimiques des bourgeons floraux et le suivi de leur évolution, permettraient d'accroître les possibilités de sélectionner du nouveau matériel végétal tolérant aux gelées.

Les caractères du fruit et de l'amandon présentent une grande variabilité génétique et se trouvent influencés par les supports de fructification, les fruits issus des bouquets de mai présentant une taille légèrement inférieure à ceux provenant des rameaux de l'année, malgré que la forme reste similaire entre les deux types de fructification. Les composantes chimiques de l'amandon dépendent surtout du génotype, à l'exception des tocophérols qui se trouvent très influencés par les conditions climatiques, surtout les hautes températures. La capacité anti-radicalaire du tégument permet de considérer sa capacité de maintenir la qualité de l'amandon. Les analyses multidimensionnelles entre les parents et leurs descendants ont permis de détecter les similitudes des caractères physico-chimiques de l'amandon dans la population étudiée et ont confirmé la nécessité de choix des parents en fonction des objectifs à atteindre.

On a considéré pour la première fois les composantes chimiques de l'amandon comme des critères de sélection, promettant de nouveaux horizons pour l'amélioration de la qualité de l'amandon en considérant ses différentes utilisations. L'absence de corrélations significatives entre les composantes chimiques et les caractéristiques physiques de la noix indique la possibilité d'entreprendre l'amélioration pour la composition chimique de l'amandon sans altérer les progrès réalisés en matière de qualité physique.

La comparaison de l'autopollinisation et de la pollinisation croisée a montré qu'après l'autopollinisation la croissance des tubes polliniques, la nouaison et les caractères physico-chimiques de l'amandon présentent des valeurs inférieures à ceux de la pollinisation croisée, mettant en évidence un possible effet dépressif de l'autopollinisation sur l'expression de ces caractères. Cela peut indiquer que les sélections autogames peuvent présenter un possible effet dépressif de la consanguinité sur leurs possibilités productives, chose dont il faut tenir compte pendant leur évaluation et pour le choix des parents.

Les corrélations phénotypiques détectées entre les caractères d'intérêt agronomique, commercial et industriel, permettront de réaliser une sélection simultanée d'un groupe de caractères liés, réduisant le coût et le temps de leur évaluation, et en même temps facilitant la fixation des objectifs pour chaque groupe de caractères liés afin d'augmenter l'efficacité du processus d'amélioration.

Finalement, l'application de tous ces aspects ainsi que des critères de sélection, a permis d'identifier trois sélections comme des futures variétés grâce à leurs qualités agronomiques et aux possibilités qu'elles offrent pour les secteurs commercial et industriel et finalement pour le consommateur.

Capítulo 1. Introducción general

1. INTRODUCCION GENERAL

1.1 ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL ALMENDRO

El almendro es una especie de la familia Rosaceae, género *Prunus* (Linnaeus, 1735), subgénero *Amygdalus* (Spach, 1843), grupo *Amygdalus*, especie *Prunus amygdalus* Batsch (Batsch, 1801), siendo sinónimos *Amygdalus communis* L., *Amygdalus dulcis* Mill., *Prunus communis* (L.) Archang. y *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb (Socias i Company, 1998).

Esta especie es originaria de las regiones montañosas de Asia Central (Ladizinsky, 1999), donde se encuentran varias especies silvestres (Grasselly, 1976), lo que ha originado un controvertido debate sobre su origen. Algunos autores (Grasselly, 1976, Kester et al., 1991), desde un punto de vista más agronómico, consideran que las especies *P. fenzliana* Fritsch, *P. bucharica* (Korsh.) Hand.-Mazz. y *P. kuramica* (Korsh.) Kitam. pudieran ser las especies ancestrales del almendro, mientras que Ladizinsky (1999) supone que el almendro procede sólo de *P. fenzliana*. La convivencia de *P. amygdalus* y *P. webbii* en algunas zonas del Mediterráneo indica la posibilidad de la intervención de *P. webbii* en la evolución del almendro, al menos de algunas de sus formas, como parece indicar la presencia de alelos comunes entre estas dos especies, evidenciada en el estudio sobre los alelos de la autoincompatibilidad (Sánchez y Oliveira, 2005).

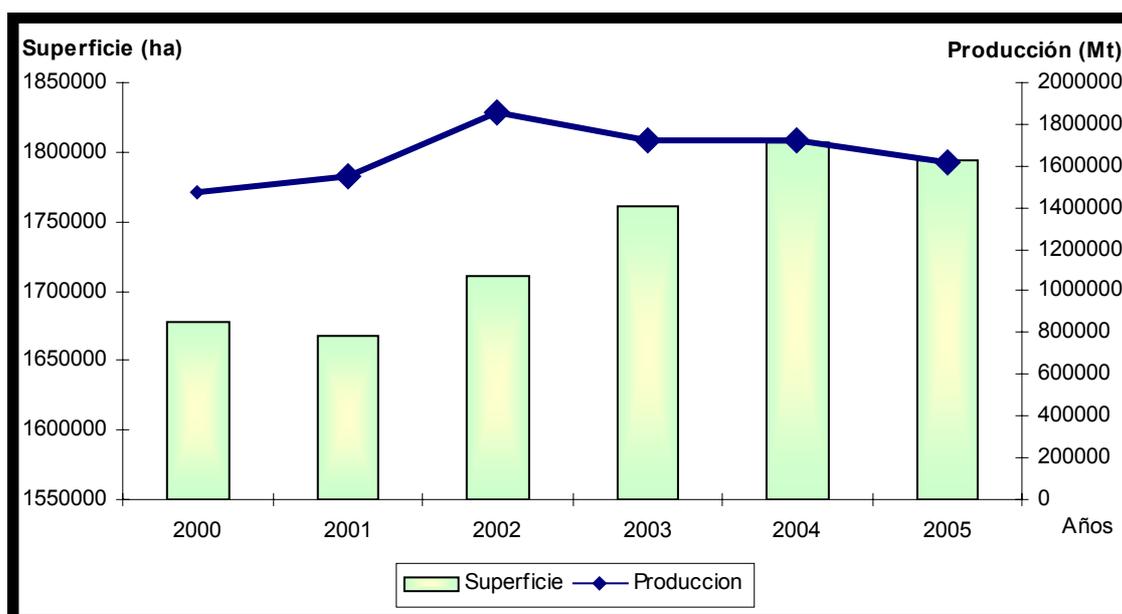
La proximidad de los primeros centros de civilización a las regiones originales del almendro permitió su adaptación temprana por el hombre. La semilla, además de ser la parte comercial fue su modo de propagación desde su zona de origen a otras regiones, como Persia, Mesopotamia y China, siguiendo las rutas de las caravanas comerciales (Kester et al, 1990). Se piensa que la introducción en España se debe a los fenicios o a los griegos, al mismo tiempo que en todos los países del mediterráneo (Cerdá Juan, 1973), siguiendo durante el siglo I a través de los Pirineos (Grasselly, 1976) y posteriormente por el norte de África. En los países del Norte de África (Marruecos, Túnez...) se piensa que se introdujo por los cartagineses entre los siglos V y IV AC (El Khatib-Boujibar, 1983) y por los árabes en los siglos VI y VII (Kester et al, 1991).

La evolución en la cuenca mediterránea ha sido lenta, tanto por la acción de la selección natural (condiciones climáticas adversas) como por la selección humana, propagándose por semilla hasta el siglo pasado. La actuación conjunta de los dos tipos de selección ha favorecido probablemente la heterozigosis y la alogamia entre los ecotipos del almendro (Grasselly, 1976).

1.2 EL CULTIVO DEL ALMENDRO

1.2.1 EN EL MUNDO

El almendro está adaptado a las zonas con inviernos suaves y veranos secos, característicos del clima mediterráneo, por lo que actualmente se encuentra especialmente plantado en la cuenca de este mar, California, Chile, sur de Australia y algunas partes de Irán. La mayor superficie plantada a nivel mundial se encuentra en la cuenca mediterránea con más del 60% (FAO, 2005). España es el país del mundo con la mayor superficie cultivada (611.920 ha, 34 % del total mundial), seguido por Túnez en segundo lugar (350.000 ha, 19%) y por EEUU (220.000 ha, 12 %) (FAO, 2005). La evolución de la superficie cultivada en el mundo registró un continuo aumento en los últimos años (Fig 1.1) para alcanzar 1.794.205 ha en el año 2004 (FAO, 2005).



(Fuente FAO, 2005)

Fig 1.1. Evolución de la superficie y de la producción mundial durante los últimos 5 años.

Hasta los años 1960 la región mediterránea fue la principal productora mundial de almendra. Actualmente, no obstante, esta zona se ha desplazado al segundo lugar, después de EEUU, que produce casi el 30% de la producción mundial de almendra en cáscara, con una media para los últimos 4 años (2002-2005) de 752.985 t de almendra en cáscara (FAO, 2005). En los últimos años la producción en California, casi la única región productiva de EEUU, se ha situado entre 303.000 y 426.000 t de almendra en grano, con una media de 313.000 t entre 1998 y 2003, lo que representa más

del 70% de la producción mundial. España es el segundo país productor a nivel mundial con una producción del orden de 204.500 t de almendra en cáscara (FAO, 2005). Otros productores importantes de la cuenca mediterránea son Italia (7% de la producción mundial), Marruecos y Siria con un 5% y otros con menos del 5% como Grecia, Túnez, Turquía, Argelia, Libia y Francia.

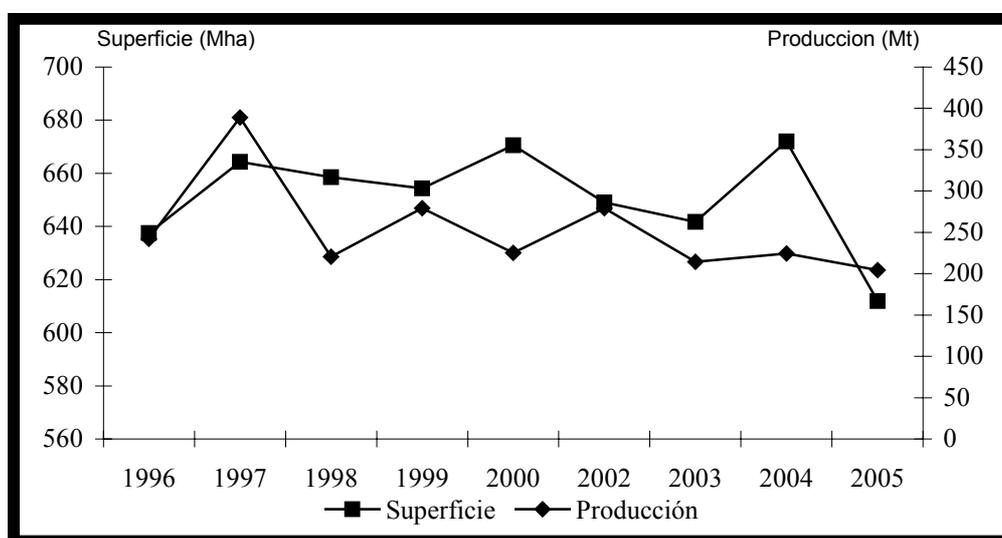
El predominio de la producción de EEUU se debe principalmente a las modernas plantaciones de almendro que han ido aumentando desde los años sesenta. Estas plantaciones, generalmente de gran tamaño, se caracterizan por un sistema intensivo marcado por la plantación de un reducido número de variedades, muy adaptadas al medio y que presentan unas características comunes, como coincidencia en la fecha de floración y frutos de cáscara blanda, similares a 'Nonpareil', adaptados a su maquinaria y equipamiento industrial. Entre las variedades más cultivadas destacan 'NonPareil' (38% de la superficie plantada), 'Carmel' (18%), 'Butte' (11%), 'Monterrey' (5%) y 'Mission' (4%) (Almond Board of California, 2003).

1.2.2 EN ESPAÑA

La situación actual del cultivo del almendro está muy bien descrita por Felipe (2000), quien expone que, en términos agronómicos, el almendro se ha considerado un cultivo marginal destinado a zonas y situaciones marginales, con pocos cuidados culturales y en muchas ocasiones aplicados con criterios erróneos. Más del 94% de la superficie de almendro es en secano (MAPA, 2004). En muchas zonas se considera al almendro como una especie colonizadora por su rusticidad, por lo que ocupa los peores terrenos de las explotaciones de secano. Además se le considera un cultivo complementario o secundario. Ello complica todavía más la situación del cultivo por varias razones:

- Diseño defectuoso de las plantaciones, especialmente en lo que respecta a la polinización. En la mayoría de las explotaciones la falta de coincidencia en la floración de variedades polinizadoras y productoras causa pérdidas importantes de producción.
- La mayoría de los agricultores plantan variedades sin tener en cuenta las necesidades de cada una en cuanto a las condiciones climáticas (satisfacción de horas frío, riesgo de heladas, tolerancia a la sequía, etc.). Ello se traduce generalmente en una pérdida importante de cosecha y una irregularidad interanual de la producción.
- Poca o nula prestación de cuidados mínimos, debido a la inseguridad de la producción.

España es el primer país del mundo en cuanto a la superficie plantada (611.920 ha), con una producción del orden de 204.500 t. La evolución de la superficie del almendro en España se caracteriza por una gran variabilidad de un año a otro con una clara tendencia a la baja desde el año 2000 (Fig 1.2). Efectivamente, la superficie plantada en el año 2003 fue de 2.394 ha frente a una superficie arrancada de 10.204 ha (MAPA, 2004), lo que refleja una situación de abandono de las parcelas menos productivas, ya que la evolución de la producción durante los últimos 10 años se caracterizó por una marcada estabilidad interanual, con valores que no superan las 300.000 t almendra en cáscara (Fig 1.2). Estas bajas producciones se deben en parte a la sequía, pero esencialmente al predominio de variedades de floración temprana y por ello sensibles a las heladas primaverales (Felipe, 2000).



(Fuente. FAO, 2005)

Fig 1.2. Evolución de la superficie plantada y la producción en España en los años 1996-2005.

Aunque España es el segundo productor mundial de almendra, también es el primer importador, una situación paradójica debido a que estas importaciones se destinan nuevamente a la exportación después de transformación y industrialización, por lo que España es el segundo exportador mundial de almendra (43.000 t en pepita) (FAO, 2005). Entre el 30 y 50% de la producción española se destina a los mercados exteriores, siendo el mercado comunitario su mayor destino. En el ámbito nacional, la industria, especialmente la fabricación de turrón y mazapán, absorbe casi la mitad de la producción. La industria española se basa esencialmente en dos tipos de almendra: 'Marcona', muy apreciada en la elaboración de turrones, y 'Desmayo Largueta', destinada a la elaboración de peladillas, repostería y para tostado. Estas variedades presentan una gran aceptación por los consumidores en cada uno de sus destinos industriales (Romero et al., 2002).

En España, como en los países mediterráneos, los sistemas de producción son tradicionales y se caracterizan por unos rendimientos bajos, del orden de 100-350 kg/ha de almendra en grano. En los últimos años se han realizado plantaciones modernas, intensivas y dotadas de riego. Actualmente, la superficie productiva en regadío es del orden del 6% del total, pero su productividad (1200-1400 kg/ha) es unas 10 veces mayor que la de secano. Ello pone de manifiesto el gran potencial productivo de España si se emprende una reconversión adecuada en el sector productivo.

En cuanto a las variedades más comercializadas en España, destacan 'Marcona' y 'Desmayo Largueta', que se caracterizan por una cáscara dura. Las variedades con este tipo de cáscara tienen un rendimiento en pepita del orden de 22 al 32%. El predominio de este tipo de variedades en España ha producido la adaptación del sector industrial al descascarado de este tipo de cáscara, todo lo contrario a California, adaptado al descascarado de almendras de cáscara blanda, tipo 'Nonpareil'. Ello influyó en los objetivos de los programas de mejora en España, que optaron por variedades de cáscara dura.

Las variedades procedentes de programas de mejora, como 'Masbovera', 'Glorieta' y 'Francoli' del IRTA, 'Antoñeta' y 'Marta' del CEBAS-CISIC, y 'Guara', 'Blanquerna' y 'Felisia' del CITA de Zaragoza, están adquiriendo difusión nacional. 'Guara' ha recibido una especial atención por parte de los agricultores por su floración tardía, autogamia y potencial productivo, así como por la industria por sus buenas cualidades en algunos procesos industriales. Actualmente, en el ámbito nacional esta variedad representa más del 53% de las nuevas plantaciones (MAPA, 2002).

En cuanto a la distribución y la producción de la almendra por comunidades autónomas, destaca la expansión del cultivo a zonas del interior del país (Aragón, Castilla-La Mancha) (Cuadro 1.1), caracterizadas por un elevado riesgo de heladas que en la mayoría de los casos se traduce en una gran fluctuación en la producción (Fig 1.2). En Aragón, este cultivo adquiere una importancia cada vez mayor gracias a los esfuerzos del equipo de mejora de la Unidad de Fruticultura del CITA en la creación de nuevas variedades (productivas y de floración tardía) y de patrones (vigorosos, resistentes a la clorosis férrica, a la sequía y al encharcamiento) adaptados a las condiciones edafo-climáticas de las distintas zonas productivas aragonesas y a los sistemas de regadío de los agricultores, todo ello acompañado por los esfuerzos divulgativos del Centro de Técnicas Agrarias. Actualmente la superficie plantada es de unas 74.225 ha, aunque sólo el 2,5% en regadío. Esta superficie presenta una tendencia ascendente (Cuadro 1.2). La provincia de Zaragoza presenta más de 38.882 ha, seguida por Teruel con 22.183 ha y Huesca con 13.160 ha. En cuanto a la producción, se observa una disminución

importante en los años 2003 y 2004, que se caracterizaron por unas heladas generalizadas en todas las regiones de Aragón.

Cuadro 1.1. Superficie y producción de almendra de las principales comunidades autónomas en los años 1997, 2001 y 2003.

C, Autónoma	1997		2001		2003	
	Superficie (ha)	Producción (t)	Superficie	Producción	Superficie	Producción
Aragón	64,770	79,007	75,433	31,148	74,225	35,076
Cataluña	51,051	39,160	66,661	21,183	61,726	35,658
Baleares	32,222	13,466	62,663	13,287	62,632	14,618
Castilla-la Mancha	36,562	24,356	43,001	19,089	47,291	14,455
Valencia	71,069	76,207	119,262	65,310	113,622	56,705
Murcia	65,397	35,208	77,068	65,310	74,006	39,624
Andalucía	103,358	102,999	195,140	64,356	189,170	72,500

(Fuente. MAPA, 2005).

Cuadro 1.2. Superficie y producción de almendra en las provincias de Aragón en los años 1997, 2001 y 2003.

Provincia	1999		2001		2003		2004*	
	Superficie (ha)	Producción (t)	Sup	Prod	Sup	Prod	Sup	Prod
Zaragoza	35,645	13,425	40,010	14,175	38,882	15,139	38,882	5,900
Teruel	16,062	12,237	21,361	7,972	22,183	2,929	22,183	1,600
Huesca	14,359	9,414	14,062	9,051	13,160	12,328	13,160	3,900
Aragón	66,066	35,076	75,433	31,198	74,225	30,396	74,225	11,400

(Fuente. MAPA., 2005)

*Los datos del 2004 son provisionales.

La producción de almendra en Aragón presenta una gran fluctuación interanual (Cuadro 1.2), que se debe, además de los factores ya citados, a las condiciones climáticas adversas, esencialmente las heladas, en la mayoría de las zonas aragonesas, y a la presencia de una notable superficie no productiva que corresponde a las nuevas plantaciones o plantaciones en reconversión. Es de destacar el aumento de la superficie ocupada por las variedades creadas en el CITA de Zaragoza, como 'Guara', que se presenta como una buena alternativa a las variedades comúnmente plantadas en Aragón ('Marcona', 'Desmayo Largueta' y las comunes) por su floración tardía y su buen comportamiento frente a las heladas que le permite esquivar los períodos con alta frecuencia de heladas y por consiguiente asegurar un aumento y una regularidad de la producción.

1.3 PROGRAMAS DE MEJORA GENÉTICA DEL ALMENDRO

Los pioneros en emprender el estudio del almendro fueron los **estadounidenses** en 1923 (Kester y Gradziel 1998), con el fin de evaluar y caracterizar las distintas variedades de almendro, llegando a la identificación de las primeras variedades americanas: 'Nonpareil', 'Ne Plus Ultra', 'Mission', 'Drake', 'I.X.L.' y 'Peerless'.

En 1948, se inició un programa de mejora genética en la Universidad de California en Davis que tenía como objetivos:

- Obtención de nuevas variedades de floración tardía, inter-compatibles con 'Nonpareil', productivas y con características del fruto parecidas a las de 'Nonpareil'.
- Estudio de la genética de algunos caracteres agronómicos y de algunos problemas fisiológicos característicos de las variedades californianas (bud failure).
- Estudio de la resistencia a plagas y enfermedades.

En este programa se ha avanzado en el conocimiento del modo de transmisión de algunos caracteres (Kester et al., 1977a), en la posibilidad de introgresión de caracteres como la auto-compatibilidad de especies cercanas, como el melocotonero, en el estudio de las razones de las bajas producciones registradas en el pasado, en el de algunos procesos fisiológicos propios de la variedad 'Nonpareil', y en la obtención de nuevas variedades de interés agronómico (Kester et al., 1984). Actualmente este programa se ha orientado principalmente a la obtención de nuevas variedades de alto nivel agronómico, polinizadoras de 'Nonpareil' y resistentes a plagas y enfermedades importantes en California, como *Aspergillus flavus* Link. (Gradziel y Wang, 1994).

Por otra parte se estudiaron las características químicas de la pepita, principalmente de 'Nonpareil' (Hall et al., 1958; Velasco et al., 1965) y posteriormente la variabilidad de estos componentes en algunas variedades (Kester et al., 1993; Abdallah et al., 1998).

En Europa, la antigua **Unión Soviética (URSS)** inició el mayor programa de mejora en Yalta (península de Crimea, actualmente Ucrania). En 1925, el Jardín Botánico Nikitskij contaba con una colección de 12 variedades, que se fue incrementando con otras especies y formas de almendro de forma sistemática desde 1930 (Rikhter, 1972). Los objetivos principales de este programa fueron la

selección de nuevas variedades de floración tardía y resistentes a las bajas temperaturas. Fruto de dicho programa fueron algunas variedades, de las cuales destacan 'Primorskij' y 'Yaltinskij' (Denisov, 1988).

En Francia se inició un ambicioso programa en 1960 después de la implantación de una colección de almendro en Burdeos en 1951, con la idea de mejorar la productividad del cultivo en este país. Entre 1951 y 1961 se estableció una colección de más de 400 variedades autóctonas y extranjeras que constituyeron la base de la variabilidad genética del dicho programa. Sus objetivos principales eran floración tardía, alta producción y buena calidad del fruto (Grasselly, 1972).

Al mismo tiempo se realizaron varios estudios químicos de la pepita para determinar sus componentes beneficiosos para la salud (Girard et al., 1961), su variabilidad (Souty et al., 1971) y el mejor uso comercial de cada variedad según su composición (Berger, 1969; Hôtellier y Delaveau, 1972). No obstante, en ningún momento se incorporó como objetivo la mejora de la calidad, debido probablemente a que entonces el mayor problema era la baja productividad (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Fruto de este programa fueron dos nuevas variedades, 'Ferraduel' y 'Ferragnès' (Grasselly, 1975), que han experimentado una gran difusión en la mayoría de los países mediterráneos.

La transmisión de la floración tardía (Kester, 1965b) y el descubrimiento de la auto-compatibilidad en algunos genotipos italianos (Jaouani, 1973; Grasselly y Olivier, 1976) y su transmisión a la descendencia por cruzamientos intervarietales (Socias i Company y Felipe, 1977), condujo a la incorporación como objetivo la obtención de variedades de floración tardía y autocompatibles (Grasselly, 1978). Después de los cruzamientos con distintas variedades autocompatibles, como 'Tuono' y 'Filippo Ceo' (Grasselly y Olivier, 1984), se seleccionaron las variedades 'Lauranne' y 'Steliette' (Grasselly, 1992), y posteriormente 'Mandaline', auto-compatible y de floración tardía, del cruzamiento 'Ferralise' x 'Tuono' (Duval, 1999). Actualmente este programa se encuentra sin actividad por considerarse el almendro de menor interés comercial (Duval, com. per), ya que la contribución de Francia a la producción mundial no supera el 1% (FAO, 2005).

En Italia se iniciaron dos programas de selección y mejora, uno en 1957 en el Istituto Sperimentale Agronomico di Bari, y otro en 1970 en el Istituto Sperimentale per la Frutticoltura di Roma (Monastra et al., 1985). Este último tuvo como objetivo la selección clonal de las poblaciones locales de Apulia (sur de Italia) y de Sicilia y la obtención de nuevas variedades de floración tardía, alto rendimiento,

resistencia a enfermedades, fruto de alta calidad y sin pepitas dobles. Los parentales utilizados en los cruzamientos de dicho programa fueron las típicas variedades italianas ('Tuono', 'Filippo Ceo' y 'Genco') y las variedades americanas 'Ne Plus Ultra', 'Texas' y, principalmente, 'Nonpareil'. Los estudios que acompañaron el inicio de estos programas se orientaron hacia las características químicas de la pepita (Antongazzi, 1978; Dugo et al., 1979), al uso de cada variedad según su composición (Alessandroni, 1984; Cotta Ramusino et al., 1961) y a los factores que determinan su resistencia a las reacciones oxidativas (Rizzolo et al, 1994; Zacheo et al., 1998 y 2000).

La aparición de formas autocompatibles en el sur de Italia (Godini, 1977) impulsó a los investigadores italianos a iniciar importantes programas de prospección en la región de la Apulia para identificar los genotipos autofértiles y estudiar su capacidad productiva y las características de sus frutos (Godini, 1984b; Reina et al., 1985). Así mismo, se aplicaron nuevas tecnologías para crear nuevo material vegetal por mutagénesis y se consiguió seleccionar la variedad autocompatible 'Supernova' por irradiación ionizante de 'Fascionello' (Monastra et al., 1988). Actualmente este programa se ha orientado hacia los estudios del comportamiento de las variedades de Apulia y de la adaptación de algunas nuevas variedades obtenidas en otros programas europeos (Godini et al., 2001).

En España se partió de la identificación de las causas de la escasa productividad del almendro, debidas no sólo a los problemas relacionados con la ubicación del cultivo en zonas marginales, sino también a la falta de conocimientos de las características y exigencias del material vegetal por parte de los agricultores, por lo que en la misma plantación se pueden encontrar varias variedades que en la mayoría de los casos no coinciden en floración, resultando en una polinización inadecuada y por consiguiente en una escasa producción. Ante esta situación las pérdidas de cosecha pueden ser de tal magnitud que lleguen a anularla (Felipe, 1988).

El estudio del almendro se inició en 1966 en el entonces CIDADE de Zaragoza, actualmente CITA de Aragón. A raíz de estos estudios se inició un programa de mejora del almendro con el objetivo principal de seleccionar variedades autocompatibles, de floración tardía y de buenas características del fruto (Felipe y Socias i Company, 1985), así como otro de creación de nuevos patrones del género *Prunus* para el almendro (Felipe, 2002). Los resultados de estos programas se han completado con la asistencia técnica al sector en colaboración con el Centro de Técnicas Agrarias.

En este programa se seleccionaron nuevas variedades, en primer lugar 'Aylés', 'Guara' y 'Moncayo' (Felipe y Socias i Company, 1987) y posteriormente 'Blanquerna', 'Cambra' y 'Felisia' (Socias i

Company y Felipe, 1999). Sin embargo, este programa sigue creando nuevo material vegetal con el objetivo de seleccionar nuevas variedades que cubran mayores requisitos, tanto desde el punto de vista productivo, como comercial e industrial (Socias i Company et al., 1998). Muy recientemente se han registrado las nuevas variedades 'Belona' y 'Soleta' (Socias i Company y Felipe, 2006). También se han seleccionado nuevos patrones que presentan buen vigor, resistencia a nematodos y buena tolerancia a la sequía y a la asfixia radicular (Felipe, 2002).

Junto con este programa de mejora se han llevado a cabo diversos estudios sobre la transmisión de algunos caracteres como la autocompatibilidad (Socias i Company, 1984), la floración tardía (Socias i Company et al., 1999b) y las características del fruto (Arteaga y Socias i Company, 2002), que han contribuido considerablemente al conocimiento de la especie.

En España se han desarrollado otros dos programas de mejora, en el Centre Agropecuari Mas Bové (IRTA, Reus) y en el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC, Murcia). Los objetivos del programa del IRTA han sido la selección de nuevas variedades de floración tardía, poca ramificación y de buenas características del fruto (Vargas y Romero, 1985), con la obtención de 'Francolí', 'Masbovera' y 'Glorieta' (Vargas y Romero, 1994). En cuanto al programa del CEBAS, los objetivos perseguidos eran el mantenimiento de las buenas características de los materiales autóctonos (productividad, calidad del fruto...) y la incorporación de la autocompatibilidad y la floración tardía (García et al., 1985), resultando en la obtención de las variedades 'Antoñeta' y 'Marta' (Egea et al., 2000). También se han realizado varios estudios sobre la composición química de la pepita de las variedades españolas y de algunas extranjeras (Romojaro et al., 1977; Grané-Teruel et al., 2001), pero sin emprender ningún estudio sobre la heredabilidad de estos caracteres.

En **Australia** se inició recientemente (1997) un programa de mejora para la obtención de nuevas variedades productivas, autocompatibles y adaptadas a las condiciones australianas (Sedgley y Collins, 2002). En otros países del mediterráneo, como **Túnez** (Jraidi y Nefzi, 1988), **Turquía** (Dokuzoguz y Gülcan, 1973), **Grecia** (Stylianidis, 1977) e **Israel** (Spiegel-Roy y Kochba; 1974; 1977), se iniciaron programas de mejora con objetivos distintos según las necesidades propias de cada país.

1.4 CARACTERES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN

En comparación con otras especies como el melocotonero (Monet et al., 1996), en el almendro se han estudiado pocos caracteres de interés agronómico (Socias i Company, 1998). Esta situación se

debe probablemente a la falta de atención a algunos caracteres que no presenten gran interés para el seleccionador, así como a la ausencia de estos caracteres en las descendencias obtenidas en los programas de mejora, ya que la mayoría de estos programas han utilizado variedades de la misma procedencia: italianas, californianas o de algunos de sus descendientes.

La multiplicación del almendro por semillas procedentes de polinización libre contribuyó a aumentar la heterogeneidad de los caracteres morfológicos de esta especie. La expansión de su cultivo a distintas zonas eco-climáticas, le permitió desarrollar varios mecanismos de adaptación, asegurando su supervivencia. Este proceso, condicionado por la heterosis propia de la especie, ha permitido, con el paso del tiempo, la aparición de distintos ecotipos aislados en el espacio y propios de cada zona geográfica. Obviamente, la presión de selección (humana y natural) que ha sufrido esta especie ha restringido la gran variabilidad y heterogeneidad de los caracteres morfológicos. No obstante, el almendro sigue presentando una gran heterogeneidad (Socias i Company y Felipe, 1992) y la diversificación genética se ha mantenido en los bancos de germplasma, con genotipos procedentes de distintas zonas ecológicas y con las nuevas obtenciones.

1.4.1 CARACTERES MORFOLÓGICOS DEL ÁRBOL

Los caracteres morfológicos del árbol presentan una importancia primordial tanto desde el punto de vista agronómico como comercial. Se observa una considerable variabilidad en cuanto al vigor, el porte y el tipo de soportes de fructificación, que en su conjunto definen la estructura típica de cada cultivar. El vigor de una planta se determina por el diámetro del tronco y varía en función de la variedad, pero también depende en gran medida del patrón y de las técnicas de cultivo (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). El porte natural de una planta viene determinado por el ángulo de inserción de los ramos, el vigor y el peso de cosecha (Felipe, 2000). En el almendro, este carácter varía desde caedizo hasta muy erecto (Gülcan, 1985).

Las variedades del almendro pueden presentar distintos tipos de ramificación. Unas tienen crecimientos largos y apenas ramificados, como 'Cristomorto', mientras que otras tienen ramificaciones muy abundantes y crecimientos anuales más cortos, como 'Marcona'. Este carácter es variable y característico de cada variedad, por lo que este carácter se ha tenido en cuenta en los programas de mejora, buscando variedades con poca ramificación para reducir los costes de poda (Socias i Company et al., 1988). Los estudios sobre la transmisión de este carácter permitieron concluir que está bajo control poligénico (Grasselly, 1972), con una heredabilidad relativamente alta (Kester y Asay, 1975). En

su conjunto, los caracteres morfológicos del almendro son complejos (Grasselly, 1972) y difíciles de cuantificar, tanto por las dificultades que se presentan en el momento de su evaluación como por el reducido número de individuos obtenidos en los cruzamientos (Socias i Company, 1998).

Las características de las hojas son consideradas propias de cada variedad (Grasselly, 1972). En general son de tipo lanceolado, largas, estrechas y puntiagudas, aunque algunas variedades tienen hojas más bien anchas (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). La densidad foliar de un árbol viene determinada por el hábito vegetativo de la variedad, el tamaño de la hoja y su disposición en el ramo (Felipe, 2000). Este carácter depende de la variedad y en la misma variedad varía según el porte, el tamaño del árbol y la distribución de las hojas en el árbol (Kester y Gradziel, 1996).

1.4.2 CARACTERES RELACIONADOS A LA BIOLOGÍA FLORAL Y EL SISTEMA REPRODUCTIVO

1.4.2.1 Inducción y diferenciación floral

La regularidad de la producción de una planta depende de la formación anual de un número adecuado y regular de yemas florales. Este proceso comienza con la inducción floral, momento en que se producen cambios fisiológicos en una yema vegetativa. Este proceso condiciona la transformación de las yemas vegetativas en yemas florales y se materializa en cambios morfológicos que conducen a la aparición de primordios florales, lo que se denomina diferenciación floral (Felipe, 2000).

Durante este período, las posibles anomalías como el estrés hídrico, la caída o quemadura de hojas por un estrés biótico o una excesiva aplicación de producto fitosanitarios (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980), etc., pueden perjudicar gravemente a la formación de yemas y a la producción del año siguiente. En el almendro la densidad floral se considera una característica varietal (Socias i Company, 1988a), lo que permite seleccionar para este carácter en un programa de mejora. La importancia agronómica de este carácter se debe a su posible correlación con la intensidad de producción (Socias i Company et al., 1998b). Es un carácter poligénico, con una heredabilidad estimada de 0,30 (Sarvisé y Socias i Company, 2005).

1.4.2.2 El proceso de la floración

En el almendro, como en todas las Rosaceae, la floración es la fase vital del desarrollo, ya que de su desarrollo normal depende la producción y la continuidad de la especie. Este proceso consiste en la apertura del conjunto de las flores del árbol (Felipe, 2000).

En la mayoría de los frutales la época de floración se transmite de forma cuantitativa (Anderson y Seeley, 1993). En el almendro, su determinismo genético y modo de transmisión dependen de los parentales, considerándose que está bajo control poligénico (Kester, 1965b), con una heredabilidad entre 0,80 (Kester et al., 1973) y 0,67 (Dicenta et al., 1993a). Sin embargo, Kester (1965b) observó una distribución bimodal de la época de la floración en algunas descendencias de la variedad de floración tardía 'Tardy Nonpareil', lo que llevó a sugerir que en esta descendencia la fecha de floración estaba bajo el control de un gen dominante, como también observó Grasselly (1978) con el mismo parental. Recientemente, Socias i Company et al. (1999b) han confirmado la transmisión de este alelo de floración tardía denominado 'Lb' en las descendencias derivadas de 'Tardy Nonpareil', alelo que posteriormente ha sido localizado en el mapa genético de esta especie (Ballester et al., 1998).

1.4.2.3 El sistema reproductivo

Unas horas después de su apertura, las flores ya se encuentran en antesis, aptas para su polinización (Felipe, 2000). El almendro, como la mayoría de las Rosáceas, es una especie hermafrodita de polinización básicamente entomófila (Wyatt, 1983). Para que tenga lugar el cuajado, es imprescindible que los procesos de polinización y fecundación transcurran en las mejores condiciones. La fase comprendida entre la polinización y la fecundación se denomina fase progámica (Linskens, 1986) y está condicionada por varios factores extrínsecos e intrínsecos.

1.4.2.3.1 Anatomía y calidad de la flor

La flor es el órgano del árbol que contiene las estructuras necesarias para la reproducción sexual. La flor en el almendro, al igual que en las especies del género *Prunus*, es bisexual (Wyatt, 1983). La parte masculina está constituida por los estambres en número variable, formados por el filamento y la antera, en la que se forma el polen. La parte femenina de la flor es el pistilo, que es único y que al igual que en las flores del género *Prunus* (Raff et al., 1981) consta de:

- El estigma, de tipo húmedo, situado en la parte superior del estilo formando una especie de expansión de superficie irregular y que consta de papilas turgentes,
- El estilo, que limita en su parte superior con el estigma y contiene un tejido transmisor de tipo compacto y de longitud variable. Puede presentar una curvatura en su parte superior que a veces se endereza después de abrir la flor.

- El ovario, que se encuentra en la parte inferior del pistilo, unicarpelar con dos óvulos colocados cada uno sobre un margen carpelar (Esau, 1967).

Para que tenga lugar la fecundación es necesario que la flor sea fértil y que el polen llegue al ovario. Tiene lugar una caída de flores, independientemente de la ocurrencia y antes de que pueda atribuirse a falta de fecundación, debida a la esterilidad del ovario que se encuentra atrofiado (Dhatt y Dihillon, 1981). Otra anomalía del sistema reproductivo es la androesterilidad de la variedad 'Rof' (Vargas y Romero, 1978), cuyo determinismo genético se desconoce, aunque parece que se debe más bien a un desorden fisiológico que a causas genéticas (Alonso y Socias i Company, 2002). Otra característica de la flor, especialmente importante en las selecciones auto-compatibles, es la cercanía entre la superficie del estigma y las anteras para favorecer la autogamia, ya que ésta define la posibilidad de autopolinización sin ninguna intervención externa (Socias i Company y Felipe, 1992).

1.4.2.3.2 La polinización

El almendro, con algunas excepciones, es una especie autoincompatible (Socias i Company, 1977). Por ello, la polinización cruzada es obligatoria para asegurar una cosecha comercialmente satisfactoria, por lo que se aconseja la combinación de dos cultivares intercompatibles que coincidan en la época de floración, además de la presencia de transportadores de polen, fundamentalmente las abejas. La coincidencia de estos factores es difícil debido a los problemas relativos a la sincronización de las floraciones y a la actividad de las abejas.

La actividad de las abejas depende de las condiciones climáticas, sobre todo de la temperatura, el viento y la lluvia. Las abejas desarrollan su mayor actividad cuando las temperaturas ambientales están comprendidas entre 15 y 26°C, y decrece al descender las temperaturas (Bréteaudeau, 1979). Generalmente las abejas no realizan ninguna actividad polinizadora en condiciones de nieblas, de lluvia ni con vientos superiores a 24 Km/h (Tasei, 1975).

Otro factor a tener en cuenta es el período efectivo de polinización, que se define como los días en que el óvulo es viable desde la antesis, menos los días que necesita el tubo polínico para llegar al ovario y realizar la fecundación. Este criterio define los días en que la polinización puede ser efectiva, lo que en el almendro es de 4 a 5 días, según la variedad (Ortega et al., 2004). La importancia agronómica de este carácter se relaciona con el buen transporte de polen y la presencia de las abejas, las condiciones climáticas y el estado nutritivo de la planta.

Una mala planificación de la plantación o una polinización incorrecta causan grandes reducciones de cosecha (Socias i Company et al., 1994), ya que para asegurar un buen nivel de cosecha en el almendro se requiere la polinización del máximo número de flores en cada árbol (Kester y Griggs, 1959). Por ello, la creación de nuevas variedades autocompatibles de almendro (Egea et al., 2000; Felipe y Socias i Company, 1987; Grasselly et al., 1992) ha cambiado totalmente los esquemas de la plantación, permitiendo la creación de plantaciones monovarietales, sobre todo después de comprobar la autogamia de algunas de estas nuevas variedades como 'Guara' (Socias i Company y Felipe, 1992). Con estas variedades se ha aportado una solución a los problemas relacionados con la polinización.

1.4.2.3.3 Autoincompatibilidad y autocompatibilidad en el almendro

A lo largo de su evolución, las plantas superiores han desarrollado varios mecanismos de adaptación o reproducción para garantizar la continuidad de la especie, sin alterar la estructura básica de su genoma. Uno de estos mecanismos es la autoincompatibilidad sexual, que se define como la interacción entre los órganos sexuales masculinos y femeninos de la planta que lleva al rechazo de los granos de polen evitando la fecundación del óvulo (De Nettancourt, 2001). El almendro, con algunas excepciones, es una especie que presenta una autoincompatibilidad prezigótica de tipo gametofítico (Socias i Company, 1977; Socias i Company et al., 1976), en el que la interacción polen-pistilo antes de la fecundación da lugar a una inhibición del crecimiento de los tubos polínicos incompatibles en el pistilo (Godini, 1977; Socias i Company, 1990; Socias i Company et al., 1976). Este sistema se rige por un solo locus, con varios alelos co-dominantes denominados '**S**' (Socias i Company, 1984). La presencia en el grano de polen del alelo *S_i*, no le dejaría crecer en el pistilo de la misma planta o de otra que poseyera el mismo alelo *S_i*.

La mayoría de las variedades tradicionalmente cultivadas en los países productores son autoincompatibles (Socias i Company, 1977). Sin embargo, el hallazgo de variedades autocompatibles en el sur de Italia (Grasselly y Olivier, 1976), promovió la introducción de este carácter en los programas de mejora. Los estudios sobre el comportamiento de estas variedades permitieron concluir que la autocompatibilidad se debía a la presencia del alelo de autocompatibilidad *S_f* que muestra alelismo con el sistema de autocompatibilidad *S_i* (Socias i Company, 1984; 1990). El origen del alelo de la autocompatibilidad del almendro es incierto, con dos hipótesis sobre su aparición.

La primera hipótesis supone que el alelo de la autocompatibilidad procede de una mutación de un alelo *S*. Este tipo de mutación se habría mantenido de manera empírica por los agricultores a lo largo

del tiempo, en particular en la zona de Apulia, gracias a la selección por la productividad y la floración tardía de estas selecciones (Grasselly y Olivier, 1976). La creación de la variedad autocompatible 'Supernova' por la irradiación de las yemas de una variedad autoincompatible (Monastra et al., 1988), apoya la teoría de la aparición de este alelo por mutación.

La segunda hipótesis propone como origen de la autocompatibilidad su transmisión desde *Prunus webbii* al almendro por hibridaciones sucesivas (Godini, 1979), como parece sugerir la coincidencia de la distribución de esta especie con las variedades autocompatibles de almendro (Socias i Company, 1990). La identificación de 16 selecciones auto-compatibles de almendro autóctono en la región india del Himalaya (Kumar y Kumar, 2000), donde esta especie convive con el melocotonero (Kishore y Randhawa, 1993), ha llevado a suponer que el origen de la autocompatibilidad en esta zona podría ser su transmisión desde el melocotonero al almendro (Socias i Company, 2002).

La transmisión de la autocompatibilidad parece ser simple, siguiendo las leyes de Mendel, con el alelo de autocompatibilidad *Sf* dominante sobre el alelo de la autoincompatibilidad *Si* (Dicenta y García, 1993b; Rovira et al., 1998; Socias i Company, 1984), pero la distribución en la descendencia varía según los parentales implicados en el cruzamiento (Socias i Company, 1990). En algunos cruzamientos se han observado desviaciones de las proporciones al nivel fenotípico, como en el cruzamiento 'Ferragnès' × 'Tuono', con un predominio de individuos autocompatibles (Dicenta y García, 1993b; Grasselly y Olivier, 1984; Grasselly et al., 1985; Socias i Company y Felipe, 1994), mientras que en la descendencia de 'Ferralise' × 'Tuono' no se observó un predominio de genotipos autocompatibles, sino una ligera desviación de la proporción 1:1 (Grasselly et al., 1985). Estas diferencias en la transmisión de la autocompatibilidad de 'Tuono' puede deberse a otros factores como la consanguinidad (Alonso y Socias i Company, 2005b) o a la presencia de alelos letales o deletéreos (Socias i Company, 1990), ya que las variedades 'Ferragnès' y 'Ferralise' poseen los mismos alelos *S* y son inter-incompatibles (Grasselly et al., 1985; Socias i Company y Felipe, 1994).

1.4.3 CARACTERES POMOLÓGICOS Y ASPECTOS DE CALIDAD

1.4.3.1 Fruto

A diferencia de otras especie del género *Prunus*, el fruto del almendro es una drupa que no presenta un engrosamiento del mesocarpio en la última fase del desarrollo del fruto que está formado por tres partes: exocarpio, mesocarpio y endocarpio. A la madurez, el mesocarpio se separa longitudinalmente por la sutura ventral, dejando al descubierto el endocarpio. La separación total del

mesocarpio del endocarpio ocurre cuando el fruto alcanza la maduración total (Felipe, 2000; Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980).

El tamaño y la forma de la almendra con cáscara es de gran importancia en el proceso de selección por su correlación con el tamaño y la forma de la pepita (Grasselly, 1972; Kester, 1965a). La forma del fruto y de la pepita presenta un gran rango de variabilidad y va de redondo a largo y se considera una característica varietal (Gülcan, 1985). Su heredabilidad es de 0,41 para el fruto y de 0,31 para la pepita (Arteaga y Socias i Company, 2005). Los caracteres morfológicos del fruto como la presencia de mucrón, de quilla en la sutura de la cáscara, de capas en la cáscara, el tamaño y la presencia de puntuaciones en la superficie de la cáscara, muestran una baja heredabilidad (Arteaga y Socias i Company, 2005), destacando la mayor heredabilidad de la rugosidad de la superficie de la cáscara, y la media a baja heredabilidad de la presencia de doble cáscara. Aunque las dimensiones y el tamaño del fruto están condicionados por la carga del árbol y por las condiciones ambientales durante el desarrollo del fruto (Godini, 2002; Grasselly, 1972), se consideran una característica varietal (Gülcan, 1985). Su transmisión depende de los parentales (Grasselly, 1972), con una heredabilidad del orden de 0,23 (Arteaga y Socias i Company, 2005).

Uno de los caracteres más importantes del fruto es la dureza de la cáscara, debido a su papel en la protección de la pepita (Socias i Company, 1998). Generalmente, la dureza de la cáscara se expresa por el rendimiento en pepita después del descascarado (Kester y Assay, 1975). Según Grasselly (1972), la transmisión de este carácter parece bastante simple, con el carácter cáscara dura dominante sobre cáscara blanda, admitiendo la posibilidad de otros genes modificadores asociados a este gen mayor (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Sin embargo, Kester et al. (1977b) sugirieron que este carácter era cuantitativo, con una heredabilidad de 0,55. Estos resultados han sido confirmados posteriormente (Arteaga y Socias i Company, 2005; Dicenta et al., 1993b; Spiegel-Roy y Kochba, 1981).

1.4.3.2 Pepita

La parte comestible de la almendra es la pepita y sus parámetros físicos definen sus características comerciales (Kester et al., 1980). Por ello, una gran parte de los estudios genéticos se dedicaron a las características físicas de la pepita, ya que su forma, peso medio y tamaño se consideran características varietales (Gülcan, 1985; Felipe, 2000).

El peso de la pepita presenta una heredabilidad estimada en 0,64 (Kester et al., 1977b), que ha sido confirmada posteriormente (Dicenta et al., 1993b; Spiegel-Roy y Kochba, 1981). No obstante, en otros casos se han encontrado valores muy bajos (Arteaga y Socias i Company, 2005). Este carácter presenta una gran variabilidad de un año a otro, especialmente en condiciones de estrés hídrico y de alta carga del árbol (Felipe, 2000; Godini, 2002).

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, 2005; Kester et al., 1977b).

La pepita en el almendro es generalmente única, aunque en algunas variedades se desarrollan pepitas dobles. Su presencia es característica de la variedad y parece depender de las condiciones climáticas (Socias i Company y Felipe, 1994). Las pepitas dobles están siempre deformadas y perjudican la homogeneidad del producto en el momento de su comercialización (Kester y Asay, 1975).

1.4.3.4 Calidad de la pepita

Durante muchos años la calidad de la pepita se ha referido básicamente a criterios físicos (aspecto, tamaño, forma, etc...) y al sabor, sin prestar mucha atención a su composición química y a su posible utilización posterior. Sin embargo, el concepto de calidad está supeditado a cada uno de estos usos y es enormemente complejo porque su determinación no depende sólo de un factor, sino de la combinación de todas sus propiedades físicas, químicas y sensoriales. A esta dificultad hay que añadir el carácter evolutivo de los indicadores de la calidad con el tiempo, dependientes de las apetencias del consumidor teniendo en cuenta la tendencia actual hacia alimentos sanos y que no lleven aditivos sintéticos (Krings y Berger, 2001). Hoy la calidad de un producto deberá reunir el conjunto de los conceptos que definen su calidad comercial, nutricional, industrial y sensorial (Romojaro, 2003).

La calidad comercial: es la que comprende todos los aspectos relacionados con la presentación externa del producto, que en el caso del almendro incluye la forma, el aspecto, el tamaño, el color de la pepita, así como la ausencia de pepitas dobles. Estas características han sido el objetivo principal de la mayoría de los programas de mejora. El interés en estos caracteres se debe, fundamentalmente, a que el mercado mundial sigue basándose en criterios físicos: calibre dentro de la homogeneidad de una muestra, como en 'Nonpareil' y los tipos californianos (Arteaga y Socias i Company, 2005). En España

se ha perseguido la obtención de variedades que se asemejen a las variedades 'Marcona' y 'Desmayo Largueta', con mejores caracteres agronómicos como la autocompatibilidad (García et al., 1996; Socias i Company y Felipe, 2006).

La calidad sensorial: se define como la que determina que un alimento sea o no consumido. Es un concepto muy subjetivo, ya que se refiere a las sensaciones que percibe el consumidor, con aspectos gustativos (amargor, dulzor, etc...), olfativos (aroma) y táctiles (dureza, finura, rugosidad, etc...). En el almendro, algunos de estos caracteres tienen gran importancia para la salud humana y el mercado.

El aspecto y la forma de la pepita son dos caracteres muy apreciados por el consumidor (Socias i Company et al., 1998). La finura de la superficie de la pepita también es de importancia en el momento de comercializar el producto, ya que el consumidor prefiere pepitas con una superficie lisa. Este criterio tiene mucho interés en la industria en el momento de repelar las pepitas, ya que las arrugadas o con surcos profundos presentan problemas en este proceso, por lo que este carácter ha sido tenido en cuenta en los programas de mejora (Kester y Gradziel, 1996). La heredabilidad de este carácter es muy baja, aunque el tipo de surcos presentes en la superficie de la pepita, superficiales o profundos, presentan una heredabilidad alta (Arteaga y Socias i Company, 2002; Kester et al., 1977b).

El sabor de la pepita es un carácter que se ha estudiado profundamente en el almendro y se ha considerado siempre un criterio básico de selección. Su importancia no radica sólo en el aspecto gustativo, sino también en la toxicidad de los componentes amargos de la almendra (Socias i Company, 1998). No obstante, en el sur de Italia, las pepitas amargas son más valoradas que las dulces (Godini et al., 1992), ya que las almendras amargas se utilizan esencialmente para aromatizar la harina de almendras dulces o en algunos productos en los que el sabor amargo es muy apreciado por el consumidor.

La calidad nutricional o alimenticia de un producto está determinada por los nutrientes que aporta y su incidencia en la salud. Ante la complejidad de su determinación, el International Nut Council ha considerado que es oportuno adoptar la composición química media de la pepita como criterio de definición de su calidad y de su valor nutritivo o alimenticio (Quatrucci, 1996). El valor nutritivo de la almendra deriva principalmente de su elevado contenido en lípidos, que constituyen una fuente de calorías que no contribuyen a la formación de colesterol en el cuerpo, debido a su elevado nivel de ácidos grasos insaturados (Kafkas et al., 1995; Saura Calixto et al., 1981), sobre todo de ácidos grasos

mono-insaturados (Sabate y Hook, 1996). También es importante la cantidad elevada de α -tocoferol, la vitamina E, que contiene la almendra (Zacheo et al., 2000). Varios estudios han asociado esta vitamina a la disminución de los riesgos de cáncer y de enfermedades cardiovasculares (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996). La alta composición en macro-elementos minerales de la pepita ofrece una buena fuente de estos elementos esenciales (Souty et al., 1971).

La calidad tecnológica tiene mucho interés por la utilización de la materia prima en la industria, con sus procesos de manipulación y transformación. La pepita se puede consumir de distintas formas: natural o repelada, cruda o tostada, salada o azucarada, aderezada de varias formas y mezclada con otros frutos secos. También se puede transformar para fabricar almendrados, helados, mazapán y turrone, así como para incorporarlas en otros alimentos o para extraer el aceite de la almendra que se utiliza en la industria farmacéutica y cosmética (Schirra, 1997). La definición del mejor uso de cada variedad depende de la composición de la pepita, con las diferentes proporciones de proteínas, materia grasa y azúcar (Berger, 1969).

Durante muchos años, la estabilidad de la calidad del fruto durante el almacenaje se ha relacionado con la dureza de la cáscara (mesocarpio), sin prestar mucha atención a las características químicas del fruto y su papel en la resistencia de la pepita a la oxidación y al deterioro de su calidad. Por ello, en los programas de mejora de los países mediterráneos se prefiere la cáscara dura (Socias i Company, 1998). Sin embargo, la composición química es de importancia capital en la determinación de la estabilidad de la calidad y la resistencia a la oxidación y al deterioro del sabor de la pepita, desde la cosecha hasta la comercialización. El mayor reto del sector industrial es conseguir almendras que conserven sus cualidades durante largos tiempos de almacenaje (Pearce y Samad, 1988).

En el almendro, la oxidación de la pepita produce su enranciamiento (Harris et al., 1972), debido a la reacción de los ácidos grasos insaturados con el oxígeno. La degradación subsiguiente de los ácidos grasos a peróxidos genera la producción de varios compuestos que afectan a la calidad nutricional de la pepita (Guadagni et al., 1978). Esta reacción de enranciamiento depende del nivel de ácidos grasos insaturados, la temperatura, la luz y la presencia de antioxidantes en la pepita (Gou et al., 2000). Para evaluar esta estabilidad, se han propuesto varios índices por determinaciones químicas, térmicas, espectroscópicas y cromatográficas (Berenguer-Navarro et al., 2002). La determinación de los ácidos grasos y de algunos antioxidantes como los tocoferoles, de metales o de enzimas entre los componentes de la pepita puede servir para predecir su resistencia al enranciamiento (Kester et al. 1993; Senesi et al., 1996; Zacheo et al., 2000).

Por otro lado, es importante tener en cuenta el papel que podría jugar el tegumento en la protección de la pepita. La facilidad de enranciamiento de una almendra no sólo es distinta según se almacene con o sin cáscara (Guadagni et al., 1978), sino también si está o no repelada (Rizzolo et al., 1994). La protección que ofrece el tegumento se debe lógicamente a sus características físicas y químicas, y de un modo especial a la naturaleza de su composición. Hay pocas referencias a las propiedades antioxidantes del tegumento, habiendo surgido la atención por este tema por el interés de la industria en conseguir antioxidantes naturales en lugar de antioxidantes sintéticos (Berenguer-Navarro, com. per.).

Los bajos rendimientos del almendro en España, a pesar de ser el segundo productor mundial, son índice de la delicada situación del cultivo, acentuada por la lenta reconversión y modernización del sector, lo que aleja la meta de rentabilizar el cultivo y conseguir rendimientos comparables con los obtenidos en California (EEUU). A pesar de los esfuerzos llevados a cabo en la selección y creación de nuevo material vegetal para superar esta situación y ofrecer nuevas variedades productivas al sector como alternativas a las existentes, no se ha logrado acelerar el cambio esperado en los hábitos de los agricultores en el momento de elegir el material a plantar. Además, prosigue la obtención de nuevo material vegetal porque las variedades obtenidas hasta ahora no reúnen todas las características agronómicas deseables en una variedad ni satisfacen todas las exigencias de la industria.

Reunir todas estas características en una variedad es muy difícil debido básicamente a la heterozigosis y a la alogamia característica de la especie, así como a la complejidad del determinismo genético de los caracteres de interés agronómicos que en su mayoría son poligénicos. La definición de la variedad ideal en el almendro (Socias i Company et al., 1998) enumera las características que deben evaluarse en la búsqueda de una variedad (Cuadro 1.3).

Sin embargo, no es posible pensar que una sola resulte ideal en todas las circunstancias y regiones (Felipe, 2000). Algunos caracteres serían válidos para todas las zonas (buen aspecto del fruto, autogamia, etc...) mientras que otros son interesantes para una zona pero no para otras. En cambio, es llamativa la coincidencia de los tres programas de mejora españoles en la selección de nuevo material vegetal de floración tardía, que generalmente presentan elevadas necesidades en horas frío, difíciles de cumplir en zonas de invierno cálido.

Cuadro 1.3. Características que debe reunir la variedad ideal en el almendro (Socias i Company et al., 1998).

Ideotipo del almendro

Calidad del fruto:

Calidad organoléptica: sabor (sin amargor), composición química, aptitud a las transformaciones industriales de la pepita
Tamaño y forma del grano
Espesor y color del tegumento
Ausencia de pepitas dobles y defectuosas
Rendimiento en pepita. Dureza de la cáscara. Endocarpio bien cerrado
Facilidad de recolección
Aptitud para la conservación y almacenamiento

Características relacionadas con el clima:

Necesidades de frío invernal: Bajas Altas
Necesidades de calor primaveral: Bajas Altas
Época de floración: Temprana Tardía
Época de maduración: Temprana

Características fitopatológicas:

Resistencia a plagas y enfermedades
Insectos
Ácaros, Nematodos

Características vegetativas:

Porte
Ramificación compensada
Crecimiento inicial rápido que facilite la formación del árbol
Crecimiento lento posterior que limite la poda
Poca formación de chupones

Características reproductivas:

Productividad elevada
Rápida entrada en producción
Producción estable, sin vecería
Autogamia
Alta densidad floral
Poca caída de frutos al alcanzar la madurez, pero fácil desprendimiento después

Características fisiológicas:

Fotosíntesis
Relaciones hídricas
Resistencia a heladas

Por otra parte, la integración de los caracteres relacionados con la producción con los de la calidad de la pepita, tanto los físicos como los químicos, ofrece una oportunidad a los programas de mejora para obtener nuevos materiales que abran horizontes más amplios a los agricultores y a los industriales para alcanzar mercados seguros y rentables según los criterios de calidad que determinen el destino final de cada producto.

1.5 OBJETIVOS DE LA MEMORIA

El objetivo principal de esta memoria fue la evaluación del comportamiento agronómico y la caracterización de un conjunto de selecciones de almendro, autocompatibles y de floración tardía, del programa de mejora genética del CITA, con el fin de seleccionar e identificar los genotipos que reúnan el máximo número de caracteres deseables como futuras variedades. Así mismo, el estudio de algunos aspectos que hasta ahora no se han tenido en cuenta en los programas de mejora del almendro, como la tolerancia a las heladas y la composición química de la pepita, para averiguar la posibilidad de su incorporación como criterios y objetivos de nuevos programas, así como su utilización como criterios en las fases avanzadas de evaluación de los actuales programas. Para ello se estudiaron un conjunto de criterios de selección, morfológicos, fenológicos, biológicos, bioquímicos y pomológicos, para determinar la potencialidad productiva de estos genotipos y la posibilidad que ofrecen a los agricultores, tanto desde el punto de vista de su comportamiento agronómico como por su posible destino comercial, teniendo en cuenta los aspectos citados anteriormente.

Así pues, para la realización de esta tesis se han abordado los siguientes objetivos:

Objetivo 1. La evaluación y la descripción morfológica de los genotipos estudiados, así como la identificación de los criterios morfológicos de la planta que pueden servir como base de selección y de identificación en el programa de mejora del almendro.

Objetivo 2. Determinar la potencialidad florífera y confirmar la variabilidad genotípica y ambiental de la densidad floral y la capacidad florífera en el almendro, así como averiguar la posible influencia de los diferentes soportes de fructificación y del año climático sobre estos caracteres.

Objetivo 3. Estudiar la variabilidad y la evolución de la época y la duración de floración, así como de la maduración y su posible relación con las condiciones climáticas. También estudiar la variabilidad genética y ambiental de la calidad de la flor y su evolución durante la floración, así como su implicación en los programas de mejora.

Objetivo 4. Estudiar el cuajado, así como su dependencia de los caracteres intrínsecos al genotipo (densidad floral, calidad de la flor) y de las condiciones climáticas que contribuyen a la expresión de la capacidad productiva y su estabilidad en el almendro.

Objetivo 5. Evaluación de la autogamia y averiguar la posible relación entre la morfología de la flor y la capacidad de autopolinización natural.

Objetivo 6. Evaluar la tolerancia a las heladas primaverales mediante la evaluación de los síntomas morfológicos en las flores tanto en campo como en laboratorio, así como de la disminución de la fluorescencia de la clorofila después de tratamientos a distintas temperaturas en condiciones controladas. También la posible relación de los carbohidratos en las flores y la tolerancia a las heladas y su incorporación como criterio de selección.

Objetivo 7. Estudio de la variabilidad y repetibilidad de los caracteres pomológicos (cuantitativos y ponderados) de los genotipos estudiados e identificación de los caracteres que permitan la selección de los genotipos con buenas características del fruto y de la pepita, así como la de los caracteres que permitan determinar las semejanzas entre las selecciones estudiadas y sus parentales.

Objetivo 8. Estudio de la variabilidad genética y la repetibilidad de los caracteres químicos de la pepita para identificar los parámetros que permitan la caracterización de los genotipos del almendro, así como averiguar la posibilidad de su utilización como criterio de selección para la mejora de la calidad nutricional y tecnológica de la almendra en los programas de mejora.

Objetivo 9. Determinar la variabilidad física del tegumento de las selecciones estudiadas y su implicación en la determinación de la calidad de la pepita. Así como estudiar la variabilidad de las propiedades antioxidantes del tegumento y su incorporación como criterio de evaluación en los programas de mejora.

Objetivo 10. Determinar y estudiar las posibles correlaciones entre los diferentes caracteres agronómicos y comerciales para su posible utilización en los programas de mejora, con el fin de aumentar la eficiencia de la selección y averiguar la posibilidad de emprender la mejora para caracteres que no se han abordado hasta ahora sin alterar los otros logros alcanzados en la mejora.

Objetivo 11. Estudio de la posible influencia de la autopolinización sobre la dinámica del crecimiento de los tubos polínicos, el cuajado y algunos caracteres fisicoquímicos de la pepita y su implicación en la elección de los genotipos para las plantaciones monovarietales.

Capítulo 2. Material vegetal y metodología

2. MATERIAL VEGETAL Y METODOLOGÍA

2.1 MATERIAL VEGETAL

Los ensayos se llevaron a cabo en una plantación de 48 selecciones (Fig 2.1) autocompatibles de almendro del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, situada a unas coordenadas de 41°38'50" N y 0°53'07" E, a 220 m sobre el nivel del mar, con una pluviometría media anual de 328,5 mm y temperaturas medias anuales de 8,5°C (mínima), 14,5°C (media) y 20,6°C (máxima). Estas selecciones proceden de 5 cruzamientos entre 4 cultivares autoincompatibles ('Marcona', 'Desmayo Largueta', 'Ferragnès y 'Bertina') y cuatro obtenciones autocompatibles del programa de mejora genética del CITA, 'Felisia', 'Guara', 'Moncayo' y la selección A-10-6 (Cuadro 2.1; Fig 2.3). Cada selección está representada por tres árboles injertados sobre el patrón 'Garnem' (Gómez Aparisi et al., 2001) con un marco de plantación de 3×4 m (Fig 2.1). El suelo es de tipo aluvial, con textura franca en superficie a franco-limosa en profundidad. El injerto se realizó en junio de 1998 en vivero y el transplante al campo en enero de 2000.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PARENTALES

Los parentales utilizados se eligieron con el fin de asegurar la transmisión de los caracteres deseados en el programa de mejora. Las variedades autocompatibles se eligieron por su autocompatibilidad y floración tardía, mientras que las variedades tradicionales por sus características agronómicas (vigor, rendimiento, ...) y su calidad de fruto. Sus características se describen a continuación:

'Bertina'. Procede de una planta de semilla de origen desconocido, localizada en la localidad de Cariñena (Zaragoza). No está difundida y se desconoce su comportamiento agronómico. Se introdujo en el banco de germplasma en los años ochenta por su época de floración muy tardía, el tamaño grande de fruto y la ausencia de pepitas dobles. El árbol es de vigor medio, con porte abierto de ramificación escasa. Fructifica prioritariamente en ramilletes de mayo. Presenta una intensidad floral alta y una productividad de media a buena. El fruto es de tamaño muy grande, de forma elíptica y de cáscara dura, con un rendimiento de 26-28%. Es autoincompatible y su floración, además de muy tardía, es prolongada.



Fig 2.1. Vista general de la plantación

- a:** Tres clones que representan un genotipo
- b:** Distancia entre árboles.
- c:** Distancia entre líneas.



Fig 2.2. Imagen detallada de la parcela experimental.

Cuadro 2.1. Origen de los genotipos estudiados.

Familia	Cruzamiento	Selección
I	Felisia x Bertina	G-1-1, G-1-23, G-1-27, G-1-38, G-1-41, G-1-44, G-1-58, G-1-61, G-1-64, G-1-67, G-2-1, G-2-2, G-2-7, G-2-11, G-2-22, G-2-23, G-2-25, G-2-26, G-2-27, G-3-3, G-3-4, G-3-5, G-3-8, G-3-12, G-3-24, G-3-28, G-3-65, G-4-3, G-4-10, G-5-18, G-5-25, G-6-14, G-6-24, G-6-39, I-3-10, I-3-11 e I-3-27.
II	Moncayo x Desmayo Largueta	H-1-108 y H-1-81
III	A-10-6 x Marcona	H-2-111, H-2-22, H-3-37 y H-3-39
IV	Guara x Ferragnès	I-1-95 e I-2-12
V	Felisia x Moncayo	I-3-65, I-3-67 e G-5-2

'Desmayo Largueta'. Variedad española de origen desconocido. Probablemente procede de Huesca, Lérida o Tarragona. Su denominación varía de una zona a otra, presentando así varios sinónimos como: 'Desmayo', 'Desmayo blanco' o 'Largueta'. Es una variedad autoincompatible de gran difusión a nivel nacional y en la gran mayoría de los países mediterráneos. Su éxito se debe sobre todo a las buenas características del fruto, especialmente por su buen comportamiento en el tostado. Presenta un vigor medio, con un porte abierto y colgante y de ramificación media. Florece muy temprano, preferentemente sobre ramos mixtos, con una floración bastante escalonada. De época de maduración tardía y de alta productividad si se asegura su buena polinización. Presenta frutos de forma elíptica a amigdaloides, de tamaño medio a grande. La cáscara es dura y de grosor medio, con un rendimiento al descascarado de 26-29%. Tiene buena capacidad de adaptación a zonas de altitud media. Su pepita es de excelente calidad y muy apreciada en el sector industrial para el tostado por la facilidad con la que se desprende el tegumento.

'Felisia'. Variedad autógena, obtenida por Socias i Company y Felipe (1999). Procede del cruzamiento 'Titan' × 'Tuono', realizado en el programa de mejora genética del CITA. De vigor medio, con un porte ligeramente abierto y de ramificación media. Fructifica preferentemente sobre ramos mixtos y ramos del año, y muestra una intensidad floral media. Fácil de formar y podar. De floración muy tardía, una semana después de 'Guara', es actualmente la variedad conocida más tardía. Muy

productiva, sin tendencia a la vecería, muestra una buena facilidad de recolección. El fruto es de forma amigdaloides acorazonado y de tamaño pequeño. La cáscara es semi-dura y el rendimiento en pepita es alto, del 35%. El tamaño y la forma de su pepita la preconiza a ciertos usos comerciales e industriales específicos como el repelado y repostería o para la industria chocolatera.

'Ferragnès'. Variedad francesa, obtenida en el INRA de Burdeos por Charles Grasselly, del cruzamiento 'Cristomorto' × 'Ai'. Es una variedad autoincompatible de vigor medio y de porte semi-erecto, poco ramificada. De floración tardía, fructifica sobre ramos mixtos y sobre todo en ramilletes de mayo. Presenta frutos de cáscara semi-dura, con doble capa. La pepita es de buen aspecto, de sabor dulce y sin dobles, con un alto porcentaje al descascarado (40%), aunque presenta el problema de la doble capa en la cáscara. De rápida entrada en producción. Se está manifestando como muy productiva y regular, siempre que se le asegure una polinización adecuada, con una buena plasticidad de adaptación. Es una variedad que presenta una buena aptitud para el consumo en fresco y/o para la repostería.

'Guara'. Variedad de origen desconocido que llegó al actual CITA en 1974 con una denominación errónea a la que se sometió a una selección clonal y sanitaria. Presenta una gran difusión en todo el territorio español por su buena productividad, fertilidad, entrada en producción y buena tolerancia al frío. Es una variedad de vigor y porte medio, con poca ramificación. Fructifica sobre ramilletes de mayo y sobre la mitad apical de los ramos mixtos. Requiere una poda de formación adecuada, pero después su poda es muy sencilla. Autógama, de floración tardía, muy productiva y regular. El fruto es amigdaloides, de cáscara dura y con un rendimiento al descascarado del orden de 32-35%. La pepita es de sabor dulce y muy apreciada en repostería por el color blanco de sus cotiledones. Es algo sensible a la mancha ocre de las hojas. Presenta un porcentaje en semillas dobles variable, del 10 al 20%, lo cual puede ser un inconveniente.

'Marcona'. Variedad española originaria de Levante, probablemente de Alicante. De gran difusión en el área mediterránea, probablemente por su pepita de alta calidad. De vigor y porte medio, con una ramificación muy abundante, por lo que es exigente en poda. Variedad autoincompatible de floración media, fructifica sobre ramos mixtos y brotes cortos. Muy productiva cuando las condiciones ambientales son favorables, lo que a veces puede causar vecería. Fruto redondeado, de cáscara dura y sin capas. Pepita de forma redonda y algo globosa, de sabor dulce y casi sin pepitas dobles (0-2%). Se trata de una variedad con pepita de excelente calidad, muy apreciada desde el punto de vista industrial y comercial, requiriéndose para la preparación de productos de confitería, especialmente los

de alta calidad, como el turrón de Alicante y la almendra frita o salada con o sin tegumento. Presenta como inconveniente sus exigencias en cuanto al abonado y cuidados culturales, debido a su alta productividad y a su sensibilidad a algunas enfermedades criptogámicas.

'Moncayo'. Variedad española obtenida en el actual CITA. Procede del cruzamiento 'Tardive de la Verdière' × 'Tuono'. Variedad vigorosa, de porte medio, con poca ramificación. Fácil de formar y de podar. Fructifica sobre ramos mixtos y ramilletes de mayo, con una intensidad floral media. De floración muy tardía y productiva si tiene polinizadores adecuados. Autocompatible en ensayos de laboratorio, no se ha manifestado autógama en el campo, por lo que precisa polinización cruzada. Fruto elíptico de cáscara dura y sin capas dobles, con un rendimiento al descascarado del orden de 25-28%. Pepita de buen aspecto, de sabor agradable y con pepitas dobles (10-20%). Variedad apreciada por su buen comportamiento frente a las heladas tardías y por su floración muy tardía.

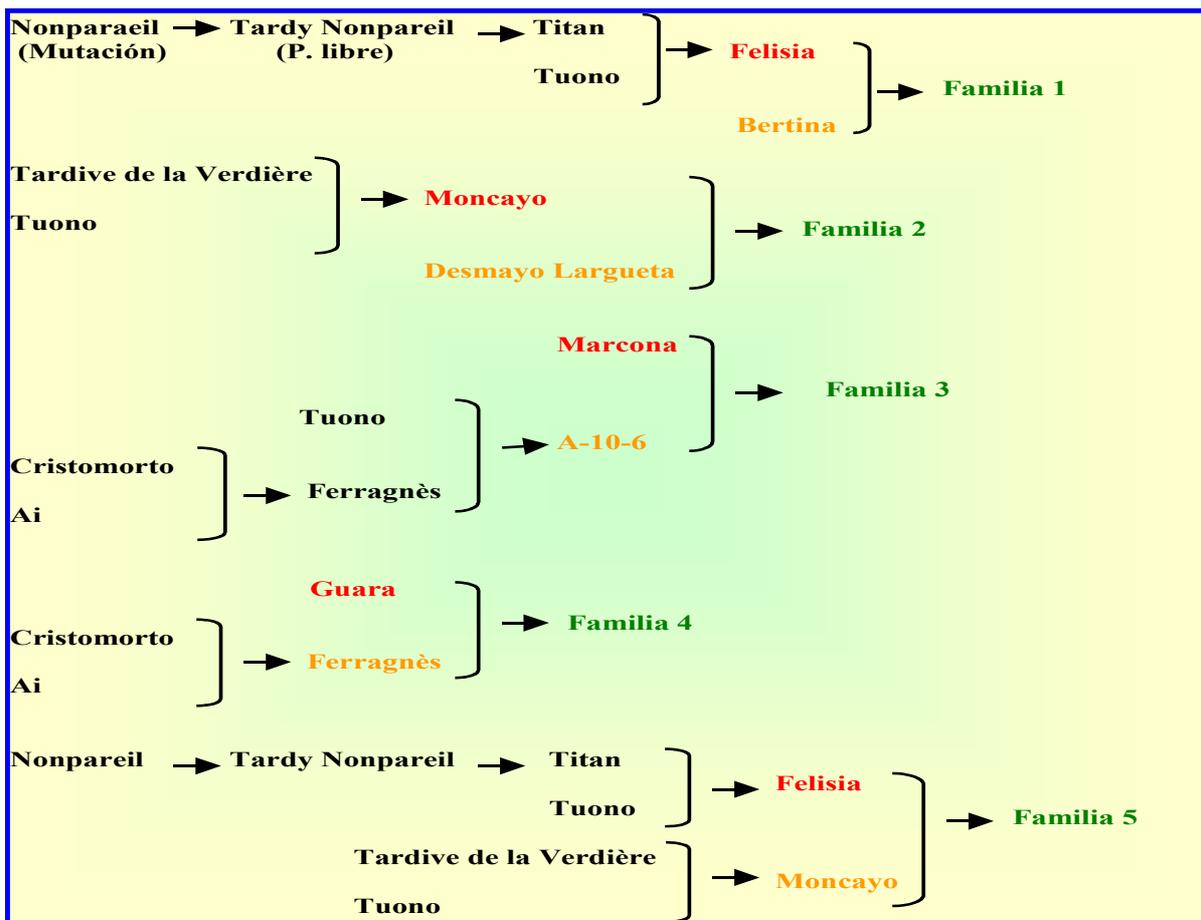


Fig 2.3. Genealogía de la población estudiada.

2.2 METODOLOGÍA

La metodología y el modo operativo seguido para responder a los objetivos planteados en este trabajo se describen en el capítulo correspondiente.

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con el fin de llevar a cabo los análisis estadísticos se aplicaron varios procedimientos en función del objetivo de cada ensayo. En general se aplicó el Análisis en Componentes Principales (ACP), el método de agrupación jerárquico (Cluster), el Análisis Factorial de Correspondencia Múltiple (AFCM) y el análisis de varianza. La justificación de la aplicación de cada análisis se describe a continuación:

2.3.1 Análisis en Componentes Principales (ACP) y de agrupación jerárquica

La aplicación del ACP se llevó a cabo con el objetivo de estudiar la variabilidad de los caracteres cuantitativos considerados dentro de la población considerada en este trabajo e identificar los caracteres que podrían explicar la mayor parte de esta variabilidad, así como para visualizar las posibles relaciones entre los genotipos estudiados en tres dimensiones.

Este análisis tiene como objetivo reducir la dimensión de un conjunto de p variables a un conjunto m de un menor número de variables para mejorar la interpretación de los datos. Las nuevas variables, los componentes principales, determinan la parte esencial de las variables originales y son una combinación lineal de las mismas. En este tipo de análisis se eliminan las relaciones entre variables (Broschat, 1979), reduciendo el número de variables iniciales mediante combinaciones lineales de los caracteres correlacionados en ejes principales ortogonales no correlacionados (Philippeau, 1986).

El primer componente principal (PC) presenta la mayor varianza, seguido en orden decreciente de la varianza por los demás ejes principales, de tal manera que los dos o tres primeros ejes principales presentan la mayor parte de la varianza total. Esta porción de varianza disminuye cuando la base de datos contiene un alto número de variables independientes (Daudin, 1982). En general, para determinar el número de componentes que hay que retener para que el análisis y la interpretación sean más consistentes se utiliza el criterio de Kaiser (1960), que consiste en retener los factores que presentan un valor propio superior a 1. En este estudio, el número de componentes principales retenidos dependió de cada caso, según la lógica y la fiabilidad de las interpretaciones de los resultados.

Los resultados obtenidos por el ACP se han utilizado para realizar el análisis de agrupamiento jerárquico, multiplicando el valor de la contribución de cada individuo (en nuestro caso selecciones y variedades) en cada componente por el valor de la varianza que explica cada componente para obtener un agrupamiento de los genotipos en función de las nuevas variables. El uso de esta herramienta facilitó la distinción de los genotipos agrupados, por un cierto número de caracteres, en grupos más o menos homogéneos generados por el ACP.

2.3.2 Análisis Factorial de Correspondencia Múltiple

Este procedimiento permite estudiar la relación entre datos o variables cualitativas (Carballo, 1990). Se trata de un tipo de análisis creado por Benzecri (1963) cuya finalidad es representar gráficamente los datos provenientes de una tabla de contingencia. En presencia de estas tablas, la estadística clásica permite mediante el test Chi-cuadrado (χ^2) averiguar la existencia de relaciones (o correspondencias) entre los caracteres estudiados, pero en ningún caso permite realizar una descripción de estas relaciones. En este trabajo se aplicó el análisis multivariable sobre los caracteres ponderados del fruto y de la pepita para averiguar las posibles relaciones que existen entre los frutos de las selecciones estudiadas por una parte y entre éstas y las variedades 'Marcona' y 'Desmayo Largueta' de gran interés comercial e industrial.

2.3.3 Análisis de varianza

Se aplicó el análisis de varianza para determinar la existencia de diferencias significativas entre los genotipos estudiados y también para determinar el efecto del año sobre la expresión y la variación de los caracteres considerados en cada capítulo, basándose en la media y la varianza de cada carácter. Esta herramienta estadística ha permitido evaluar la magnitud del efecto genotipo y el efecto ambiental en la expresión de los caracteres.

El estudio de los caracteres en varios años permitió estudiar sus cambios con el objetivo de determinar su estabilidad y su repetibilidad. Cuando puede hacerse más de una medición en cada individuo, la varianza fenotípica puede repartirse en varianza dentro de los individuos y varianza entre los individuos (Falconer, 1986). La repetición de un carácter puede proporcionar mediciones múltiples, bien por repeticiones temporales o bien por repeticiones especiales. En ambos casos se puede definir una varianza ambiental especial (σ^2_{Es}) para referirse a la varianza dentro de individuos que surge de circunstancias temporales o no localizadas y una varianza ambiental general (σ^2_{Eg}) para referirse a la

varianza ambiental que contribuye a la componente entre individuos y que surge de circunstancias permanentes o localizadas. Ello conduce al concepto de repetibilidad, que expresa la partición de la varianza fenotípica en dos componentes: σ^2_{Es} vs. $(\sigma^2_G + \sigma^2_{Eg})$. De este modo, la repetibilidad se calcula como: $r = (\sigma^2_G + \sigma^2_{Eg}) / \sigma^2_G$

Para el cálculo de la repetibilidad se han empleado los genotipos que se han podido analizar durante un número determinado de años consecutivos en función de los caracteres considerados, 3 años para los caracteres físicos del fruto y la densidad floral y 2 años para los caracteres químicos de la pepita. Se ha aplicado el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + (GA)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- G_i : es el genotipo i
- A_j : es el año j
- $(GA)_{ij}$: es la interacción genotipo × año
- ϵ_{ijk} : es el residual

En este trabajo se consideró que los factores genotipo y año eran factores aleatorios. Con este modelo se obtienen los siguientes cuadrados medios esperados:

Fuente de variación	gl	Cuadrado medio esperado
Genotipos	g-1	$\sigma^2 + r \sigma^2_{GA} + ra \sigma^2_G$
Años	a-1	$\sigma^2 + r \sigma^2_{GA} + rg \sigma^2_G$
Genotipos × Años	(g-1) (a-1)	$\sigma^2 + r \sigma^2_{GA}$
Residual	ga(r-1)	σ^2
Total	gar-1	

Siendo g y a el número de genotipos y años de estudio para cada carácter considerado, respectivamente. Dado que no se dispone del mismo número de genotipos y años evaluados para todos los caracteres, los valores han variado en cada caso. Según este diseño estadístico, la repetibilidad se calcula como sigue: $r = \sigma^2_G / [\sigma^2_G + \sigma^2_{GA}/a]$, ya que al ser la determinación más fiable de un genotipo el promedio obtenido en los distintos años, la varianza de la interacción (referencia para el cálculo de los cuadrados medios) debe dividirse por el número de años que han servido de base para calcular esa medida.

Capítulo 3. La morfología de las distintas partes del almendro

3. LA MORFOLOGÍA DE LAS DISTINTAS PARTES DEL ALMENDRO

3.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de las características morfológicas del árbol es de gran interés en un programa de mejora genética, no sólo por su importancia en la caracterización e identificación varietal, sino también por la incidencia agronómica de sus distintos aspectos: en la producción (vigor, ramificación), en la penetración de luz y la aireación (porte, volumen del árbol), en la tolerancia a la sequía (vigor, características de la hoja), en la polinización y la actividad de los agentes polinizadores (morfología floral) y en la rentabilidad económica: coste de poda (ramificación) y densidad de plantación (porte, volumen del árbol).

El almendro presenta una considerable variabilidad en cuanto al vigor, el porte y el tipo de soportes de la fructificación, que en su conjunto definen la estructura típica de cada variedad. Sin embargo, la selección de genotipos con buenas características agronómicas y su propagación por vía vegetativa (clonación), ha permitido estabilizar los caracteres morfológicos de la planta, sobre todo el tamaño, el porte y el vigor, para crear plantaciones comerciales uniformes.

El vigor de una planta se determina por el diámetro del tronco, pero también por el diámetro en la base de las distintas ramificaciones del árbol (Kervalla et al., 1994). El vigor varía en función de la variedad, pero también depende en gran medida del patrón y de las técnicas de cultivo (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980).

La mecanización de las técnicas de cultivo, sobre todo la recolección, requiere disponer de variedades vigorosas y bien formadas para evitar lesiones o daños en el momento de realizar estas operaciones. La selección de variedades con soportes de ramificación vigorosos, que les permita sostener una buena cosecha sin doblarse ni romperse, es esencial en el almendro, ya que el número de frutos por árbol es el criterio básico de evaluación de la productividad (Godini, 2002). Este carácter se ha asociado a una buena adaptación de la especie a las condiciones de sequía, ya que los troncos y las ramas vigorosos pueden considerarse como depósitos de agua que la planta puede movilizar en caso de estrés (Goldhamer y Fereres, 2001). También se ha observado que algunas variedades, como 'Aï', presentan una elevada proporción flores abortadas sobre ramos finos, que son probablemente los más pobres en reservas nutritivas (Felipe, 2000).

El porte natural de una planta viene determinado por el ángulo de inserción de los ramos, el vigor y el peso de cosecha (Felipe, 2000). En el almendro, este carácter varía desde caedizo hasta muy erecto (Gülcan, 1985). En los programas de mejora siempre se ha dedicado más importancia a los portes de tipo medio, que facilitan la formación del árbol y la mecanización de las operaciones culturales (Felipe, 2000). Por otra parte, los portes semi-erectos son de importancia capital para zonas de áridas, ya que se considera que una arquitectura vertical y cerrada del árbol es una buena estrategia para controlar la pérdida de agua y aumentar la eficacia en la absorción de la luz (Savé et al., 1993).

A pesar de que los caracteres morfológicos en el almendro son complejos (Grasselly, 1972) y difíciles de cuantificar, tanto por las dificultades que se presentan en el momento de su evaluación como por el reducido número de individuos obtenidos en los cruzamientos, la gran variabilidad que presentan las descendencias permite suponer que se encuentran bajo control poligénico (Kester y Asay, 1975). No obstante, el vigor se ve afectado por la depresión de consanguinidad (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Grasselly y Olivier (1984) observaron la aparición de individuos débiles con troncos muy resquebrajados y otras anomalías morfológicas en algunas descendencias de cruzamientos con un antepasado común o entre hermanos. Estas manifestaciones se acentúan con la autofecundación (Grasselly y Olivier, 1988; Oukabli et al., 2001).

Las hojas del almendro son de tipo lanceolado, generalmente largas, estrechas y puntiagudas; algunas variedades tienen hojas más bien anchas, como es el caso de algunas de la Puglia y ciertos tipos iraníes (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Las características biométricas y cualitativas de las hojas son consideradas propias de cada variedad (Grasselly, 1972), aunque algunas, como el tamaño de la hoja, varían según su posición en el árbol, siendo habitualmente mayores en los ramos y menores en los ramilletes de mayo y ramificaciones cortas (Kester y Asay, 1975). La densidad foliar de un árbol depende del hábito vegetativo de la variedad, del tamaño del árbol, del tamaño de hoja y de su disposición en el ramo (Felipe, 2000; Kester y Gradziel, 1996).

El color y las dimensiones de la hoja parecen transmitirse de forma cuantitativa (Grasselly, 1972). Se observa muy a menudo que las descendencias de diversas variedades, incluso con polinización libre, muestran características que recuerdan generalmente a la variedad madre, sobre todo en las dimensiones de las hojas (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980).

La falta de estudios genéticos sobre la transmisión de estos caracteres se debe probablemente a que no tienen un gran interés desde el punto agronómico (Grasselly, 1972). Sin embargo, varios

estudios han mostrado que las características de la hoja y la densidad foliar varían en el almendro según el estrés hídrico que sufre la planta, proporcionado así mecanismos de tolerancia o/y de escape a las condiciones de sequía (Goldhamer y Viveros, 2000; Torrecillas et al., 1988 y 1996).

Las características morfológicas de la flor son de gran interés no sólo para la distinción entre las diferentes variedades (Grasselly, 1972), sino también desde el punto de vista reproductivo, ya que la flor es el órgano que contiene las estructuras necesarias para la reproducción sexual. Dada la poca importancia de las características de la flor desde el punto de vista agronómico, se han estudiado poco (Grasselly, 1972), aunque la transmisión de las dimensiones de los pétalos parece ser cuantitativa y especialmente influida por algunos genitores (Socias i Company, 1998).

Las variedades 'Eureka' y 'Cristomorto' parecen transmitir flores de pequeño tamaño a sus descendencias (Kester, en Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980), mientras que la variedad 'Bartre' transmite, con una cierta dominancia, flores de gran tamaño. Así mismo, el número de estambres parece transmitirse de forma cuantitativa, con cierta tendencia, a predominar "el número elevado" (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980).

El objetivo principal de este capítulo ha sido la evaluación y la descripción morfológica de los genotipos estudiados y su implicación en el programa de mejora del almendro.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 PORTE

La evaluación del porte de los árboles se realizó durante el reposo vegetativo (diciembre-enero) según los tipos definidos por el GREMPA (Fig 3.1), con una valoración numérica de 1 para un porte muy erecto, 3 erecto, 5 medio, 7 abierto y 9 caedizo (Gülcan, 1985).

3.2.2 VIGOR DE LOS ÁRBOLES

El vigor se estimó en función del área de la sección transversal del tronco de la variedad a unos 20 cm por encima del injerto, colocando una cinta amarilla con el fin de medir todos los años al mismo nivel el perímetro del tronco. Las medidas se realizaron durante los años 2003-2005 en 4 períodos separados por 6 meses. Por otro lado, se hizo una evaluación subjetiva del vigor de los genotipos estudiados en relación a las variedades de referencia adoptadas por el GREMPA (Gülcan, 1985).

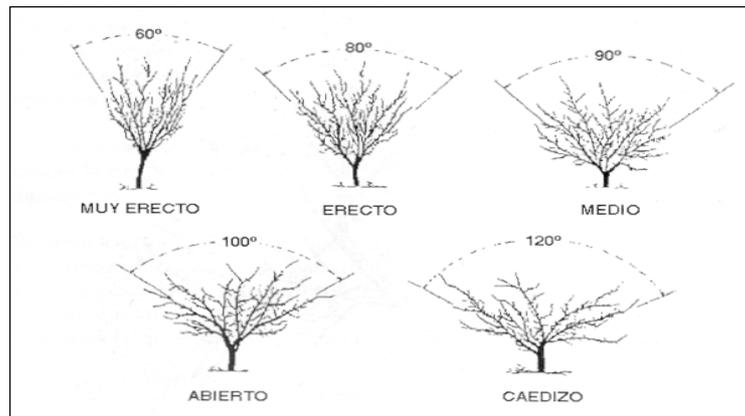


Fig 3.1. Los tipos de porte del árbol en el almendro.

3.2.3 RAMIFICACIÓN

Durante el reposo invernal se seleccionaron cuatro ramas homogéneas de cada selección y se marcaron para seguir la evolución del índice de ramificación de cada una durante los 4 años del estudio. Se midió la longitud de cada rama y se determinó el número de ramificaciones que soporta cada rama y después se determinó el índice de ramificación mediante la fórmula:

$$\text{Nº de ramos/longitud de la rama}$$

Por otro lado, se hizo una evaluación subjetiva de este carácter en relación a las variedades de referencia adoptadas por el GREMPA (Gülcan, 1985). Para ello, se atribuyó una valoración numérica de 0 ausente, 3 poca, 5 media, 7 densa y 9 para ramificación muy densa.

3.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA HOJA

Durante el verano de 2001 se muestrearon 25 hojas plenamente desarrolladas de la parte media de la copa del árbol y de la parte mediana de los ramos del año de cada genotipo (selecciones y sus parentales), condiciones homogéneas de muestreo para evitar las distorsiones de los resultados a causa de la edad y/o la posición de las hojas en el árbol (Ramos Carmona, 1983).

La superficie de las hojas se determinó por medio de un analizador de imagen (DIAS, Delta-T Devices, UK), sus dimensiones mediante un pie de rey, y el ángulo inferior y superior del limbo mediante un transportador de ángulos. El tamaño de las hojas se determinó en función de su superficie

(Cuadro 3.1). En los años 2001 y 2002 se midió la superficie eligiendo por árbol 2 ramas del año homogéneas y del mismo vigor.

Cuadro 3.1. Categorías de clasificación del tamaño en función de la superficie de las hojas.

Categorías	Superficie de la hoja (cm²)
Grande	>26
Mediana	20-26
Pequeña	<20

3.2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR

Para caracterizar la morfología de la flor, en la primavera de 2002 se recogieron al azar 15 flores totalmente abiertas de cada genotipo en plena floración (estado fenológico F de Felipe, 1977). Se consideraron los caracteres externos de la flor: diámetro de la corola, diámetro del cáliz y longitud de los pétalos. El tamaño de las flores se determinó en función del diámetro de la corola y la longitud de los pétalos (Cuadro 3.2), mientras que en otros estudios sólo se consideró la longitud de los pétalos (López, 2004) o el producto longitud × anchura de los pétalos (Ramos Carmona, 1983).

Cuadro 3.2. Categorías de clasificación del tamaño de la flor.

Categorías	Diámetro de la corola (mm)	Longitud de los pétalos (mm)
Grande	>40	>16
Mediana	35-40	14-16
Pequeña	<35	<14

El color de los pétalos se evaluó visualmente en relación a las variedades de referencia adoptadas por el GREMPA (Gülcan, 1985) (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Categorías de clasificación del color de la flor.

Color	Variedad de referencia
Blanco	Bartre
Blanco rosáceo	Aï
Rosáceo	Marcona

Los caracteres internos de la flor considerados fueron: número de estambres, longitud desde la base del ovario a la superficie del estigma y longitud desde la base del ovario a las anteras superiores y

a las inferiores. La diferencia entre la posición del estigma y de las anteras permite clasificar las flores en 3 categorías:

- Flores epiestigmáticas, con el estigma por encima de las anteras ($E > A$).
- Flores mesoestigmáticas, con el estigma al nivel de las anteras ($E = A$).
- Flores hipoestigmáticas, con el estigma por debajo de las anteras ($E < A$).

La abreviatura de las variables métricas consideradas se presenta en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Variables métricas consideradas de la hoja y de la flor y las abreviaturas correspondientes.

Variab les	Abreviaturas
<u>Caracteres de la hoja:</u>	
Longitud del limbo (mm)	<i>LH</i>
Anchura del limbo (mm)	<i>LRH</i>
Longitud del pecíolo (mm)	<i>LP</i>
Angulo inferior del limbo (d°)	<i>OB</i>
Angulo superior del limbo (d°)	<i>OS</i>
Longitud total de la hoja (mm) (LF + LP)	<i>LTH</i>
Superficie de la hoja (mm ²)	<i>SH</i>
Longitud de la hoja / Anchura de la hoja	<i>R</i>
<u>Caracteres de la Flor:</u>	
Diámetro de la corola (mm)	<i>DC</i>
Diámetro del cáliz (mm)	<i>DCa</i>
Longitud de los pétalos (mm)	<i>LPe</i>
Número de estambres	<i>NE</i>
La distancia entre la base del pistilo y los estambres superiores (mm)	<i>A1</i>
La distancia entre la base del pistilo y los estambres inferiores (mm)	<i>A2</i>
La distancia entre la base del pistilo y la superficie del estigma (mm)	<i>A3</i>
La distancia entre la superficie del estigma y las anteras superiores (A3 - A1) (mm)	<i>EA</i>

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Las características de ramificación, de la hoja y de la flor se analizaron adoptando un diseño completamente aleatorio, considerando los genotipos y los años. La sección del tronco y su evolución a lo largo del tiempo se analizaron aplicando de análisis de los datos repetidos en el tiempo.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 PORTE, VIGOR Y RAMIFICACIÓN

La evaluación subjetiva del porte mostró que las selecciones presentan una gran variabilidad (Cuadro I.1). Las selecciones se distribuyen en 3 con un porte caedizo, 7 abierto, 19 semi-abierto, 17 semi-erecto y 6 erecto (Fig 3.2a). Dada la influencia del vigor sobre algunos caracteres agronómicos y productivos, este carácter se evaluó de dos maneras distintas: evaluación subjetiva y cuantitativa. La evaluación subjetiva permitió la clasificación de los genotipos en tres grupos: el primero con 12 genotipos de vigor considerado débil, 25 de vigor intermedio y 11 de vigor fuerte (Fig 3.2b).

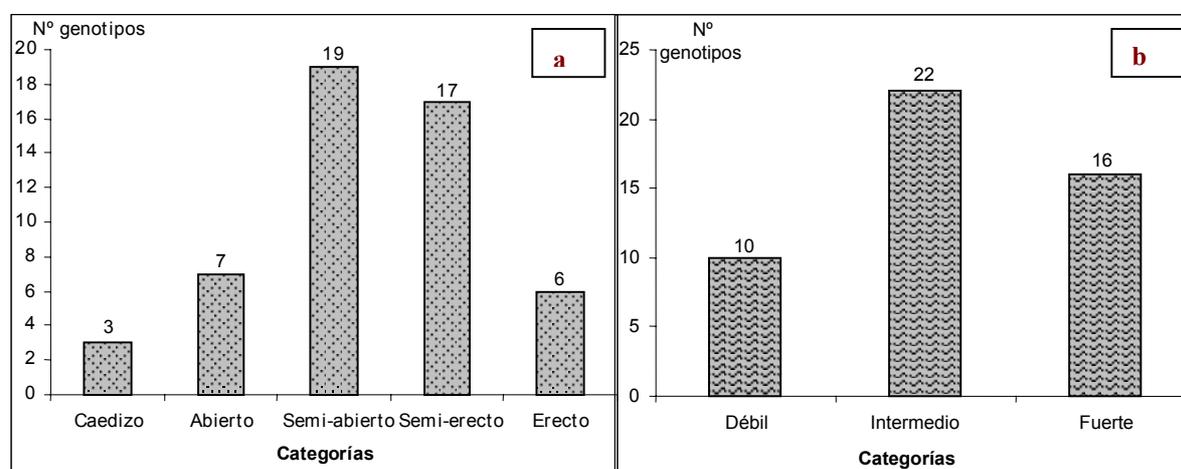


Fig 3.2. N° de genotipos según las categorías del tipo del porte (a) y del vigor (b) observados en la población estudiada.

La evaluación cuantitativa del vigor tuvo en cuenta la sección del tronco y su evolución semestral (Cuadro I.2), así como la sección de las ramas principales, su longitud y su variación interanual. En cuanto a la sección del tronco, el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los genotipos para cada fecha de toma de datos (Cuadro 3.5), mostrando que su evolución depende del genotipo y tiende a aumentar con la edad del árbol (Fig 3.3 y Fig 3.4). Los árboles más vigorosos tienden a crecer más que los menos vigorosos (Fig 3.5). Así mismo se han analizado las diferencias entre la fecha de toma de datos y la interacción entre la fecha y el genotipo. Dado que los valores de la sección de tronco no son independientes entre las distintas fechas, además de la prueba F convencional, que presupone independencia, se adjuntaron dos valores ajustados de Greenhouse-Geisser y Huynh-Feldt. Estos análisis han mostrado diferencias significativas entre las fechas de toma de datos y la interacción entre la fecha y el genotipo (Cuadro 3.6). En general los valores de la sección de tronco tiende a aumentar con el tiempo y a distinta magnitud según el genotipo.

Cuadro 3.5. Análisis de varianza de la sección del tronco de las selecciones estudiadas en cada fecha de toma de datos (T1-T5).

Fuente de variación	GL	T1	T2	T3	T4	T5
<u>Cuadrados medios</u>						
Familia	4	487,2 ***	734,7 ***	1246,22 ***	2335,2 ***	2466,6 ***
Selección (Familia)	42	213,6 ***	337,7 ***	461,46 ***	694,4 ***	1090,4 ***
Error	97	60,13	76,6	86,61	142,4	204,01

***: significativo a $P < 0,0001$.

Cuadro 3.6. Análisis de varianza del conjunto de factores considerados.

Fuente de variación	GL	Medios cuadrados	Test F	Valor F ajustadas	
				Greenhouse-Geisser Epsilon	Huynh-Feldt Epsilon
Tiempo	4	22556,8	***	***	***
Tiempo × Familia	16	201,4	***	***	***
Tiempo × Sel (Fam)	168	74,02	***	***	***
Error	388	20,5			

***: Significativo a $P < 0,0001$.

El estudio de la longitud de las ramas y de su sección en la base mostró diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos y los años, así como para su interacción, salvo para la sección de las ramas, para las que esta interacción no resultó significativa (Cuadro 3.7). Los valores de la sección y la longitud de la rama variaron en un intervalo de 0,96 a 2,82cm² y de 73,7 a 118,8cm, respectivamente. En general la variación interanual muestra un aumento de la magnitud de estos caracteres con el tiempo (Fig 3.6 y 3.7) y en distinta magnitud según cada genotipo (Fig 3.8). La ramificación también presenta una gran variabilidad en esta población, aunque la mayoría de los genotipos presentan poca ramificación de acuerdo con las observaciones cualitativas (Cuadro I.1). El estudio cuantitativo ha mostrado una variación de valores entre 0,11 y 0,34. Los genotipos con un mayor índice de ramificación fueron I-2-12, I-3-10 e I-3-67, mientras que las selecciones G-1-27, G-2-1 y G-2-27 presentaron los valores más bajos. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los genotipos y entre los años, siendo también significativa su interacción (Cuadro 3.7). Así mismo se ha observado que los valores del índice de ramificación aumentan de año en año (Fig 3.9).

Cuadro 3.7. Análisis de varianza de la sección y la longitud de ramas y del índice de ramificación.

Fuente de variación	GL	Sección en la base de las ramas	Longitud de las ramas	Índice de ramificación
<u>Cuadrados medios</u>				
Genotipo	41	3,10 ***	1783,4 ***	0,05 ***
Año	3	220,05 ***	28330,1 ***	2,65***
Genotipo × Año	123	0,99 ns	486,7 ***	0,01***
Error	504	0,78	346,8	0,008

NS, ***: No significativo o significativo a $P < 0,0001$.

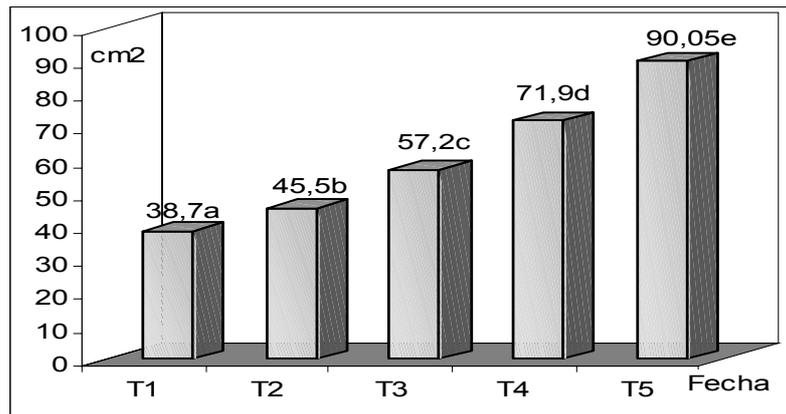


Fig 3.3. Valores medios de la sección de tronco en cada toma de datos.

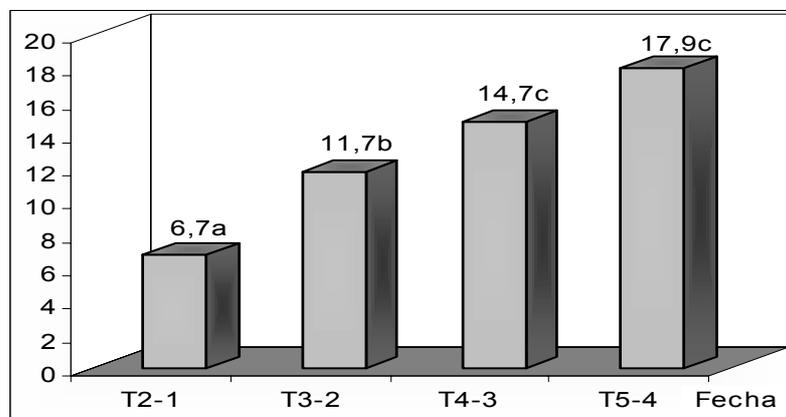


Fig 3.4. Tasa de crecimiento de la sección de tronco de un período a otro.

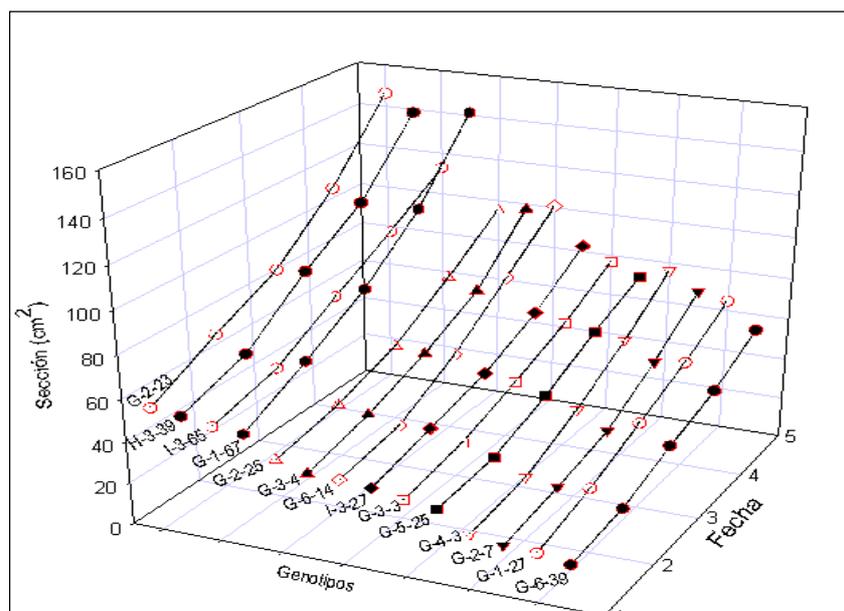


Fig 3.5. Evolución de la sección de tronco en función del vigor inicial de algunas selecciones.

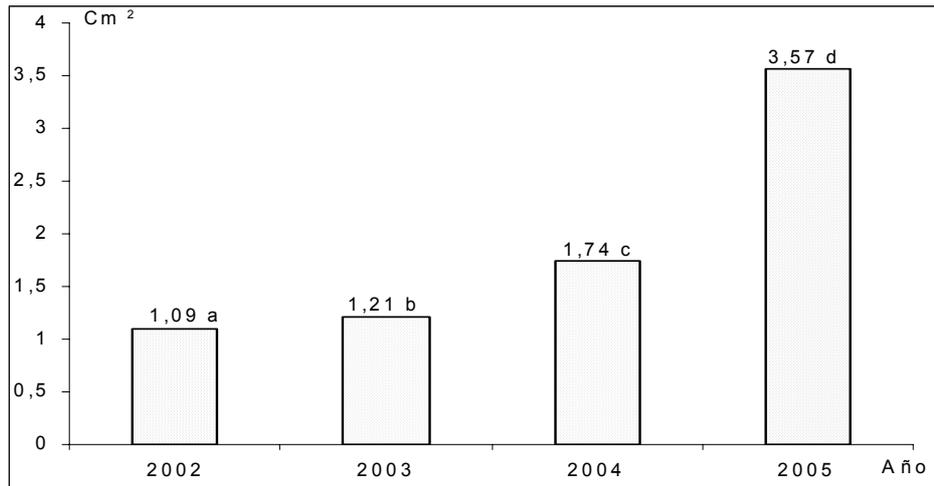


Fig 3.6. Valores medios anuales de la sección en la base de las ramas principales.

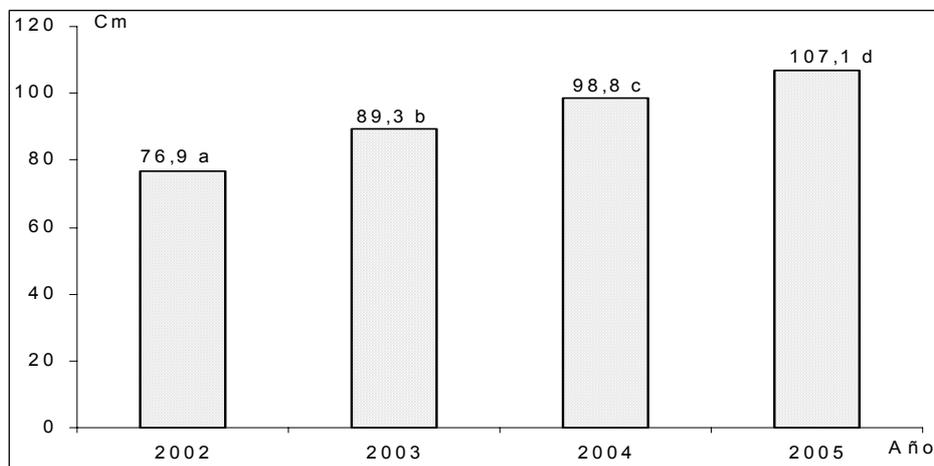


Fig 3.7. Evolución interanual de la longitud de las ramas principales.

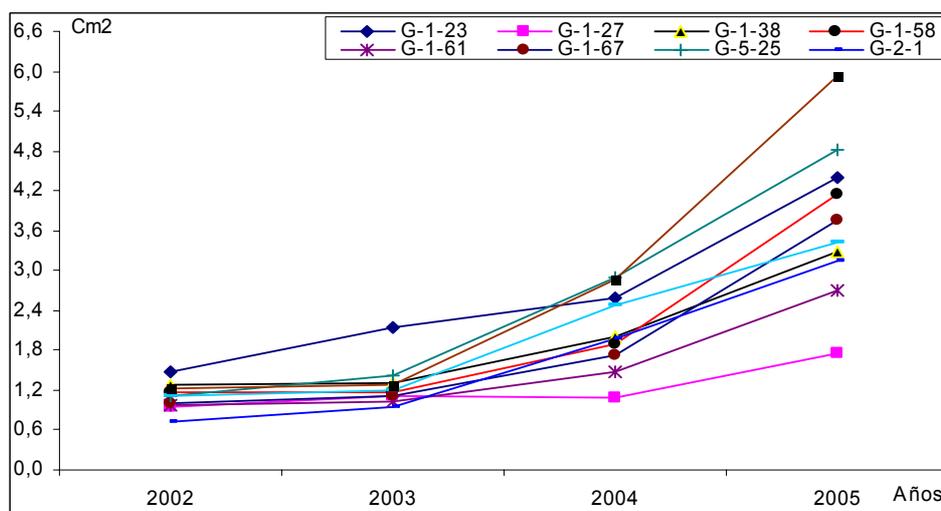


Fig 3.8. Crecimiento diferencial interanual de la sección en la base de las ramas principales de algunas selecciones.

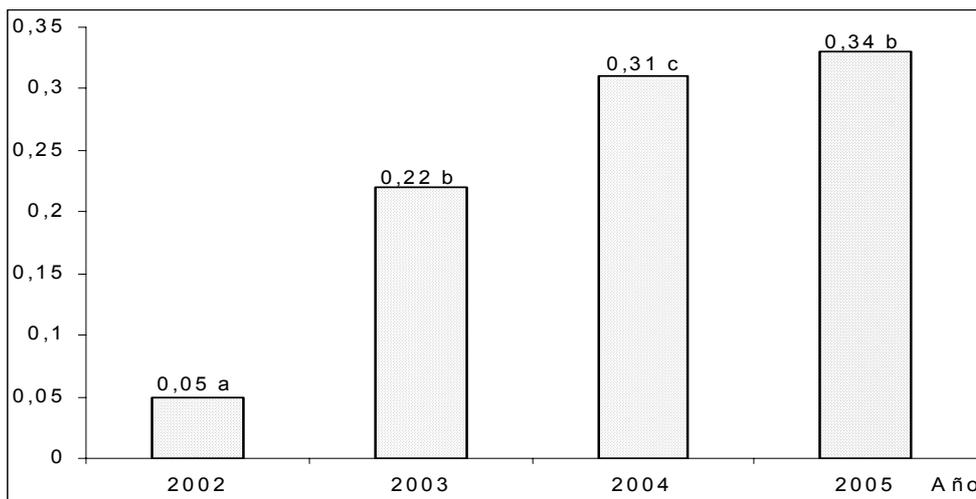


Fig 3.9. Variación interanual de los valores medios del índice de ramificación.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA HOJA

Se analizaron los datos del año 2001 para todas las características de la hoja, excepto para la superficie de la hoja, para la que hay datos de dos años (Cuadro I.3). Aunque las características métricas de la hoja presentan una gran variabilidad, la superficie de la hoja y la longitud del peciolo son los que muestran mayor variación, con un coeficiente de variación del 13,8% y 12,4%, respectivamente. Los genotipos pueden clasificarse en función de la superficie de la hoja, lo que ha generado 3 grupos, con el predominio de genotipos con hojas de tamaño medio (Fig 3.10).

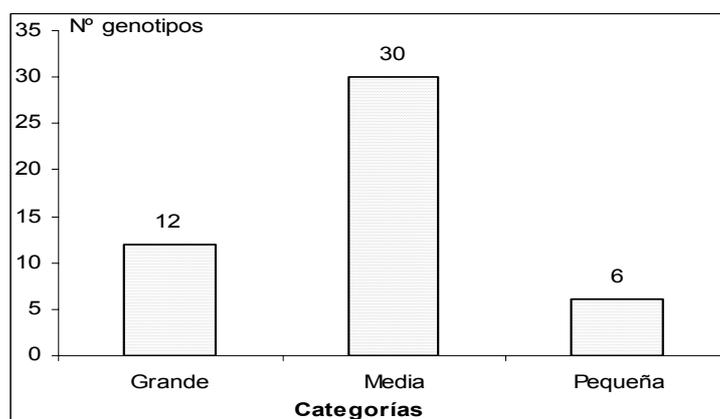


Fig 3.10. Reparto de los genotipos según el tamaño de la hoja.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos para todas las características de la hoja consideradas (Cuadro 3.8). Los datos de dos años de la superficie de la hoja mostraron que este carácter depende tanto del genotipo como del año, ya que tanto el efecto del genotipo como el del año han sido significativos (Cuadro 3.9), aunque la interacción “genotipo” × “año” no ha resultado significativa.

Cuadro 3.8. Análisis de varianza de las características métricas de la hoja.

Fuente de variación	GL	zLH	LRH	LP	LTH	R	Os	Ob
<u>Cuadrados medios</u>								
Genotipo	47	1417***	202,4***	200,6***	2331,1***	0,026***	393,5***	2154***
Error	1152	34,7	8,14	5,14	46,4	0,001	25,5	73,2

***: Significativo a $P < 0,0001$.

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.9. Análisis de varianza de la superficie de la hoja en dos años consecutivos.

Fuente de variación	GL	Superficie de la hoja
<u>Cuadrados medios</u>		
Genotipo	47	5819858,4 ***
Año	1	4410989,5 ***
Genotipo × Año	47	135583,4 ns
Error	2304	99898

NS , ***: No significativo o significativo a $P < 0,0001$.

3.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR

La caracterización morfológica de la flor se ha limitado a sus dimensiones externas e internas (Cuadro I.4) y al color (Cuadro I.1). El análisis de varianza mostró diferencias significativas para todos los caracteres (Cuadro 3.10). Así mismo, el análisis detallado de 10 selecciones durante dos años consecutivos (2001 y 2002) mostró que el efecto del año es significativo sólo para la longitud de los pétalos (Cuadro 3.11), mientras que para el resto de caracteres no se hallaron diferencias significativas entre ambos años de estudio. Por otra parte, la interacción genotipo × año ha sido significativa sólo en el caso del diámetro del cáliz.

Cuadro 3.10. Análisis de varianza general de las características métricas de la flor.

Fuente de variación	GL	zDC	DCa	LP	NE	A1	A2	A3
<u>Cuadrados medios</u>								
Genotipo	42	202,6***	28,1***	27,5***	59,4***	17,9***	4,9***	26,7***
Error	387	10,65	1,98	1,56	6,94	0,82	0,54	1,11

***: Significativo $P < 0,0001$.

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.11. Análisis de varianza de las características métricas de la flor de 10 selecciones en 2 años del estudio.

Fuente de variación	GL	^z DC	Dca	LP	NE
<u>Cuadrados medios</u>					
Genotipo	9	514***	50,4***	59,38***	225***
Año	1	0,98ns	1,44ns	13,52**	3,92ns
Genotipo × Año	9	12,98ns	5,88**	2,27ns	4,58ns
Error	180	9,11	2,32	2,21	7,23

Ns, **, ***: No significativo o significativo a $P < 0,001$ y $0,0001$.

^z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4.

El reparto de los genotipos según el tamaño de la flor ha mostrado que 34 de las 48 selecciones presentan flores de tamaño de medio a grande (Fig 3.11a). Además 45 selecciones presentan flores de color blanco a blanco rosado, con excepción de H-3-39 y H-3-37, que tienen flores de color rosa (Fig 3.11b). Por otra parte se ha observado que el número de estambres por flor varía entre 26 y 36. Las selecciones G-1-58, G-2-11, G-2-7, G-4-3, H-3-37, G-1-38 y G-2-27 son las que presentan el mayor número de estambres de toda la población mientras que G-3-5 e I-3-27 presentan el número menor.

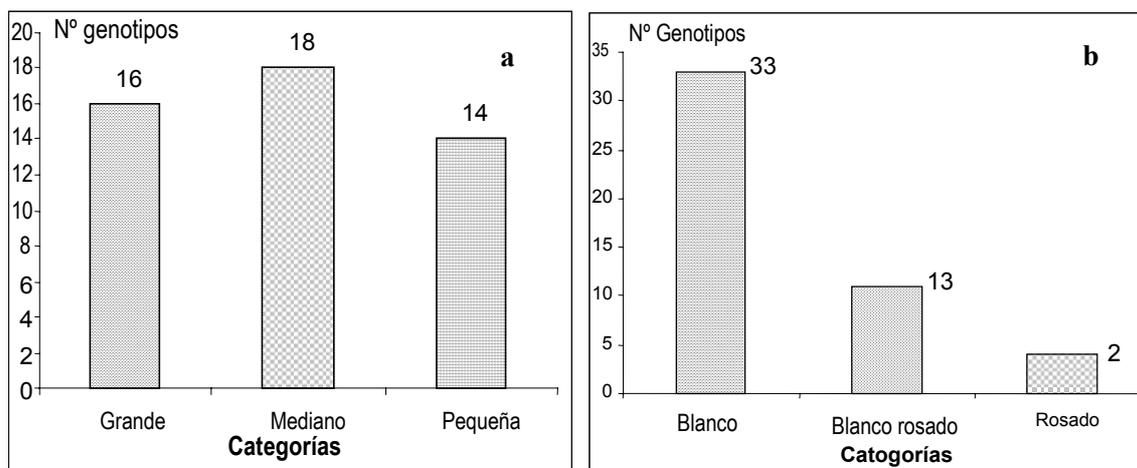


Fig 3.11. Reparto de los genotipos según el tamaño (a) y el color de la flor (b).

3.5 DISCUSIÓN

3.5.1 PORTE, VIGOR Y RAMIFICACIÓN

Este estudio ha confirmado la gran variabilidad en los caracteres morfológicos de las selecciones de almendro estudiadas, como ya se había descrito en otras poblaciones de gran tamaño (Grasselly, 1972; Kester y Asay, 1984). Desde el punto de vista agronómico, el porte del árbol es un carácter de importancia capital ya que condiciona la formación del árbol y la mecanización del cultivo,

especialmente para acercarse al tronco en el momento de la recolección mecanizada y el paso de los aperos por debajo de la copa (Felipe, 2000). En esta población, 38 de 48 genotipos presentan un porte de medio a erecto, lo que puede facilitar la formación de los árboles y la mecanización del cultivo.

Por otra parte, se considera que una arquitectura vertical y cerrada del árbol es una buena estrategia para controlar la pérdida de agua y aumentar la eficacia en la absorción de la luz (Savé et al., 1993). De Herralde et al. (2001) mencionaron que la variedad 'Masbovera', que manifiesta diversos mecanismos de escape y de tolerancia a la sequía, presenta un porte erecto y vertical en comparación con la variedad 'Lauranne', que es más susceptible a la sequía. Ello parece indicar la preferencia de seleccionar nuevas variedades con un porte de medio a cerrado como estrategia para disminuir las pérdidas de agua en condiciones de estrés hídrico. Actualmente, en la mayoría de los programas de mejora del almendro, se considera que un porte de medio a erecto es un carácter deseable y un objetivo razonable (Socias i Company et al., 1998).

En cuanto a la sección del tronco, se observaron diferencias significativas entre los genotipos y la fecha de toma de datos. Desde el punto de vista genético, este carácter está bajo control poligénico (Grasselly, 1972). En general, el vigor de la población es de intermedio a fuerte, con excepción de algunas selecciones de vigor débil y crecimiento muy lento, como G-2-7 y G-5-18. El crecimiento de la sección de tronco es continuo a lo largo del tiempo. No obstante, el ritmo del crecimiento de los genotipos vigorosos ha sido mayor y más rápido que el de los genotipos menos vigorosos. Felipe (2000) señaló que el crecimiento del árbol en los primeros años de su vida debe permitir la formación del esqueleto de la manera más rápida posible, considerando que un crecimiento inicial rápido es un carácter importante a tener en cuenta en un programa de mejora.

La interacción 'tiempo de toma de datos' × 'genotipo' es significativa, lo que indica que en algunos genotipos el crecimiento de la sección de tronco cambia de ritmo, y con ello los genotipos cambian de rango. Los genotipos que presentan este comportamiento son en general de vigor débil a intermedio. Este fenómeno se puede explicar porque en períodos de sequía los genotipos menos vigorosos tienden a ralentizar su crecimiento vegetativo, sobre todo el del tronco. En estas selecciones se ha observado que existe un comportamiento diferencial en condiciones de sequía controladas en cuanto a algunos indicadores morfológicos de la planta (Kodad et al., 2004).

En efecto, el vigor del árbol se ha asociado a una buena adaptación de las especies a las condiciones de sequía, ya que los troncos y las ramas vigorosos pueden considerarse como reservas

de agua que la planta puede movilizar en caso de estrés (Savé et al., 1993). Goldhamer y Fereres (2001) encontraron una buena correlación entre la contracción del tronco y la turgencia y el estado hídrico en el almendro. También se ha observado una reducción en el crecimiento del tronco de plantas jóvenes en condiciones de sequía en algunas variedades de almendro (Nortes et al., 2005; Fereres et al., 1981), por lo que una planta vigorosa podría presentar ventajas en condiciones de sequía.

En cuanto a la sección de las ramas principales y su longitud, existen diferencias significativas entre los genotipos, el año y su interacción, lo que confirma la gran variabilidad genética y ambiental que presentan estos caracteres (Grasselly, 1972; Kester y Assay, 1975). Aunque la sección en la base y la longitud de las ramas aumenta de un año a otro, lo que es de esperar en árboles jóvenes en período de formación, el crecimiento en los dos primeros años ha sido relativamente bajo en comparación con el de los dos últimos años. Ello puede sugerir que en los primeros años los árboles jóvenes tienden a crecer y a acumular las reservas necesarias para su crecimiento posterior (Kester et al., 1996), lo que posiblemente influye sobre la velocidad del crecimiento en este período de su vida. Por otra parte, se ha observado que los ramos de algunas selecciones crecen de una forma más lenta en los primeros dos años y luego emprenden un crecimiento a un ritmo más elevado. Estas observaciones explican la significación estadística de la interacción 'genotipo' × 'año'.

Las plantas vigorosas presentaron un crecimiento interanual importante de los ramos tanto en sección como en longitud. Las variedades con ramos y ramas de gran tamaño presentan un gran interés desde el punto de vista productivo. En melocotonero se demostró que las variedades con ramas vigorosas, de elevada sección en la base, presentan una densidad alta de yemas de flor y un elevado número de yemas de flor laterales (Fournier et al., 1998; Kervalla et al., 1994). Crabbé (1984) consideró que las yemas se inician en los tramos más vigorosos de las ramas. Otros estudios han mostrado una correlación positiva entre la sección en la base de los ramos y la conductividad hidráulica (Kervalla et al., 1994; Tyree et al., 1991), lo que indica que este tipo de ramos está mejor alimentado que otros menos vigorosos y producen frutos de mejor calidad (Génard y Bruchou, 1992).

Por otro lado, los ramos vigorosos son mecánicamente más resistentes y soportan cargas de fruto bastante elevadas en especies como el melocotonero (Génard y Bruchou, 1992). En el almendro, a diferencia de otras especies del género *Prunus*, el peso de los frutos no causa excesivos daños a las ramas que los soportan, pero en el momento de la recolección mecanizada las ramas débiles pueden resultar dañadas, sobre todo en el caso de variedades en las que el desprendimiento del fruto es difícil.

En general, los genotipos que presentan una elevada sección del tronco tienden a presentar ramos vigorosos y de gran tamaño. Las observaciones realizadas a lo largo de este estudio han permitido concluir que es posible predecir el vigor de las ramificaciones a una edad joven del árbol, basándonos en el tamaño del tronco durante los dos primeros años de observación.

La transmisión del vigor a la descendencia depende de las características de los parentales y de su genealogía (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Grasselly (1972) observó la aparición de individuos débiles en cruzamiento entre variedades emparentadas, lo que se debe a fenómenos de degeneración relacionados con la consanguinidad (Grasselly y Olivier, 1988). En cambio, algunas combinaciones de variedades pertenecientes a ecotipos alejados dieron árboles de porte homogéneo y de gran vigor (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Estas consideraciones deben tenerse presentes al plantear los cruzamientos en un programa de mejora.

La ramificación poco abundante se considera un criterio indispensable de selección en algunos programas de mejora (Felipe y Socias i Company, 1985). El reparto de los genotipos según la intensidad de ramificación generó 3 grupos, con el predominio de los genotipos con ramificación de media a poco abundante.

El índice de ramificación mostró diferencias significativas entre los genotipos, los años y su interacción. Este carácter parece estar bajo control poligénico (Grasselly, 1972), aunque es muy difícil determinar cuantos genes intervienen en su determinación (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980) porque su evaluación es bastante compleja (Felipe, 2000). Este carácter aumenta con la edad de la planta en el conjunto de la población.

En general, el aumento del índice de ramificación ha sido muy rápido del 2º al 3º verde; pero entre el 4º y el 5º verde los genotipos ramificaron menos. Esta cadencia de ramificación se correlaciona con el hecho de que durante los primeros años tiene lugar la formación del esqueleto de la planta, en la que el crecimiento y la aparición de los ramos habilita al árbol para crecer en volumen. Más tarde, cuando el árbol es adulto, la aparición y el crecimiento de las ramificaciones se destina básicamente a compensar sistemáticamente la superficie productiva (Kester et al., 1996) y a renovar constantemente la copa (Felipe, 2000). En el almendro, una ramificación compensada se considera un carácter indispensable en una variedad para asegurar una producción regular (Felipe y Socias i Company, 1985).

Se observó un comportamiento diferencial en la tendencia de los genotipos a ramificar: algunos genotipos ramifican más que otros y a un ritmo más elevado. Ello se debe a las características intrínsecas de cada genotipo como se ha observado en otras variedades comerciales ('Ferraduel' y 'Marcona') que tienden a ramificar mucho más que otras variedades (Felipe, 2000). Desde el punto de vista fisiológico, la mejora para este carácter conlleva el aumento de la dominancia apical en el nuevo material vegetal y, por consiguiente, la inhibición de las ramas laterales, que en el almendro soportan la mayor parte de la producción. En efecto, las selecciones que presentan poca ramificación y ramas principales largas lo hacen probablemente por la acción del meristemo terminal, que inhibe el desarrollo y la elongación de las yemas vegetativas laterales, mientras éste sigue su crecimiento y su elongación (Wilson, 2001). Ello disminuye la superficie productiva y dificulta la renovación de la copa. Por lo tanto es preferible tener en cuenta esta tendencia en los programas de mejora y hacer hincapié en este aspecto en el estudio de este carácter.

Desde el punto de vista genético, este carácter parece estar bajo el control genético de un número reducido de genes, que se transmiten de forma aditiva (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). El cruzamiento "muy ramificado" × "no ramificado" parece producir plantones de aspecto intermedio. Estos fenómenos de aditividad también se manifiestan en los cruzamientos 'no ramificado' × 'no ramificado'. Inversamente, el cruzamiento entre variedades muy ramificadas y compactas da plantones muy ramificados, lo que haría imposible cualquier selección en esta población (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Por ello es muy importante tener en cuenta las características morfológicas de los parentales en el momento de emprender los cruzamientos en un programa de mejora. Dada la complejidad de este carácter, se deben tener en cuenta los factores fisiológicos, genéticos y ambientales que intervienen en su determinación para evaluar las nuevas obtenciones.

3.5.2 CARACTERÍSTICAS MÉTRICAS DE LA HOJA

El tamaño de la hoja puede variar en un mismo árbol con su posición, siendo habitualmente mayor en los ramos y menor en los ramilletes de mayo y ramificaciones cortas (Felipe, 2000; Kester y Asay, 1975). Con el fin de minimizar el efecto de esta fuente de variabilidad, se han estudiado las características de las hojas de la parte mediana de ramos del año. Las ramas elegidas para este estudio presentan un mismo orden de vigor.

La distribución de los genotipos según el tamaño de la hoja ha mostrado que la mayoría de los genotipos presentan hojas de tamaño mediano. Las selecciones G-1-23, G-3-3 y G-1-7 son las

selecciones que presentaron hojas de mayor tamaño, mientras que G-5-18 y H-2-22 son las que presentaron de menor tamaño. La superficie de la hoja, el ángulo superior del limbo y la longitud del peciolo presentaron la mayor variabilidad entre genotipos con un coeficiente de variación de 13,7%, 12,9% y 12,4% respectivamente. Ello indica que estos caracteres pueden servir como criterios de diferenciación entre genotipos en el almendro.

Las diferencias significativas para las características de la hoja confirmaron la gran variabilidad de este carácter (Grasselly, 1972; Kester, 1971). La variación interanual de la superficie de la hoja entre los dos años muestra la influencia significativa del año sobre este carácter, lo que indica que este carácter está bajo control genético y ambiental. Sin embargo, la interacción 'genotipo' x 'año' no resultó significativa para este carácter, indicando que las selecciones mantuvieron el mismo orden de variación de un año a otro. Las características de la hoja presentan un especial interés por el papel que juegan en la nutrición de la planta y en la respuesta de las plantas al estrés hídrico.

En la bibliografía se ha mencionado que las características y el comportamiento de la hoja son de importancia capital en la tolerancia y el escape al estrés hídrico (Dale, 1988; Torrecillas et al., 1988). Grasselly (1976) y Kester y Gradziel (1996) ya reseñaron que la mayoría de las especies silvestres de almendro presentan hojas de tamaño muy pequeño, lo que podría ser el resultado de su adaptación a las condiciones xerofíticas de su hábitat natural. Lansari et al. (1994) mencionaron la tendencia de los clones de almendro nativos de Marruecos a tener hojas y peciolos de tamaño reducido, lo que también podría ser el resultado de la selección natural para la tolerancia a la sequía. Por ello podría enfocarse la mejora para la tolerancia de las nuevas obtenciones al estrés hídrico seleccionando aquellos genotipos que presenten hojas de tamaño mediano a pequeño, con una elevada densidad foliar.

3.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FLOR

Pocos estudios se han interesado en determinar las características de la flor en el almendro, ya que, al contrario que en otras especies, las flores son sólo del tipo 'rosáceo', que corresponde a flores de pétalos anchos, de lámina bien desarrollada o solapada. En este apartado se analiza la morfología floral bajo dos aspectos: la morfología externa, que corresponde al aspecto de la flor, e interna, que corresponde a la morfología reproductiva.

Las diferencias significativas entre los genotipos para las características métricas de la flor confirman su variabilidad genética en el almendro (Grasselly, 1972; Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980;

López, 2004). La variabilidad interanual del diámetro de la corola, del cáliz y de la longitud de los pétalos ha mostrado que el efecto del año ha sido significativo sólo en el caso de la longitud de los pétalos. No obstante, el coeficiente de variación entre genotipos es más alto que entre años, 8,62% frente a 7,36%. Ello indica que este carácter depende más del genotipo que del ambiente, como se había descrito para el melocotonero (Klenyán et al., 1998). Grasselly (1972) encontró que la transmisión del tamaño de la flor es cuantitativa, como en otras especies del género *Prunus* como el melocotonero (Monet, 1989), y propuso utilizarlo para la caracterización de variedades porque parece poco afectado por el ambiente, lo que coincide con nuestros resultados.

Por otra parte, la ausencia de significación para la interacción 'genotipo' × 'año' para el diámetro de la corola y el cáliz, indica que estos genotipos no cambian de rango de un año a otro para estos caracteres. Los genotipos con flores de gran tamaño y con un número elevado de estambres presentan siempre las mismas características. Ello indica que, en general, las características de la flor son una característica varietal (Grasselly, 1972). La mayoría de los genotipos presentaron flores de tamaño mediano a grande. En general, la mayoría de los genotipos procedentes del cruzamiento entre 'Bertina' y 'Felisia' presentaron flores de tamaño medio a pequeño debido a un posible efecto de los parentales, ya que las flores de los parentales son de tamaño pequeño a medio (Felipe, 2000). En la bibliografía se menciona que algunas variedades como 'Eureka' o 'Cristomorto' transmiten a sus descendencias el carácter "flor pequeña" (Grasselly, 1972; Kester y Gradziel, 1996).

Además del interés que tiene la morfología floral externa en la caracterización y la identificación varietal, estos caracteres juegan un papel importante como mecanismos de la polinización. La morfología externa de la flor juega un papel importante en la actividad polinizadora de los insectos (Thompson y Coordell, 2001). En la mayoría de las especies, el néctar juega un papel importante en la atracción a las abejas, por sus componentes azucarados (Benedek y Nyeki, 1997; Jablonski et al., 1985). En este estudio no se cuantificó el néctar de las flores de estos genotipos, ya que Baker y Baker (1983) demostraron que su variabilidad en las flores del almendro se encuentra en el rango de consumo de las abejas. Sin embargo, en varios estudios se ha relacionado la habilidad de las flores de atraer a los agentes polinizadores por su color y su tamaño (London-Shafir et al., 2003; Ritzinger y Lyrene, 1999). En el manzano destacó la preferencia de las abejas por el color blanco o de ligera tonalidad rosada (Royo et al., 2002). Por ello, en las variedades autoincompatibles de almendro o en el caso de genotipos autocompatibles pero no autógamos, es preferible el color blanco de las flores para atraer a las abejas. La mayoría de los genotipos estudiados presentan flores de color blanco o blanco con tonalidad rosada, lo que las hace atractivas.

En el almendro se supone que este carácter está bajo el control de un único gen (Jáuregui, 1998) y que la variabilidad observada se debe a la producción de antocianos controlada por este gen. En otro estudio se encontró una gran segregación de este carácter en la descendencia de dos familias de color blanco y de diversas tonalidades rosadas, lo que supone que el gen propuesto por Jáuregui (1998) es co-dominante (López, 2004). En cualquier caso, en ambos estudios se ha observado que el color de la flor segrega en las descendencias, lo que permite ejercer una selección para el carácter de color blanco de la flor, y así mejorar su atracción hacia las abejas.

En cuanto al tamaño de la flor, varios estudios, en almendro y en otras especies, han puesto en evidencia el papel positivo que juega el diámetro de la corola sobre la actividad polinizadora de las abejas y la deposición de polen en el estigma (Jablonski et al., 1985; London-Safir et al., 2003; Ritzinger y Lyrene, 1999; Thompson y Goodell, 2001). Las flores con un gran diámetro de la corola son más visitadas por las abejas, ya que una flor abierta y con un gran diámetro no entorpece la actividad de la abeja en el momento de coleccionar y depositar el polen (Vaknin et al., 2001b), problema que se ha observado en una variedad de almendro como 'Mission' (Thompson y Goodell, 2001), que se caracteriza por flores de tamaño pequeño (Felipe, 2000). Lo mismo se ha observado en otras especies como el arándano, *Vaccinium* spp. (Ritzinger y Lyrene, 1999). Estas consideraciones indican que es razonable seleccionar para "gran diámetro de corola".

En cuanto a las características internas de la flor, existen diferencias significativas entre los genotipos para la longitud del estilo, el número de estambres y la longitud de los estambres inferiores y superiores. Esta variabilidad coincide con otros resultados (Grasselly, 1972; Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980; López, 2004). La posición relativa anteras/superficie del estigma divide los 48 genotipos en 32 con flores epiestigmáticas, 2 mesoestigmáticas y el resto hipoestigmáticas. Estos resultados coinciden con los de otras selecciones y variedades de almendro (Alonso, 2004; Bernad y Socias i Company, 1994; De Palma y Godini, 1994; Godini et al., 1992; López, 2004). Por otra parte, las observaciones subjetivas de este carácter en años posteriores han mostrado que los genotipos mantienen el mismo tipo de flor de año en año.

3.6 IMPLICACIÓN EN UN PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA

En especies como el manzano (Lespinasse, 1992), el peral (Sansavini y Musacchi, 1994), el melocotonero (Scorza et al., 2000) y el olivo (Rallo, 2005), la selección de nuevas variedades se ha orientado hacia un tamaño reducido del árbol y un porte vertical y cerrado. Sin embargo, en el

almendro se han llevado a cabo pocos estudios sobre los caracteres morfológicos del árbol con el fin de seleccionar genotipos con una morfología y una arquitectura adecuadas al cultivo moderno. Ello se debe probablemente a que esta especie se ha considerado durante mucho tiempo como marginal, rústica y de poco interés comercial en comparación con los otros frutales.

La baja productividad de esta especie en estas condiciones marginales, con escasez de recursos hídricos, así como la elevada competitividad de otros países y la tendencia del consumidor a exigir productos de alta calidad, han determinado la tendencia actual del cultivo del almendro en España, de uno tradicional y extensivo hacia otro moderno, intensivo y productivo. Ello implica crear nuevas variedades que presenten una morfología y una arquitectura del árbol que permitan alcanzar este reto. La gran variabilidad genotípica y ambiental de los caracteres morfológicos del árbol confirma que están bajo control genético y ambiental y su grado de variación fenotípica permiten incorporar estos caracteres en el esquema de selección. Los resultados de este trabajo y los de otros autores indican la posibilidad de realizar una selección efectiva para los caracteres que determinan la arquitectura del árbol en las descendencias.

3.7 CONCLUSIÓN

La evaluación de la morfología del árbol es un paso importante en la selección de nuevo material vegetal. El estudio del porte de los árboles ha demostrado que los genotipos presentan distintos tipos de porte, siendo el semi-erecto a erecto el más frecuente en esta población. Este tipo de porte facilita las operaciones culturales, ya que los árboles de este tipo presentan un volumen más compacto que los árboles de porte abierto o caedizo. La variabilidad del vigor de la planta, expresado por la sección del tronco y de las ramas principales, ha permitido distinguir y diferenciar los genotipos e identificar aquellos que presentan un crecimiento inicial rápido (G-2-23, G-1-67; H-3-39; G-3-8...).

El estudio de la ramificación (índice e intensidad de ramificación) ha permitido distinguir los genotipos e identificar aquellos que presentan una ramificación poco abundante, como I-3-11 y G-5-2. Así mismo se han podido identificar los genotipos que tienden no sólo a ramificar poco sino también a compensar su superficie reproductiva y su copa, como G-6-14, G-2-25, G-1-23, I-2-12, etc...

La caracterización de las hojas ha permitido distinguir los genotipos y establecer su clasificación según su tamaño y su densidad foliar. Así mismo se ha confirmado la variabilidad genética y ambiental de los caracteres métricos de la hoja. Los caracteres que presentan la mayor variabilidad son la

superficie de la hoja, el ángulo superior del limbo, el índice anchura/longitud de la hoja y la longitud del pecíolo. Estos caracteres se refieren a la forma y al tamaño de la hoja y son los más apropiados para utilizarlos en la caracterización y la identificación varietal.

El carácter “diámetro de la corola” se debe tener en cuenta en el momento de la evaluación de los genotipos debido a su importancia en el proceso de polinización, sobre todo en el caso de genotipos autocompatibles, pero no autógamos.

La reunión de un conjunto de caracteres morfológicos deseables en una variedad, como un tamaño de hoja de mediano a pequeño, una elevada densidad foliar, un porte vertical y cerrado, una ramificación poca abundante, un vigor de intermedio a fuerte y un crecimiento vegetativo inicial rápido es un objetivo alcanzable en un programa de mejora, ya que se identificaron algunas selecciones que presentan, además de estos caracteres, una muy buena producción, con un buen nivel de tolerancia a las heladas y un grado adecuado de autogamia.

Se han podido identificar los genotipos G-1-23; G-1-41; G-1-67; G-1-64; G-2-1; G-2-11; G-2-2; G-2-22; G-2-25; G-2-26; G-2-27; G-3-28; G-3-65; G-4-3; G-5-25; G-6-14; I-3-27; I-1-95; I-3-10 e I-3-65 que agrupan un conjunto de caracteres morfológicos deseables en un programa de mejora, con un tamaño de hoja mediano a pequeño, una elevada densidad foliar, un porte vertical y cerrado, una ramificación poco abundante, un vigor de intermedio a fuerte y un crecimiento vegetativo inicial rápido.

Las evaluaciones cuantitativas de algunos caracteres como el vigor, el tamaño de la hoja y la intensidad de ramificación coinciden con las evaluaciones cualitativas según los descriptores del IPGRI. Ello permite reducir el coste y el tiempo de la evaluación y de determinación de estos caracteres.

Capítulo 4. Densidad floral y capacidad florífera

4. DENSIDAD FLORAL Y CAPACIDAD FLORÍFERA

4.1 INTRODUCCIÓN

La determinación de la producción y de la productividad de una variedad es compleja, ya que depende de varios factores intrínsecos (propios de la variedad) y extrínsecos (factores externos), así como de la interacción entre los factores genéticos y los ambientales. En el caso de los frutales, el número de yemas de flor diferenciadas en el año anterior a la floración es un componente fundamental de la producción (Werner et al., 1988), cuya regularidad depende principalmente de la formación anual de un número suficiente de botones florales. Para el almendro, no sólo es necesario que el árbol produzca una gran cantidad de flores, sino que su polinización debe ser adecuada (Godini, 2002) para que se fecunden en un número suficiente y así en un porcentaje elevado lleguen a producir frutos y se asegure una buena producción (Felipe, 2000; Kester y Griggs, 1959).

Así, desde el punto de vista de la productividad, un cuajado elevado es un carácter muy deseable para asegurar una cosecha comercial. Este carácter depende de la identidad biológica de cada variedad (Socias i Company et al., 2004) y de las condiciones climáticas y ambientales (Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2004). En diversas ocasiones se ha relacionado una buena producción en condiciones normales con una densidad floral alta y una calidad adecuada de la flor (Bernad y Socias i Company, 1998; Socias i Company et al., 2004). Por ello, la determinación de la densidad floral y del cuajado de una variedad determinada es un paso imprescindible para evaluar su potencialidad productiva, ya que la importancia agronómica que tiene este carácter se debe a su correlación con la intensidad de producción (Socias i Company et al., 1998).

Como consecuencia de ello se llevó a cabo este estudio con el fin de determinar el potencial de las selecciones estudiadas a producir yemas de flor y confirmar que la densidad floral y la capacidad florífera en el almendro son una característica varietal. Así mismo se determinó la influencia de los diferentes soportes de fructificación y del año climático sobre estos caracteres.

4.2 MÉTODOLÓGIA

Se determinó la densidad floral y las características morfológicas de los soportes de fructificación de las selecciones durante cuatro años consecutivos (2002-2005). Para ello se escogieron cuatro ramas por clon más o menos homogéneas, del mismo orden y de orientaciones distintas dentro del

árbol. A pesar de que estas selecciones poseen distintos tipos de ramificación se intentó que esta similitud de las ramas elegidas se cumpliera también entre selecciones, siguiendo dos criterios: que las ramas se encontrasen a una altura aproximada de 1,50 m sobre el suelo y que tuvieran una longitud aproximada de 1 m. En cada rama elegida, siguiendo los criterios de Church y Williams (1983), durante el mes de enero de cada año se midió la longitud de todas las ramificaciones y se contaron todas las yemas de flor en el estado B (Felipe, 1977) (Fig 4.1). En las mismas ramas se determinó el cuajado final durante el mes de junio de los años 2003 y 2004 tras el conteo del número de frutos, mediante el cociente entre el número de frutos y el número de yemas inicial. Se determinó el cuajado, la productividad y la densidad de fruto de cada rama según la sección de la misma (Socias i Company et al., 2004).

Los caracteres estudiados y las abreviaturas correspondientes se definen en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Caracteres medidos y abreviaturas correspondientes.

Carácter	Abreviatura
Sección de la rama principal (cm ²)	SEC
Longitud de las ramas principales (cm)	LRP
Longitud de las ramificaciones (cm)	LR
Longitud de las ramas del año (cm)	LRA
Longitud total de las ramas (cm)	LTR
Número de ramificaciones	NR
Índice de ramificación (NR/LRP)	IR
Número de ramas del año	Nra
Densidad de las ramas del año (Nra/LRP)	Dra
Número de ramilletes de mayo	Nsp
Densidad de ramilletes de mayo (Nsp/LRP)	Dsp
Número de yemas totales	NYT
Número de yemas de las ramas del año	NYR
Número de yemas / ramillete de mayo	NYsp
Densidad floral (NYT/LTR)	DF
Capacidad florífera (NYT/SEC)	CF
Densidad floral de las ramas del año (NYR/LRA)	DFS
Densidad floral de los ramilletes de mayo	DFsp

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2000). Para determinar el efecto del genotipo y de las condiciones climáticas del año sobre la densidad floral y la capacidad florífera se aplicó el análisis de varianza y para estudiar la influencia de las características morfológicas de los soportes de fructificación sobre estos caracteres se aplicó una regresión múltiple, utilizando el procedimiento PROC GLM y PROC REG, respectivamente. Con el objeto de comparar las potencialidades y las capacidades floríferas de las selecciones y de sus

parentales, se aplicó el Análisis en Componentes Principales (ACP) y el análisis de agrupamiento jerárquico, utilizando los procedimientos PROC PRINCOM y PROC CLUSTER, respectivamente.



Calculo de la densidad floral teniendo en cuenta todas las ramificaciones.



Una selección que presenta una fructificación mixta, tanto sobre ramos del año (flecha verde) como en ramilletes de mayo (flecha amarilla).



Una selección que presenta una fructificación preferiblemente sobre ramilletes de Mayo.



Presentación de un ramillete de mayo en almendro.

Fig 4.1. Densidad floral y tipos de fructificación en almendro.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1 VARIABILIDAD Y ESTABILIDAD DE LA DENSIDAD Y CAPACIDAD FLORÍFERA DE LAS SELECCIONES ESTUDIADAS

En primer lugar se debe indicar que en este apartado sólo se presentan los resultados de 42 selecciones, debido a que 5 de ellas (H-1-81, H-2-22, H-2-111, G-3-12 y G-5-2) produjeron en el año 2002 muy pocas yemas de flor y en los años siguientes su densidad floral fue muy baja. Ello puede significar que la entrada en producción de estas selecciones tarde un año más en comparación con el resto, así como que su potencialidad productiva sea baja debido a su densidad floral reducida.

Los resultados indican que existe una gran variabilidad entre las selecciones en cuanto a los caracteres estudiados (Cuadro 4.2). Al analizar los coeficientes de variación entre genotipos en cada año del estudio se ha determinado que en el primer año este coeficiente ha sido muy alto y superior al de los años posteriores (Cuadro 4.2). Esta disminución de los coeficientes de variación de un año a otro indica que la variabilidad existente entre los genotipos de la población estudiada se ha ido reduciendo a lo largo de los años del estudio. Ello se debe principalmente a las diferencias en la entrada en producción que existe en esta especie (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). En efecto, en el primer año algunos genotipos presentaron valores muy bajos mientras que otros los presentaron altos. En los años siguientes los genotipos menos floríferos han ido aumentando su potencialidad florífera, dando como resultado una disminución de las diferencias entre los distintos genotipos. Al comparar los coeficientes de variación entre genotipos en los años 2003, 2004 y 2005 con la variación interanual, se ha observado que esta última ha sido del mismo orden que la de los años 2003 y 2004 y superior a la del 2005, indicando que el factor año climático también influye en la determinación de estos caracteres.

Cuadro 4.2. Variabilidad intra-anual e inter-anual de la densidad floral y la capacidad florífera.

Año	Densidad floral		Capacidad florífera	
	Media \pm SD	CV (%)	Media \pm SD	CV (%)
2002	0,17 \pm 0,11	64,04	25,2 \pm 17,6	69,62
2003	0,63 \pm 0,21	32,27	79,5 \pm 29,1	44,88
2004	0,51 \pm 0,17	33,72	65,9 \pm 26,1	39,70
2005	0,74 \pm 0,16	21,77	86,57 \pm 37,7	43,61
Todos los años	0,49 \pm 0,15	31,5	64,33 \pm 30,2	46,9

El análisis de varianza puso en evidencia la existencia de diferencias significativas para la densidad floral y para la capacidad florífera entre las selecciones estudiadas (Cuadro 4.3), lo que concuerda con los resultados de Socias i Company (1988) y Bernad y Socias i Company (1998) para otras variedades

de almendro. Los mismos resultados se han encontrado igualmente en otras especies, como el manzano (Simidchev, 1976) y el melocotonero (Okie y Werner, 1996; Werner et al., 1988).

Cuadro 4.3. Análisis de varianza para la densidad floral y la capacidad florífera.

Fuente de variación	GL	Densidad floral	Capacidad florífera
Selección	41	0,22 ***	6704,7 ***
Año	3	9,68 ***	124941,1 ***
Selección × Año	123	0,11 ***	2477,9 ***
Residual	504	0,02	912,5
Repetibilidad		0,35	0,32

***: Significativo a $P < 0,0001$.

Por otro lado, se han encontrado diferencias significativas entre los valores de los cuatro años del estudio para algunas selecciones, así como para la interacción selección × año (Cuadro 4.3), lo que lleva a deducir que estos caracteres están bajo la influencia de las condiciones climáticas del año y que cada selección se comporta de forma distinta de un año a otro (Fig 4.2 y 4.3).

La baja heredabilidad estimada para la densidad floral y para la capacidad florífera, de 0,30 y 0,26 respectivamente (Sarvisé y Socias i Company, 2005), indica que la variabilidad observada está en parte controlada por factores genéticos, pero también por otros factores, como las condiciones climáticas del año (Bernad y Socias i Company, 1998). Otros autores también encontraron una baja heredabilidad para la intensidad de floración, concepto que puede compararse con la densidad lineal calculada en este trabajo, del orden de 0,46 (Vargas et al., 1984) y de 0,45 (Dicenta et al., 1993a).

Al analizar la variación interanual de estos caracteres, considerando el conjunto de los genotipos estudiados (Fig 4.4), se observó que la media de la densidad floral de toda la población fue inferior en el 2002. Ello se debe a la joven edad de las plantas (2º verde), que probablemente no habían alcanzado la fase que les permita expresar su potencialidad florífera, ya que este carácter tiene tendencia a aumentar con la edad, por lo que Kester y Asay (1975) recomendaron seleccionar para este carácter a partir del cuarto o quinto año de floración.

Sin embargo, se observó que los valores del año 2004 fueron inferiores a los de los años 2003 y 2005 (Fig 4.4), lo que se debe probablemente a las condiciones climáticas extremas (altas temperaturas, falta de precipitaciones, etc...) que tuvieron lugar en el verano del año 2003, lo que posiblemente perjudicó el proceso de la iniciación floral.

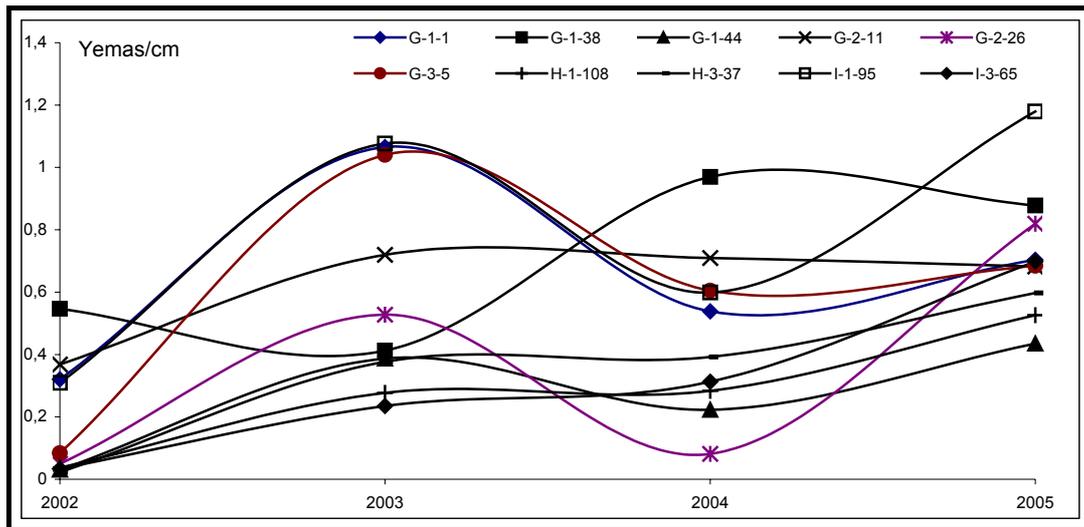


Fig 4.2. Evolución de la densidad floral de algunas selecciones en los años del estudio.

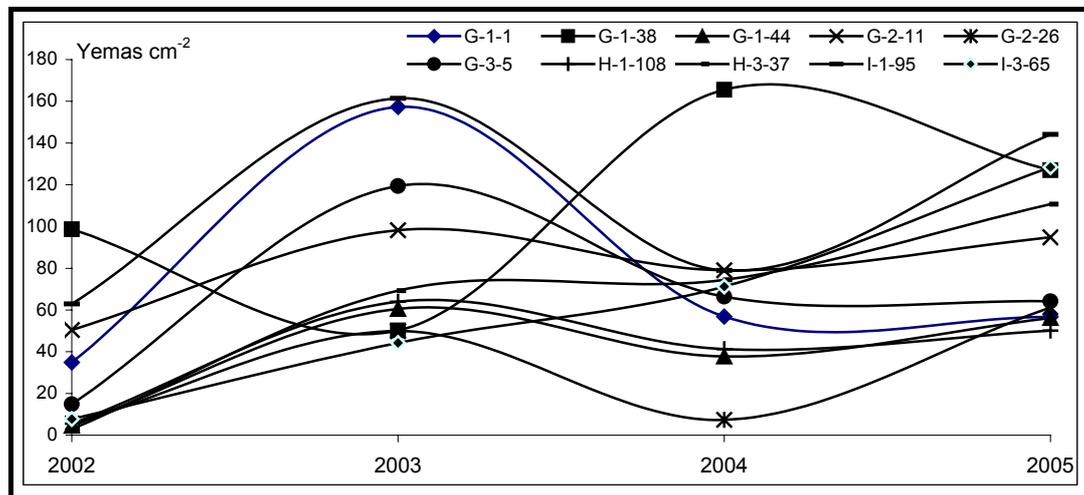


Fig 4.3. Evolución de la capacidad florífera de algunas selecciones en los años del estudio.

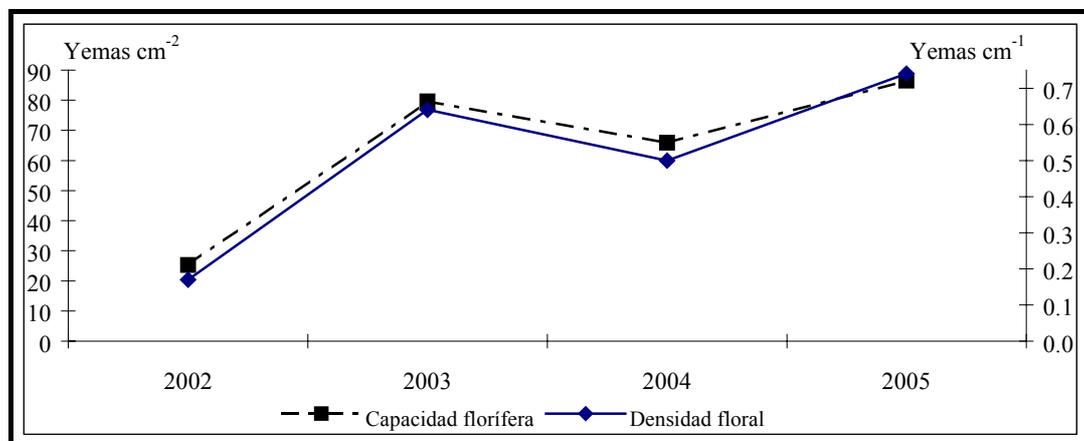


Fig 4.4. Evolución interanual de la densidad floral y la capacidad florífera de las selecciones estudiadas.

En el almendro, como en las otras especies (Raseira y Moore, 1986), la densidad floral es el resultado de la iniciación floral del año anterior (Kester y Gradziel, 1996; Lamp et al., 2001), lo que generalmente ocurre al principio o al final del verano dependiendo de la variedad y de la climatología de la zona (Jacoboni y Pinnola, 1994; Lamp et al., 2001). Cualquier anomalía durante este período puede retrasar o perjudicar el desarrollo normal de la iniciación y la diferenciación (Lamp et al., 2001).

En el almendro, como en el albaricoquero (Ruiz-Sánchez et al., 1999) y el melocotonero (Proebsting et al., 1989), el agua aportada en los meses de verano juega un papel importante en el desarrollo de las yemas, y cualquier tipo de estrés hídrico puede perjudicar este proceso y llevar a la inhibición de la formación de las yemas de flor (Kester, 1976). El resultado final en estas condiciones es una reducción de la cantidad de yemas de flor como se ha comprobado en algunas variedades de almendro en condiciones de riego deficitario (Goldhamer y Viveros, 2000). Este fenómeno puede ser el resultado de una mala nutrición debido a la falta de la acumulación de los carbohidratos por la planta o del mal reparto de los nutrientes debido al desequilibrio entre el crecimiento vegetativo y la diferenciación floral (Goldhamer y Viveros, 2000).

Las diferencias entre los distintos años del estudio podrían ser también debidas a la sensibilidad de una parte de estas selecciones a la vecería, como es el caso de las selecciones G-1-44 y G-2-26. La sensibilidad de algunas variedades a la alternancia depende en gran parte de su carga productiva, ya que en el almendro la productividad se basa en la maximización del rendimiento por árbol (Kester y Gradziel, 1996), lo que implica un mayor número de frutos por árbol (Godini, 2002). Ello puede perjudicar la distribución de los nutrientes entre las distintas partes del árbol, sobre todo en condiciones de estrés (Goldhamer y Viveros, 2000). No obstante, algunas variedades de almendro como 'Price' y 'Sonora' presentan sensibilidad a la vecería, incluso en plantaciones modernas y bien cuidadas (Kester y Gradziel, 1996). El hecho que la interacción selección \times año sea significativa indica que la magnitud de los valores obtenidos y el orden de las selecciones pueden cambiar de un año a otro. Ello indica que la evaluación para estos caracteres se debe hacer tanto a nivel individual como a nivel poblacional y a lo largo de varios años.

Los valores bajos de la repetibilidad de la densidad floral y de la capacidad florífera (Cuadro 4.3) indican que los valores obtenidos en el primer año del estudio no son suficientes para predecir el comportamiento de los genotipos estudiados en años posteriores. Ello indica que la determinación de estos caracteres se debe realizar en varios años para determinar su magnitud de variación y permitir la clasificación de las variedades en función de los valores de cada una y de su variación interanual.

A pesar de la fluctuación de los valores que presentan la densidad floral y la capacidad florífera de un año a otro, las selecciones que presentaron valores altos durante el primer año del estudio, como G-2-23, I-1-95 y G-1-38, siguieron presentando valores elevados para estos caracteres en los años posteriores. Por lo tanto, se puede concluir que estos caracteres son una característica varietal y que la selección para ellos es un objetivo razonable en un programa de mejora genética del almendro, aunque su evaluación se debe realizar a partir del tercer verde y durante un mínimo de 3 años.

4.4.2 INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS SOPORTES DE FRUCTIFICACIÓN

A pesar de que las ramas en estudio se eligieron de forma homogénea, el análisis de algunos caracteres morfológicos de los soportes de fructificación, tanto a nivel individual como en cada año del estudio, han mostrado la existencia de una gran variabilidad entre las ramas. Estas diferencias podrían deberse a las características intrínsecas de cada genotipo o las características de los soportes de ramificación o de la orientación y la posición de cada rama en la copa del árbol.

En este estudio no se tuvieron en cuenta la posición y la orientación de cada rama estudiada, aunque en otros estudios, tanto en el almendro (Polito et al., 2002) como en manzano (Lauri et al., 1997) y albaricoquero (Alméras et al., 2002), se ha mencionado que la posición y la orientación de las ramas influye en la densidad de yemas de flor en la rama. En el almendro también se encontró una correlación entre la superficie foliar y la densidad floral (Polito et al., 2002). Los caracteres considerados en este apartado son la sección de la rama principal, la longitud de la rama principal, la longitud de las ramificaciones, el índice de ramificación, la densidad de ramilletes de mayo y la densidad de ramos del año. Se van a discutir los resultados de los análisis llevados a cabo con datos de 2003, 2004 y 2005.

La regresión multilínea (Cuadro 4.4) ha mostrado que la sección de la rama principal, la longitud total de ramificaciones, la densidad de ramilletes de mayo, la densidad de ramos del año y el índice de ramificación afectan a la densidad floral. El análisis de estos resultados mostró que la sección de la rama principal afecta positivamente a la densidad floral mejorando, probablemente, la conductividad hidráulica de estas ramas y la nutrición mineral que favorece una buena iniciación floral (Bezzaouia, 1989). En el melocotonero se ha mostrado que las variedades que presentan ramas vigorosas, con una alta sección en su base, presentan una elevada densidad de yemas de flor y un elevado número de yemas de flor laterales (Kervella et al., 1994; Fournier et al., 1998). También en manzano Crabbé (1984) ha mencionado que las yemas se inician en los tramos más vigorosos de las ramas. En diversas

especies, como *Schefflera morototoni*, *Acer saccharum*, *Thuja occidentalis* (Tyree et al., 1991) se ha demostrado que la conductividad hidráulica de las ramas aumenta con la sección de las mismas, y con ello una buena asimilación del CO₂ por las hojas que soportan estas ramas, lo que redonda en el conjunto de la buena nutrición de estas ramas.

Cuadro 4.4. Variables morfológicas que influyen en la densidad floral total.

Variable	Año					
	2003		2004		2005	
	SD	t	SD	t	SD	t
Intercepción	0,21	2,56 *	-0,15	-1,99 *	0,22	2,2 *
Sección de la rama principal	0,01	0,031 *	0,025	1,08 *	0,006	0,62 *
Longitud total de ramificaciones	-0,12	-1,45 *	-0,005	-1,85 *	-0,04	-0,85 *
Longitud de la rama principal	0,002	0,52 ns	0,008	2,05 ns	0,0006	0,01 ns
Longitud de los ramos del año	0,001	0,32 ns	0,004	1,54 ns	-0,0008	-0,65 ns
Densidad de los ramilletes de mayo	8,05	2,75 ***	2,31	4,25 ***	0,91	5,32 ***
Densidad de los ramos del año	7,06	2,46 *	1,34	2,41 **	1,15	7,41 **
Índice de ramificación	-6,09	-2,10 **	-2,231	-3,69 **	-0,76	3,09 **

ns, *, **, ***: No significativo o significativo a $P < 0,05$, $0,01$ o $0,001$, respectivamente, por el test t .

Por otro lado, se ha encontrado que la longitud total de las ramificaciones afecta negativamente a la densidad floral. Ello se debe probablemente al desequilibrio entre el crecimiento vegetativo y la diferenciación floral (Krekule, 1979), lo que puede provocar un desequilibrio en la distribución de los nutrientes. Así, cuando la mayor parte de los recursos disponibles de la planta se destinan a favorecer el crecimiento vegetativo, quedan pocos recursos para la diferenciación floral, lo que se traduce en una menor producción de yemas en ramas largas (Bernad y Socias i Company, 1998), fenómeno muy destacable en plantas jóvenes con una mayor tendencia a crecer que a producir flores.

No obstante, en otras especies, como el cerezo y el melocotonero, se encontraron correlaciones positivas entre la longitud de las ramas y la formación de yemas de flor (Dencker y Hansen, 1994). Finalmente el índice de ramificación afecta de forma negativa la densidad floral mientras que la densidad de ramilletes de mayo y la de ramos del año influyen positivamente en este carácter.

4.4.3 ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD Y DE LAS SEMEJANZAS ENTRE LAS SELECCIONES Y SUS PARENTALES: aplicación del análisis de componentes principales

Con el objetivo de caracterizar la densidad floral y la capacidad florífera de estas selecciones en comparación con sus parentales, asociando estos caracteres a la morfología de los soportes de fructificación, se aplicó el Análisis de Componentes Principales y el Agrupamiento Jerárquico. Debido a

la gran variación interanual de estos caracteres se procedió a analizar los datos de cada año (2003, 2004 y 2005) y después se aplicó este análisis a los datos medios de los tres años.

4.4.3.1 La variabilidad de los caracteres dentro de la población estudiada

La varianza explicada por los tres primeros ejes del ACP en cada año del estudio (2003, 2004 y 2005) se presentan en el Cuadro 4.5. Debe subrayarse que los caracteres considerados en estos tres ejes explican más del 75% de la variabilidad observada en la población estudiada.

Cuadro 4.5. Varianza explicada por los tres ejes principales en cada año del estudio.

Año	% de la varianza total			Varianza acumulada (%)
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	
2003	35,98	24,21	14,97	75,16
2004	42,12	23,30	13,36	78,78
2005	38,71	27,52	13,22	79,45

El análisis de las correlaciones entre las variables y los componentes principales para cada año de estudio (Cuadro 4.6) muestra que la capacidad florífera, la densidad floral y el número total de yemas son las variables que más contribuyen a la explicación de la variabilidad observada en la población estudiada, ya que estos caracteres presentan una correlación elevada con el primer componente principal, que explica más del 35% de la varianza total (Cuadro 4.5). Estos resultados confirman que la potencialidad florífera en el almendro es una característica varietal.

Por otra parte es de destacar que la contribución de la densidad de ramilletes de mayo y la densidad floral de los mismos en la variabilidad observada han sido muy importantes sólo en los años 2004 y 2005, todo lo contrario que en el año 2003. Ello se debe probablemente a la tardanza de la aparición de los ramilletes de mayo (Kester y Gradziel, 1996) y a su lenta entrada en producción. El seguimiento de la aparición de los ramilletes de mayo, así como de su entrada en producción de yemas de flor ha confirmado que este tipo de soportes tarda en aparecer y expresar todo su potencial productivo (Fig 4.5), mientras que la densidad de ramos del año y su densidad floral han contribuido a la explicación de la varianza total en los tres años del estudio. Todo ello responde al hecho que, en el almendro, la producción a partir de las yemas laterales situadas en ramos largos es una característica de las variedades de rápida entrada en producción (Kester y Gradziel, 1996).

La representación gráfica de los genotipos sobre los tres primeros ejes de los componentes principales en cada año del estudio (Fig 4.6) ha permitido observar que los genotipos estudiados

cambian de posición de un año a otro. Ello se debe probablemente a la fluctuación interanual de los caracteres estudiados en función de las condiciones climáticas del año, de la edad de la planta y de la sensibilidad de cada genotipo a la vecería. En el año 2003 (3^{ra} verde) se observó una clara separación de los parentales del resto de la población estudiada, a excepción de 'Desmayo Langueta' y 'Ferragnès', que presentaron unos valores de densidad floral, capacidad florífera, densidad de ramos del año y número de yemas más elevados. Sin embargo en los años 2004 y 2005 no se observó una separación de los parentales de sus descendientes, ya que algunos genotipos (G-1-38, I-1-95, G-3-8, etc...) presentaron valores similares o incluso superiores a los de sus parentales. Ello confirma que la edad de la planta condiciona la potencialidad productiva del almendro.

Cuadro 4.6. Contribución de las variables de la densidad floral en la explicación de los tres ejes principales del análisis de componentes principales en cada año del estudio.

*Variables	Año	Componentes principales		
		Eje 1	Eje 2	Eje 3
SEC	2003	0,08	0,33	0,01
	2004	0,14	0,31	0,19
	2005	0,10	0,29	0,58
LRP	2003	-0,09	0,25	-0,05
	2004	-0,03	0,21	0,64
	2005	0,11	0,48	0,04
LRT	2003	0,03	0,39	0,56
	2004	0,24	0,49	0,02
	2005	0,24	0,42	-0,03
LRa	2003	0,00	0,27	0,60
	2004	0,23	0,48	-0,08
	2005	0,21	0,47	-0,11
IR	2003	0,19	-0,44	0,20
	2004	0,37	-0,08	-0,33
	2005	0,24	-0,21	0,40
DRa	2003	0,30	-0,26	0,23
	2004	0,33	0,28	-0,35
	2005	0,35	0,12	-0,38
DSp	2003	0,24	0,30	-0,14
	2004	0,30	-0,33	-0,14
	2005	0,36	-0,21	-0,04
NYT	2003	0,47	0,18	0,05
	2004	0,43	0,05	0,15
	2005	0,45	0,09	0,00
DF	2003	0,48	-0,01	-0,14
	2004	0,37	-0,28	0,20
	2005	0,36	-0,27	0,06
DFRa	2003	0,39	0,02	-0,15
	2004	0,31	-0,25	0,25
	2005	0,31	-0,24	0,05
DFSsp	2003	0,05	0,42	-0,38
	2004	0,30	-0,17	0,21
	2005	0,31	-0,08	0,40
CF	2003	0,45	-0,02	0,07
	2004	0,36	-0,15	-0,03
	2005	0,34	-0,15	-0,42

* Las abreviaturas se corresponden a las definidas en el cuadro 4.1.

Por otra parte se ha observado que algunos genotipos no han mejorado su potencialidad productiva a través de los años de estudio (H-1-81, H-1-108, H-2-111, G-3-12 y H-2-22), mientras que otras selecciones (G-2-23, G-2-25 y I-3-11) han mejorado considerablemente su potencialidad florífera. Así mismo, algunas selecciones (G-1-38, G-2-11, G-3-5, G-3-8 y I-1-95) presentaron una buena potencialidad florífera desde el primer año y que se mantuvo en los años posteriores (Fig 4.6). Ello pone en evidencia la existencia de un comportamiento diferencial entre los genotipos en cuanto al carácter de entrada rápida en producción y de expresión de su plena productividad.

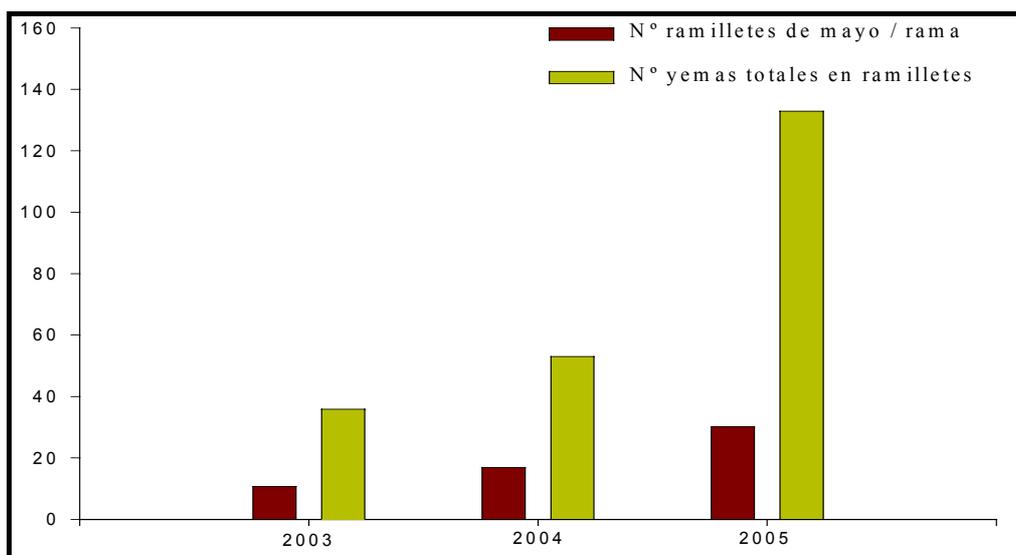


Fig 4.5. Evolución del número total de ramilletes de mayo y del número de yemas de los mismos a lo largo de los años.

4.4.3.2 Similitudes entre las selecciones estudiadas y sus parentales

Para determinar las similitudes entre las selecciones estudiadas y sus parentales se ha procedido a realizar una ACP sobre los datos medios de los tres años. La varianza explicada por los tres primeros ejes del PCA ha sido 38,85%, 27,73% y 13,52% de la varianza, con un total de varianza explicada del 80,1% (Cuadro 4.7). Por lo tanto este análisis explica como mínimo el 80% de la variabilidad observada en la población estudiada.

El análisis de las correlaciones entre las variables y los componentes principales (Cuadro 4.7) muestra que el número total de yemas, la densidad floral total, la densidad floral de los ramos del año, la densidad de yemas/ramillete de mayo, la capacidad florífera, la densidad de ramos del año y la densidad de ramilletes de mayo, son las variables que más contribuyen a la explicación del eje 1. Ello significa que este eje es un eje de potencialidad florífera de los soportes de fructificación.

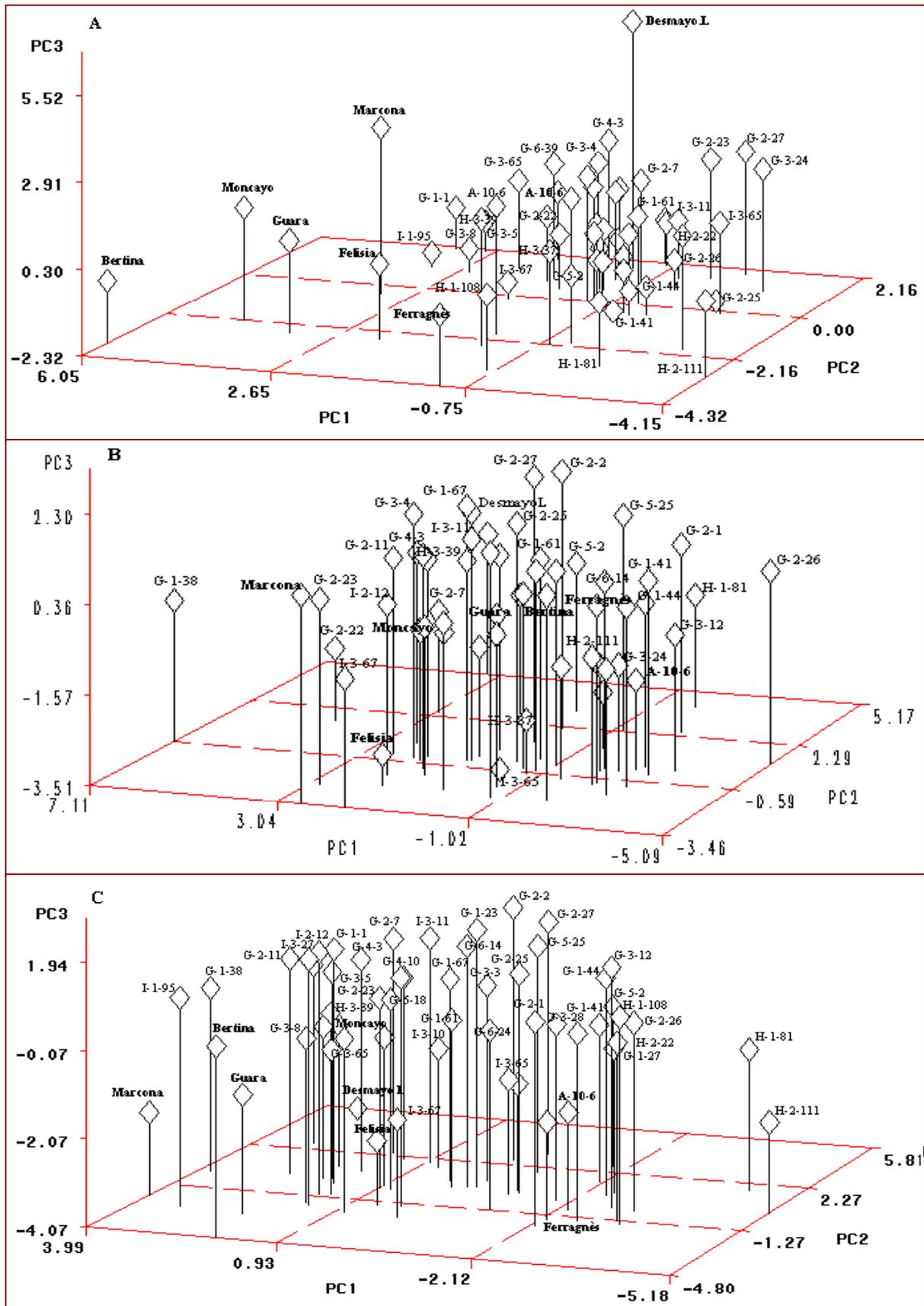


Fig 4.6. Representación gráfica de la población estudiada para los caracteres de densidad floral y de soportes de ramificación en cada año de estudio: A) 2003, B) 2004 y C) 2005.

Las variables de longitud de la rama principal, longitud total de las ramificaciones, longitud de los ramos del año y densidad floral son las que contribuyen a la explicación del eje 2, por lo que este eje es de las características métricas de los soportes fructíferos. En cuanto a las variables que explican el eje 3, son la sección en la base de las ramas principales, el índice de ramificación, la densidad de ramos del año, la densidad de yemas/ramillete de mayo y la capacidad florífera, por lo que este eje es de vigor, intensidad de ramificación y capacidad florífera.

Cuadro 4.7. Contribución de las variables consideradas en la explicación de los tres ejes principales.

Componentes principales		Eje 1	Eje 2	Eje 3
Variables*	% de varianza total	38,85	27,73	13,32
SEC		0,10	0,27	0,58
LRP		0,11	0,48	0,04
LRT		0,24	0,42	-0,03
Lra		0,21	0,47	-0,11
IR		0,24	-0,21	0,40
Dra		0,35	0,12	-0,38
DSp		0,26	-0,21	-0,04
NYT		0,45	0,09	0,00
DYSp		0,31	-0,08	0,40
DF		0,36	-0,31	0,06
CF		0,34	-0,15	-0,42
DFRa		0,30	-0,23	0,05

* Abreviaturas correspondientes a las definiciones del cuadro 4.1.

En cuanto al **grupo 1**, está constituido por 23 selecciones y las variedades 'Moncayo', 'Marcona', 'Felisia', 'Guara' y 'Bertina' (Fig 4.8). Los genotipos de este grupo se localizan sobre la parte positiva del primer componente principal (Fig 4.7) y presentan valores de medios a altos de los caracteres que contribuyen en la explicación de este eje (Cuadro 4.7). Las variedades 'Marcona', 'Guara' y 'Bertina' y la selección I-1-95 se destacan en este grupo por presentar los valores más altos de densidad floral, densidad de yemas por ramillete de mayo y capacidad florífera de toda la población estudiada.

Sobre el eje 2, la mayoría de estos genotipos se posiciona sobre la parte negativa por presentar valores bajos de la longitud de las ramificaciones y una elevada densidad floral a excepción de las selecciones G-2-11, G-5-18, G-1-64, H-3-39, I-3-10 y I-3-11, que presentan valores de medios a bajos de la densidad floral. Los genotipos de este grupo se encuentran posicionados sobre la mitad de este eje, presentando valores medios de la capacidad florífera, del índice de ramificación y de la sección a la base de la rama principal. En este grupo destaca la gran similitud entre la selección I-1-95 y 'Guara', entre 'Moncayo' y G-4-10 y entre 'Felisia' e I-3-67. Este grupo se caracteriza por un vigor de medio a alto y una fructificación sobre ramos cortos y preferiblemente sobre ramilletes de mayo.

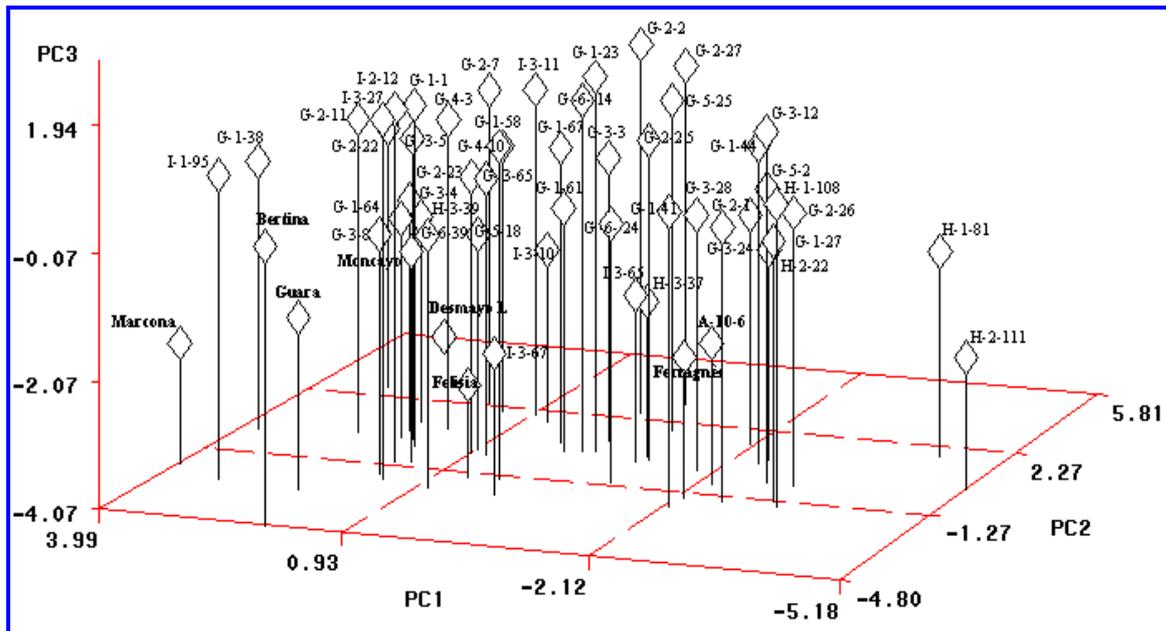


Fig 4.7. Representación gráfica de los genotipos para los caracteres de densidad floral y de soportes de ramificación.

El grupo 2 está formado por 25 selecciones, la selección A-10-6 y la variedad 'Ferragnès' (Fig 4.8). Este grupo está situado sobre la parte negativa del eje 1 (Fig 4.7), presentando valores de medios a muy bajos del número de yemas totales, la densidad floral total, la densidad floral de ramos del año y la capacidad florífera en comparación con el grupo 1. En este grupo destacan las selecciones H-1-108 y H-1-81, que se posicionan sobre la parte distal negativa del eje 1 por presentar los valores más bajos de toda la población de la densidad floral y la capacidad florífera. Estos dos genotipos se caracterizan por la longitud elevada de las ramificaciones con un vigor bajo.

La mayoría de las selecciones de este grupo se posicionan sobre la parte positiva del eje 2 (Fig 4.7), presentando valores más altos de la longitud de las ramificaciones y una densidad floral muy baja, a excepción de las selecciones G-3-12, G-2-26, G-1-27, G-3-24 y G-1-41, el parental A-10-6 y la variedad 'Ferragnès' que se posiciona sobre la parte negativa de este eje, por presentar ramificaciones más cortas y una densidad floral de media a alta. Estas selecciones se posicionan sobre la parte positiva del eje 3, presentando los valores más altos del índice de ramificación, la sección de la rama principal y unos valores muy bajos de la capacidad florífera y de la densidad de ramos del año, a excepción de las selecciones G-3-28, H-3-37, G-2-1 y G-5-2 y la variedad 'Ferragnès' que presenta una elevada capacidad florífera. Estas selecciones son de un vigor de medio a alto, con ramificaciones generalmente cortas y un porte que va desde medio a abierto. Estos genotipos presentan una fructificación preferiblemente sobre ramos mixtos y brindillas a excepción de las selecciones G-2-25 y G-3-12 y la variedad 'Ferragnès', que fructifican sobre ramilletes de mayo.

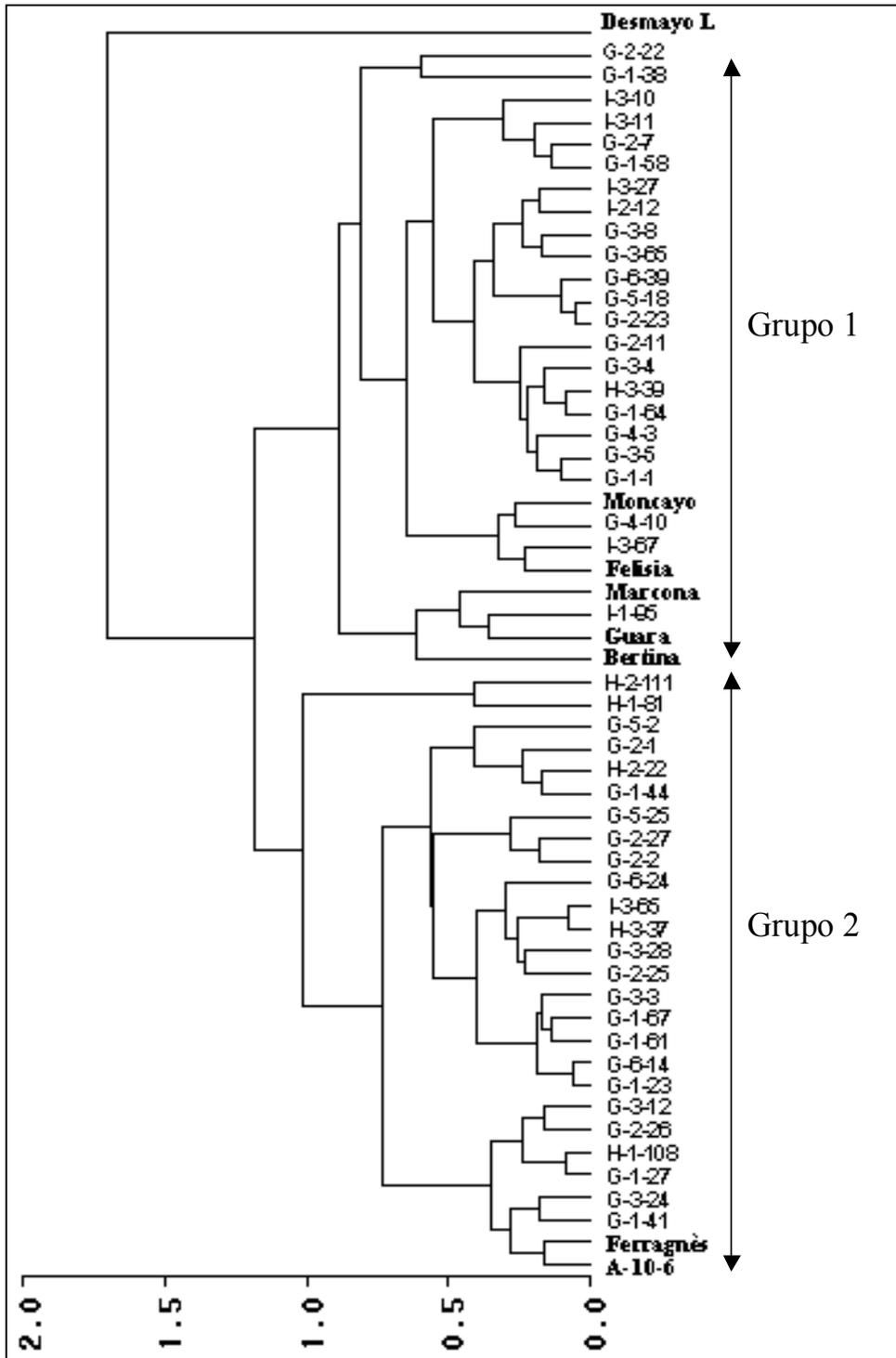


Fig 4.8. Dendrograma de los genotipos estudiados para los caracteres de la densidad floral.

El análisis de las características de los grupos del cluster ha permitido determinar que las selecciones que presentan una densidad floral alta, presentan también un índice de ramificación de medio a alto y una densidad floral de las ramas laterales alta. Ello explica la correlación positiva entre la densidad floral total con la densidad floral de las ramas laterales por una parte, y con el índice de

ramificación por otra. Así mismo se ha observado que las selecciones que muestran una densidad floral total baja presentan ramificaciones largas y una densidad floral de las ramificaciones baja. Estos resultados confirman que las características morfológicas de las ramas y el índice de ramificación influyen sobre la densidad floral de una variedad determinada.

Haciendo referencia a la disposición de los 48 clones y las ocho variedades sobre los tres ejes principales (Fig 4.7) y a los resultados del cluster (Fig 4.8), se ha observado que estas selecciones presentan una gran dispersión. En términos generales, las selecciones no se agrupan según su origen genealógico. Ello indica que las selecciones estudiadas no están relacionadas con sus parentales en cuanto a la densidad floral y a la capacidad florífera. Estas constataciones coinciden con las de Bernad y Socias i Company (1998).

4.5 CONCLUSIÓN

El estudio de la variabilidad de la densidad floral y de la capacidad florífera confirma que estos caracteres dependen de la variedad y se pueden considerar una característica varietal. La fluctuación interanual de estos caracteres ratifica que estos caracteres no son estables y pueden variar según las condiciones climáticas y ambientales del año. La ausencia de correlaciones significativas entre los distintos años para la densidad floral y la capacidad florífera y los bajos valores del coeficiente de repetibilidad muestra que los valores que se obtienen en un año o dos no son suficientes para predecir los valores que se pueden obtener en los siguientes años, indicando la necesidad de evaluar estos caracteres en varios años para determinar las potencialidades reales de un genotipo determinado.

El cambio en la magnitud de estos caracteres y la variación del orden de cada variedad según el año confirma la importancia de su evaluación a lo largo de varios años para determinar el grado de variación de estos caracteres y la posibilidad de establecer una clasificación de las variedades según sus potencialidades y capacidades floríferas teniendo en cuenta su fluctuación interanual y descartar los genotipos que presentan importantes fluctuaciones interanuales.

La ausencia de agrupamientos de las selecciones procedentes del mismo cruzamiento según su origen genealógico revela que las selecciones estudiadas no están relacionadas con sus parentales en cuanto a estos caracteres. Ello indica que en los programas de mejora del almendro no es indispensable elegir parentales con alta densidad floral o plantear combinaciones de cruzamientos entre sí para obtener descendencias con altas potencialidades y capacidades floríferas, ya que la

heredabilidad de estos caracteres es baja (Sarvisé y Socias i Company, 2005). Así mismo se ha puesto de manifiesto la importancia del tipo de fructificación en las capacidades y las potencialidades floríferas en estos genotipos, siendo una fructificación equilibrada sobre ramos del año y ramilletes de mayo la más adecuada para una rápida entrada en producción y el aumento de la superficie productiva, y así evitar la irregularidad de la producción de yemas de flor.

La influencia de los caracteres morfológicos de los soportes de fructificación sobre los caracteres florales y las diferencias en la distribución de las yemas entre las selecciones y variedades estudiadas indican que al evaluar estos caracteres productivos hay que tener en cuenta la morfología de la planta en sus aspectos de vigor, porte, ramificación, etc. Desde el punto de vista agronómico, ello implica que se debe elegir juiciosamente el tipo de la poda de formación, así como la forma y la intensidad de la poda de fructificación a aplicar según la variedad, haciendo referencia al reparto de su densidad floral y a las características morfológicas de los soportes de la floración como ya se había recomendado (Bernad y Socias i Company, 1998; Royo et al., 1990).

Capitulo 5. De la floración a la maduración

5. DE LA FLORACIÓN A LA MADURACIÓN

5.1 INTRODUCCIÓN

La entrada en producción se manifiesta por la formación de las primeras yemas de flor y marca el paso del período juvenil al adulto y productivo (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). En el almendro, la formación de las yemas de flor empieza durante el final de la primavera y el verano del año n , para florecer en el invierno y la primavera del año $n+1$, según las variedades (Agabbio, 1974) y el medio ambiente, para finalizar con la producción del fruto en el mismo año ($n+1$), una vez que haya tenido lugar una polinización correcta para un cuajado adecuado.

El almendro ha sido tradicionalmente considerado la especie frutal de floración más temprana. Como consecuencia de ello, el cultivo del almendro se ha visto limitado a las regiones con un riesgo de heladas reducido. Sin embargo, su cultivo se ha expandido hacia el interior de muchas zonas de clima mediterráneo, como ocurre en algunas zonas de España, en las que la posibilidad de heladas tempranas y tardías es elevada y coincidente con la floración de muchos cultivares de almendro, por lo que el riesgo de reducir o anular la cosecha es muy alto (Socias i Company et al., 1999a).

La época de floración se considera como uno de los más importantes en la adaptación del almendro (Kester y Gradziel, 1996) y se valora como una característica varietal, aunque varía con los años para una variedad determinada debido a la evolución de las temperaturas invernales que se suceden de forma diferente de un año a otro para cubrir la ecolatencia (Alonso et al., 2005; Lang et al., 1987; Tabuenca, 1972; Tabuenca et al., 1972). Sin embargo, las diferentes variedades mantienen, más o menos, el mismo orden de floración todos los años (Dicenta et al., 1993a; Felipe, 1977).

El determinismo genético y el modo de transmisión de la época de floración dependen de los parentales. En la bibliografía se ha descrito que este carácter está bajo control poligénico (Grasselly, 1972; Kester, 1965a; Vargas y Romero, 2001). Kester (1965b) observó una distribución bimodal de la época de floración en algunas descendencias de la variedad de floración tardía 'Tardy Nonpareil', lo que lleva a sugerir la acción de un gen dominante en esta descendencia. Socias i Company et al. (1999b) confirmaron la transmisión de este alelo denominado 'Lb' en descendencias de variedades derivadas de 'Tardy Nonpareil'. Actualmente se acepta que en el almendro la época de floración viene determinada por un alelo dominante, con floración tardía dominante sobre floración temprana, y por distintos alelos menores de efecto aditivo y heredados de forma cuantitativa (Socias i Company et al.,

1999b). Otro carácter relacionado con la floración del almendro y que condiciona su productividad es la densidad de floración, que se considera como una característica varietal (Grasselly, 1972).

La duración de la floración se mide desde la apertura del 5% de las flores hasta la del 95% (Gülcan, 1985). La evolución de esta apertura es típico y sigue una curva sigmoïdal (Kester y Gradziel, 1996). Es un carácter que depende de la variedad y de las condiciones climáticas (Bernad y Socias i Company, 1995; Socias i Company et al., 2004) y su importancia radica únicamente en su relación con las condiciones climáticas durante la floración, especialmente las heladas (Socias i Company, 1998).

Cualquier problema o anomalía en el desarrollo de la floración puede perjudicar seriamente la producción. Un aspecto importante en este proceso es la calidad de la flor, que a menudo se ha relacionado con la esterilidad del ovario que puede encontrarse atrofiado (Dhatt y Dhillon, 1981). Las observaciones morfológicas de la esterilidad femenina en el almendro ha llevado a concluir que su aparición es probablemente de origen genético, que se puede considerar como característica varietal (Bernad y Socias i Company, 1995) y que también se puede transmitir a la descendencia (Socias i Company, 1983). Además del factor genético, Bezzaouia y Grasselly (1992) mostraron que su aparición depende también del vigor y del tipo de ramificación y de su estado nutritivo.

Para que la fecundación tenga lugar es necesario que la flor sea fértil y que el polen llegue al ovario. Una mala polinización, por una planificación inadecuada de la plantación o por condiciones climáticas desfavorables, causa grandes reducciones de cosecha (Socias i Company et al., 1994). Aunque se ha indicado que en almendro es necesario polinizar el máximo número de flores en cada árbol para asegurar un buen nivel de cosecha (Kester y Griggs, 1959), el número de flores que proporcionan una cosecha normal se encuentra entre un 5 y un 30% de las que se abren en cada árbol (Jackson y Clark, 1991).

Desde el punto de vista de la mejora, un cuajado elevado es un objetivo primordial para asegurar una cosecha comercialmente aceptable. Este carácter depende de la identidad biológica de cada variedad (Socias i Company et al., 2004) y de las condiciones climáticas (Socias i Company y Felipe, 1992). Varios estudios relacionaron un buen cuajado con una densidad floral y una calidad de flor adecuadas (Bernad y Socias i Company, 1998; Socias i Company et al., 2004).

En el almendro, como en la mayoría de las especies frutales, es de gran interés conocer la época de maduración para gestionar las asociaciones varietales en una plantación comercial, determinar el

período óptimo de la cosecha y mejorar las operaciones de poscosecha. Una vez cuajado, el fruto comienza su crecimiento para llegar a la madurez. Durante este período el fruto experimenta varios procesos metabólicos y fisiológicos que determinan la forma, el tamaño y la composición química de la pepita (Saura-Calixto et al., 1988). Cualquier incidencia durante este período puede afectar la calidad final del fruto (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). En el almendro la fecha de maduración es típica de la variedad y se transmite de una forma cuantitativa (Dicenta y García, 1993b; Grasselly, 1972). Dicenta (1991) señaló que el efecto del clima sobre este carácter no es muy notable.

El objetivo de este apartado es caracterizar y estudiar algunos caracteres relacionados con el proceso de la floración y de la maduración de los genotipos estudiados y determinar los factores que afectan su expresión y su estabilidad, así como determinar el cuajado y la capacidad fructífera de la población estudiada y su variabilidad interanual.

5.2 METODOLOGÍA

5.2.1 DATOS METEOROLÓGICOS

Para evaluar el efecto de las temperaturas sobre el inicio y la duración de la floración y sobre el patrón y el ritmo de la apertura de las flores se utilizaron los datos de la estación meteorológica instalada en una parcela adyacente a la parcela experimental.

5.2.2 ÉPOCA Y CALIDAD DE LA FLORACIÓN

La floración de las distintas selecciones se siguió durante 4 años (2002-2005), lo que ha permitido determinar la fecha y la duración media de la floración de cada una. Para determinar la fecha de floración se efectuaron visitas periódicas a la parcela experimental para anotar el estado del avance fenológico de cada selección (Fig 5.1). La fecha de comienzo de la floración se decidió como el día en que el 5% de las yemas de flores estaban abiertas. A continuación se tomaron notas de la evolución del proceso de la floración según el criterio siguiente:

- Inicio de floración: día en que el 5% de las flores estaban abiertas.
- Plena floración: día en que el 50% de las flores estaban abiertas.
- Fin de la floración: día en que más del 90% de flores estaban abiertas.
- Caída de pétalos: día en que el 100% de flores estaban abiertas.

Los resultados del seguimiento de la época de floración durante los años del estudio están presentados el anejo III.

Con el objetivo de clasificar las selecciones según su época de floración se compararon las fechas de floración de esta población con la de las variedades de referencia (Gülcan, 1985). Así mismo se establecieron 3 grupos de floración en relación a las variedades de referencia de la colección de germoplasma del CITA.

- **Precoz:** 'Cavaliera' y 'Desmayo Largueta'.
- **Semi-tardía:** 'Nonpareil'
- **Tardía:** 'Ferragnès' y 'Texas'.

En cuanto a la duración de la floración, se contabilizó como número de días transcurridos desde el inicio (5% de flores abiertas) hasta el final de la floración (95% de flores abiertas).

5.2.3 CALIDAD DE LA FLORACIÓN

Para determinar la calidad de la flor se estudió la evolución de la proporción de flores estériles durante el transcurso de la floración de cada selección. Para ello se seleccionaron dos ramas por genotipo antes de la floración y se marcaron con una cinta amarilla. Una vez se abrieron las primeras flores, se recogieron diariamente todas las flores abiertas en cada rama de cada selección durante los años 2004 y 2005. Se determinó morfológicamente la fertilidad de las flores (Socias i Company, 1983), comparando las flores anómalas con las flores normales en cada genotipo, distinguiendo 3 categorías básicas de flores estériles (Fig 5.2).

5.2.4 CUAJADO DEL FRUTO Y CAPACIDAD FRUCTÍFERA

En las mismas ramas utilizadas para estudiar la densidad floral (Ver capítulo 4) se realizó el conteo del número de frutos durante el mes de junio (Fig 5.3) para determinar el cuajado final por el cociente entre el número final de frutos y el número inicial de yemas. Igualmente se determinó la densidad de producción por el cociente entre el número de frutos y la longitud total de las ramas, así como la capacidad fructífera por el cociente entre el número de frutos y la sección transversal de la rama principal (Socias i Company et al., 2004). Estas determinaciones se hicieron durante tres años consecutivos 2003-2005.



Fig 5.1. Distintas épocas de floración de algunas selecciones estudiadas:

A- Una selección de floración tardía con los botones en estado fenológico "C" y al fondo unas selecciones en plena floración.

B y C- Una selección de floración muy tardía en el inicio de la floración y al fondo otras selecciones con fruto cuajado y en un estado avanzado de desarrollo.



Fig 5.2. Distintas manifestaciones morfológicas de la esterilidad femenina en el almendro:

- a. Ovario normal.
- b. Ovarios atrofiados, lo que indica que las flores presentan un aborto funcional.
- c. Ovario prácticamente ausente, con presencia del estilo, que se encuentra insertado directamente en receptáculo y que puede presentar una longitud normal o corta.
- d. Falta del pistilo en el interior de la flor, con un receptáculo desnudo.

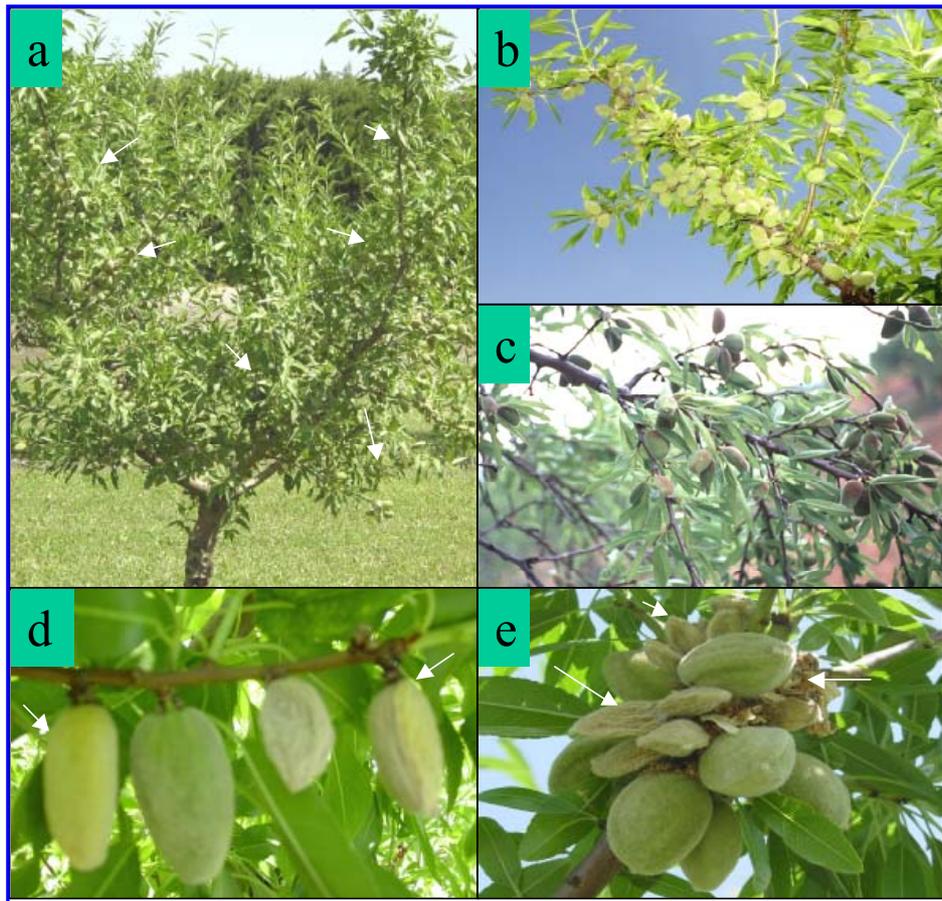


Fig 5.3. Cuajado de frutos y algunas anomalías observadas en el fruto:

- a. Árbol cargado de frutos después de un buen cuajado (las flechas señalan las agrupaciones de frutos en las ramas).
- b. Una rama de un genotipo con una buena carga de frutos.
- c. Una rama de un genotipo con un cuajado bajo.
- d. Frutos anómalos de color amarillo que acaban cayendo en junio y julio.
- e. Frutos abortados en ramilletes de mayo.

5.2.5 MADURACIÓN Y PERÍODO DE FRUCTIFICACIÓN

La fecha de maduración se determinó para cada genotipo siguiendo los estados fenológicos establecidos por Felipe (1977). La maduración comienza cuando se inicia la deshidratación del mesocarpio y la formación de una capa de abscisión entre éste y el endocarpio. El mesocarpio se divide longitudinalmente por la sutura ventral y deja al descubierto el endocarpio. Cuando el mesocarpio se seca totalmente, se considera que el fruto alcanza la maduración total (Fig 5.4). Debido a que la maduración de los frutos no es simultánea en un genotipo, se ha considerado el inicio de la

maduración con un 5% de frutos maduros, y la plena maduración con un 95% de frutos con el mesocarpio totalmente abierto (Gülcan, 1985). También, se determinó la duración del período entre la plena floración y la plena maduración, llamada período de fructificación (Dicenta, 1991).

Con el objetivo de clasificar las selecciones según su época de maduración se comparó la fecha de maduración con la de las variedades de referencia (Gülcan, 1985). Así se establecieron 3 grupos de maduración en relación a estas variedades, que se encuentran en la colección de germoplasma del CITA,:

- **Muy precoz:** 'Malagueña',
- **Precoz :** 'Guara',
- **Semi-Tardía :** 'Marcona' y 'Moncayo'.

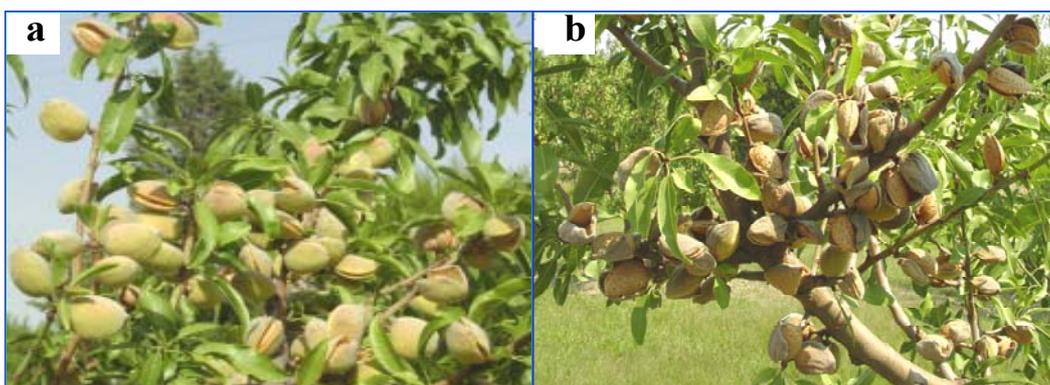


Fig 5.4. Época de maduración según las fases fenológicas determinadas por Felipe (1977):

a. Estado fenológico 'K': Inicio de la maduración, la semilla está madura y se inicia la dehiscencia del mesocarpio.

b. Estado fenológico 'L': Final de la maduración, fase de desecación del mesocarpio y del pedúnculo con una separación completa del mesocarpio y el endocarpio.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 FECHA Y DURACIÓN DE LA FLORACIÓN

En primer lugar hay que resaltar que durante el invierno del año 2005 se registraron unas condiciones climáticas extremas (bajas temperaturas) (Fig 5.4), que retrasaron mucho el período de floración de todos los genotipos de la colección de germoplasma de almendro del CITA. Por ello, la clasificación de la floración se ha basado sólo en los datos de los años 2002, 2003 y 2004, aunque los

datos del año 2005 se han tenido en cuenta en el estudio de la evolución de la floración y su variabilidad interanual.

La clasificación de estas selecciones en relación a las variedades de referencia según la fecha media de la floración de los años 2002-2004 se presenta en el cuadro 5.1. No hay selecciones en el grupo 1 de floración semi-precoz. El grupo 2 está constituido por 13 selecciones de floración semi-tardía, con fechas coincidentes con las de la variedad 'Nonpareil'. Las selecciones del grupo 3 son de floración tardía, coincidentes con la floración de las variedades 'Ferragnès' y 'Texas'. Las selecciones: G-1-1, G-1-27, G-1-41, G-1-44, G-6-14 e I-3-27 son de floración muy tardía y algunas de estas selecciones presentan la plena floración entre 15 (G-1-1) y 18 días (G-1-27) después de la variedad de referencia 'Ferragnès'.

Cuadro 5.1. Grupos de floración establecidos en relación a las variedades de referencia.

Grupo	Época de floración	Variedad de referencia	Selecciones
1	Semi-precoz	Cavaliere y Desmayo Langueta	-
2	Semi-tardía	Nonpareil	H-2-111, H-3-37, H-3-39, I-1-95, G-1-38, G-2-11, G-2-23, G-3-24, H-1-81, H-1-108, I-2-12, I-3-65, I-3-67 y I-3-10.
3	Tardía	Ferragnès y Texas	G-1-58, G-1-64, G-2-1, G-2-2, G-2-22, G-2-26, G-1-67, G-3-12, G-2-7, G-3-3, G-3-5, G-3-65, G-3-8, G-4-3, G-5-18, G-6-24, G-6-39, I-3-10, I-3-11, G-5-25, G-4-10, G-3-28, G-2-27 y G-1-61.
4	Muy tardía	-	G-1-1, G-1-27, G-1-41, G-1-44, G-2-25, G-5-2, G-6-14 y I-3-27.

La fecha del inicio de la floración ha variado de un año a otro (Fig 5.6), sin observarse grandes cambios en el orden de floración de las selecciones. En el año 2003 las primeras selecciones florecieron el día 20 de febrero y las últimas el día 17 de marzo, mientras que el año 2005 estas fechas fueron el 11 de marzo y el 2 de abril (Fig 5.6). En el año 2005 las selecciones de floración media empezaron a florecer casi un mes más tarde que en el 2004 y 3 semanas más que en los años 2002 y 2003. Las diferencias interanuales entre las selecciones de floración tardía han sido menores y variaron entre 3 días y 2 semanas. Durante el año 2005 se registraron temperaturas muy bajas en los meses de enero y febrero, mientras que durante los mismos meses del año 2004 las temperaturas fueron templadas (Fig 5.5), lo que explica que la floración en el año 2005 fuera la más tardía.

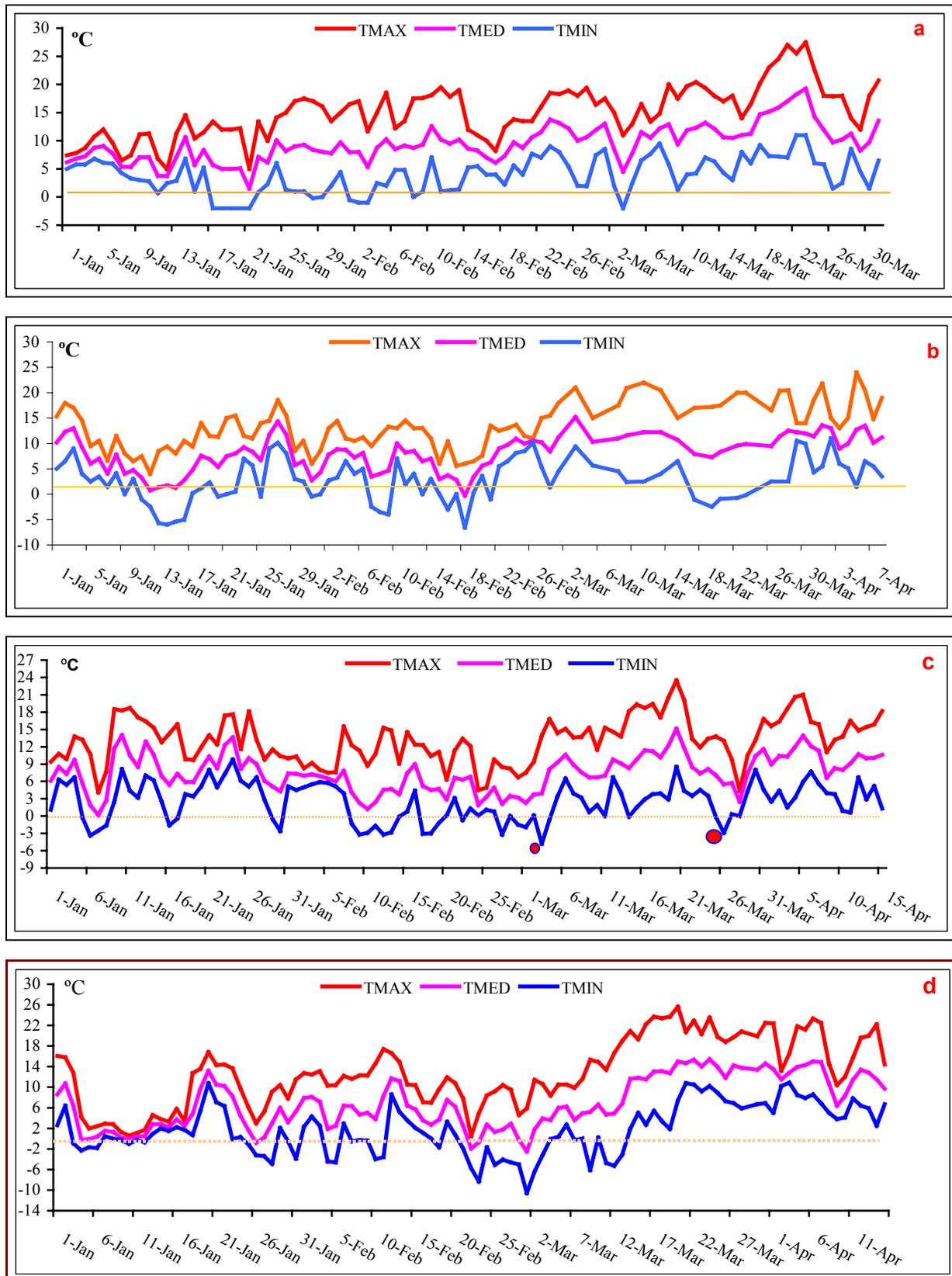
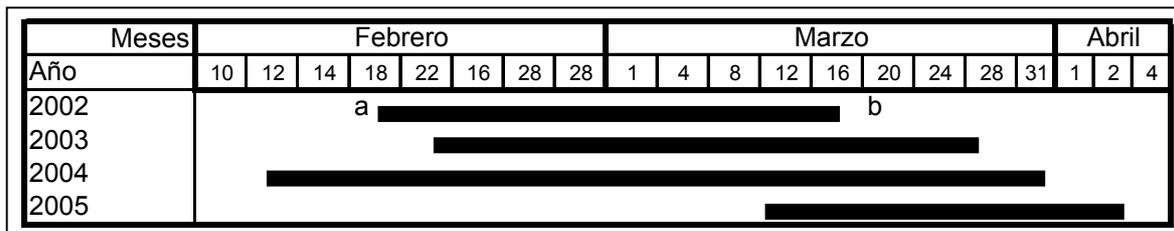


Fig 5.5. Evolución de la temperatura durante los meses Enero-Abril de los años 2002, 2003, 2004 y 2005 (a, b, c y d, respectivamente).

Se observaron diferencias para la duración de la floración entre las selecciones (Cuadro 5.2) y los años (Fig 5.7). Algunas selecciones (G-1-44, H-1-81, H-1-108 y H-2-22) exhibieron una floración de larga duración en los 4 años de estudio, mientras que en otras (G-1-58, G-2-1, G-2-25, G-2-27, G-3-12 e I-3-65) presentaron la floración más corta (Cuadro 5.2). La duración de la época de floración ha sido de 39 días (en 2002), 41 (2003), 55 (2004, la más larga) y 29 (2005, la más corta), lo que se correlaciona con las temperaturas diarias durante el proceso de la floración en cada año, las más altas en 2005, seguidas por las de 2002, 2003 y por último de 2004 (Fig 5.5).



a : Selección de floración media y b: selección de floración muy tardía

Fig 5.6. Época de inicio de floración de toda la población estudiada en cada año del estudio.

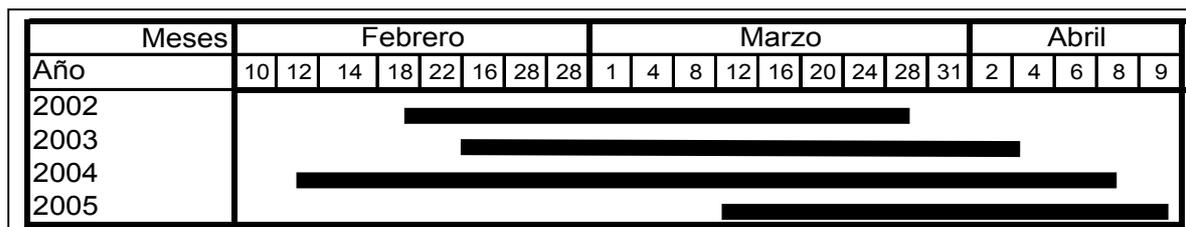


Fig 5.7. Duración de la floración de toda la población estudiada en cada año del estudio.

El seguimiento de la apertura diaria de las flores durante los años 2004 y 2005 mostró una gran variabilidad en cuanto al porcentaje de flores que se abren diariamente a lo largo de la floración y a la duración de su apertura. La apertura de las flores sigue un patrón parecido a una distribución normal (Fig 5.8). Sin embargo, se observó una desviación de este patrón en algunas selecciones en el 2004. Este año, la floración de las selecciones de floración media y las de floración muy tardía se vio parada por las bajas temperaturas registradas durante la tercera semana de febrero y los primeros días de marzo para las primeras y durante la última semana de marzo para las segundas (Fig 5.5).

En el año 2004 se observó una parada en la apertura de las flores sobre todo los días 22-26 de febrero y los días 2-3 de marzo para las selecciones de floración media (Fig 5.8), y los días 26 y 27 de marzo para las selecciones de floración muy tardía (Fig 5.9), debida probablemente a la brusca bajada de las temperaturas (Fig 5.5). En cambio, en el año 2005 la apertura diaria de las flores se desarrolló siguiendo una distribución normal (Fig 5.8 y 5.9).

Cuadro 5.2. Duración de la floración de las selecciones estudiadas en cada año del estudio.

Año	Duración de floración (días)	Genotipos
2002	6 a 9	G-1-61, G-2-25, G-2-27, G-3-4, G-5-25, H-1-81 e I-3-11
	10 a 13	G-1-1, G-1-23, G-1-27, G-1-38, G-1-41, G-1-44, G-1-58, G-1-64, G-1-67, G-2-1, G-2-11, G-2-2, G-2-22, G-2-23, G-2-27, G-2-7, G-3-3, G-3-8, G-3-12, G-3-24, G-3-28, G-3-65, G-4-10, G-5-2, G-6-14, G-6-24, G-6-39, H-1-108, H-2-22, H-2-111, H-3-39, I-3-10, I-3-11, I-3-27 e I-3-65.
	14 a 17	G-1-67, G-2-11, G-2-23, G-2-26, G-2-7, G-3-24, G-3-65, G-5-18, I-2-12 e I-3-67.
	18 a 21	G-4-3 e I-1-95.
2003	6 a 9	G-1-1, G-1-23, G-1-27, G-1-38, G-1-41, G-1-44, G-1-58, G-1-61, G-1-64, G-1-67, G-2-1, G-2-11, G-2-2, G-2-22, G-2-23, G-2-25, G-2-26, G-2-7, G-3-12, G-3-4, G-3-24, G-3-65, G-4-3, G-4-10, G-5-2, G-5-18, G-5-25, G-6-14, G-6-24, G-6-39, I-1-95, I-3-10, I-3-10, I-3-27, I-3-65 e I-3-67.
	10 a 13	G-2-27, G-3-28, G-3-3, G-3-5, G-3-8, H-1-81, H-2-22, H-2-111, H-3-37 y H-3-39.
2004	6 a 9	G-1-27, G-1-58, G-1-61, G-1-64, G-2-1, G-2-2, G-2-23, G-2-27, G-3-12, G-3-3, G-3-4, G-3-5, G-3-8, I-3-11 e I-3-65.
	10 a 13	G-1-23, G-1-38, G-1-41, G-1-44, G-1-61, G-1-67, G-2-11, G-2-22, G-2-25, G-3-28, G-3-65, G-4-3, G-4-10, G-5-2, G-5-25, G-6-14, G-6-24, G-6-39, H-2-111, H-3-37, H-3-39, I-1-95, I-2-12, I-3-10, I-3-27 e I-3-67.
	14 a 17	G-2-7, G-2-26, G-3-24, G-5-18, H-1-81 y H-2-22.
	18 a 22	H-1-108
2005	6 a 9	G-1-1, G-1-23, G-1-27, G-1-38, G-1-41, G-1-44, G-1-58, G-1-61, G-1-64, G-1-67, G-2-1, G-2-11, G-2-2, G-2-22, G-2-23, G-2-25, G-2-26, G-2-27, G-2-7, G-3-3, G-3-4, G-3-5, G-3-8, G-3-12, G-3-24, G-3-28, G-3-65, G-4-3, G-4-10, G-5-2, G-5-18, G-5-25, G-6-14, G-6-24, G-6-39, H-1-108, H-1-81, H-2-22, H-2-111, H-3-37, H-3-39, I-1-95, I-3-10, I-2-12, I-3-10, I-3-27, I-3-65 e I-3-67.

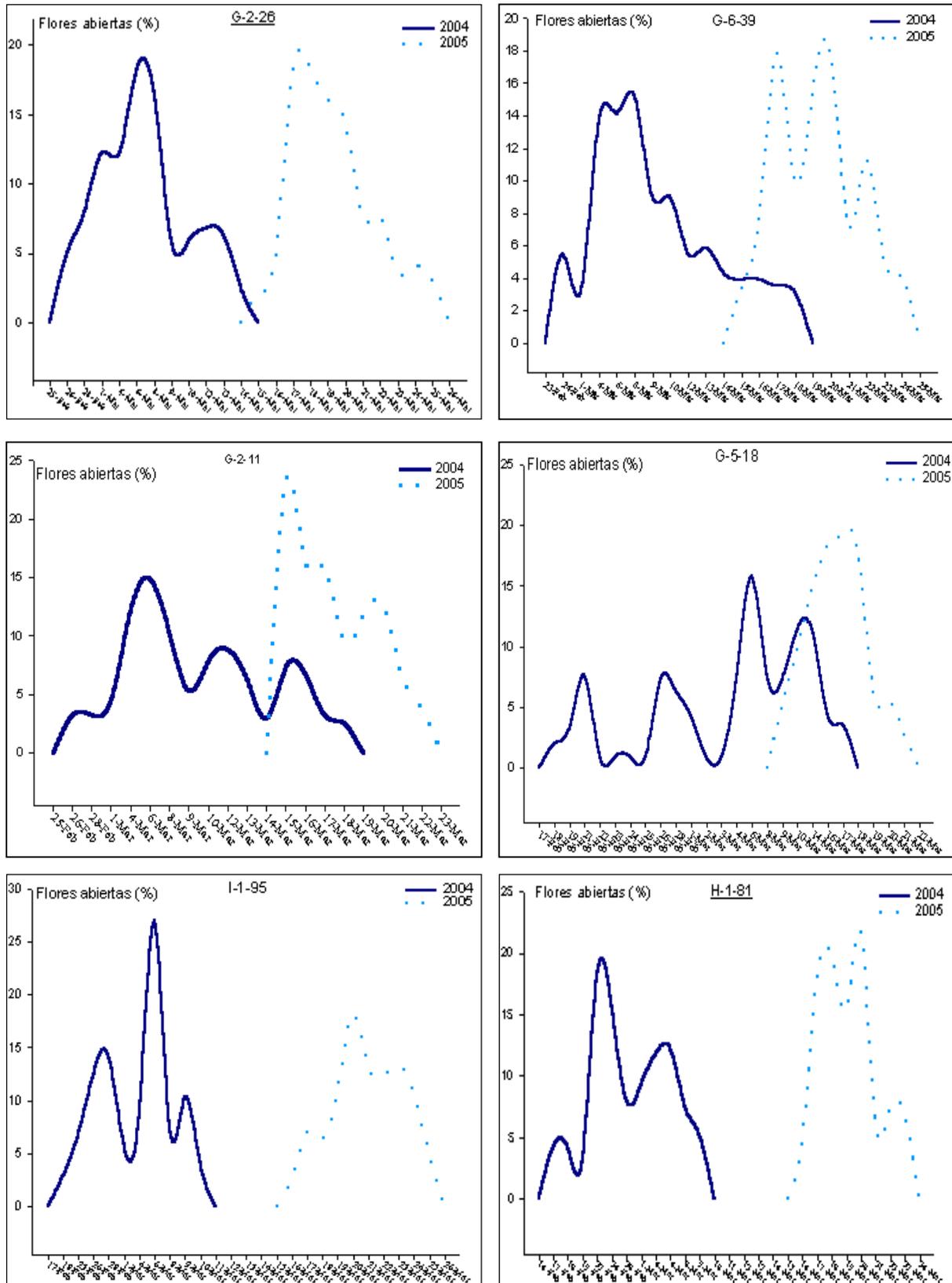


Fig 5.8. Evolución de la apertura de las flores durante la floración de algunas selecciones de floración semi-tardía.

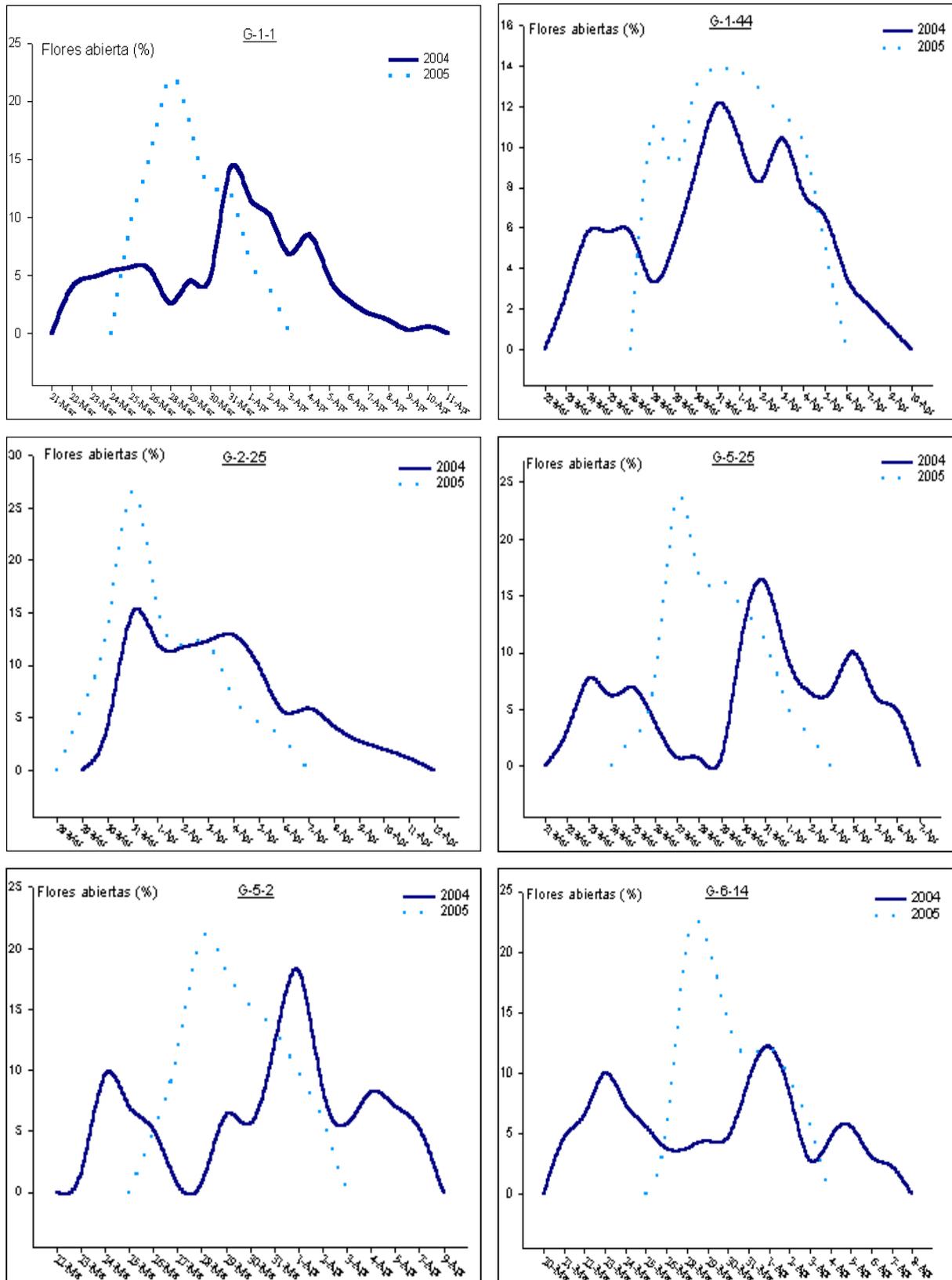


Fig 5.9. Evolución de la apertura de las flores durante la floración de algunas selecciones de floración tardía y muy tardía.

Destaca la fecha de inicio de la apertura de flores de las selecciones de floración media, que no coincidió en estos dos años, siendo más tardía en el año 2005 (Fig 5.8). Sin embargo, en el caso de las selecciones de floración tardía se observó un pequeño desplazamiento de la época de la floración (3 o 4 días), mientras que en la mayoría de las de floración muy tardía hubo una coincidencia de la fecha de inicio de la apertura de flores en ambos años (Fig 5.9).

5.3.2 VARIABILIDAD DE LA CALIDAD DE LA FLOR

El estudio de la calidad de la flor se basó en la evaluación subjetiva de su morfología interna, como la morfología del pistilo y las dimensiones del ovario, ya que los ovarios de tamaño reducido indican su aborto funcional (Socias i Company, 1983). Ello permitió determinar el porcentaje de flores con esterilidad femenina y la magnitud media de cada tipo de flor según Socias i Company (1983):

- 62 % de flores con ovarios atrofiados (Foto 5.2, a).
- 23 % de flores con ausencia del ovario (Foto 5.2, b).
- 15 % de flores con ausencia total del pistilo (Foto 5.2, c).

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre las selecciones, los años de estudio y su interacción (Cuadro 5.3). Los coeficientes de variación entre genotipos han resultado más altos que el coeficiente de variación interanual (Cuadro 5.4). Los valores del año 2005 han sido significativamente elevados en comparación con los del año 2004 (Cuadro 5.4). En este año los valores oscilaron entre 14,9% (I-1-95) y 63,1% (H-1-108), mientras que en 2005 fueron entre 7,9% (G-1-27) y 51,1% (H-1-108).

En cuanto al carácter de flores gemelas, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos, los años de estudio y su interacción (Cuadro 5.3). El efecto del año ha sido notable en este carácter, con valores que fluctuaron entre 1,25% (G-3-8) y 33% (H-1-108) en el año 2004 y entre 0,23% (G-2-25) y 33% (H-1-108) en el año 2005. La significación de la interacción 'genotipo' × 'año' indica que los genotipos cambian de rango y magnitud de un año a otro (Cuadro 5.4). Sin embargo, algunos genotipos (G-1-1, G-2-2, G-3-12, G-3-24 y H-1-108) mostraron un elevado porcentaje en ambos años, mientras que otros (G-2-23, G-2-7, G-2-25, G-3-28, G-5-18 e I-3-11) presentaron valores bajos. En cuanto al porcentaje de flores estériles, los genotipos G-2-11, G-3-12, G-3-24, G-3-65, H-1-81, H-1-108, H-2-111 e I-3-67 mostraron un elevado porcentaje de flores estériles en ambos años, todo lo contrario que las selecciones G-1-27, G-1-41, G-2-25 e I-3-27 (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.3. Análisis de varianza del porcentaje de las flores estériles y de las flores gemelas en los años 2004 y 2005.

Variable	GL	% Flores estériles	% Flores gemelas
<u>Cuadrados medios</u>			
Genotipo	47	0,03 ***	0,04 ***
Año	1	0,39 ***	0,82 ***
Genotipo × Año	47	0,01 ***	0,01 ***
Residual	96	0,00005	0,0001

***: significativo a una probabilidad $P < 0.0001$

La evolución de la aparición de flores estériles a lo largo de la floración se determinó por el porcentaje de flores estériles abiertas cada día y mostró que la esterilidad se manifiesta especialmente al final de la floración (Fig 5.10). La aparición de este carácter ha sido más notable en las selecciones con una floración prolongada, como H-1-108 y H-2-111. Así mismo, el patrón de evolución de la aparición de flores estériles de H-1-81 y H-1-108 (floración temprana), de G-3-12 y G-3-8 (de floración tardía) y de G-5-25 y G-2-25 (de floración muy tardía) es el mismo (Fig 5.10), indicando que es independiente de la fecha de floración.

Las flores gemelas aparecieron en la fase tardía de la floración, siguiendo el mismo patrón que la evolución de las flores estériles. Las selecciones con un elevado porcentaje de flores gemelas también presentan un elevado porcentaje de flores estériles, como se observa en las selecciones G-3-12 y H-1-108. Algunas selecciones (G-2-25 y G-3-8) no presentaron flores gemelas (Fig 5.10).

5.3.3 VARIABILIDAD Y ESTABILIDAD DEL CUAJADO, DENSIDAD DE FRUTO Y CAPACIDAD FRUCTÍFERA

Debido a los daños causados por las heladas en los años 2003 y 2004 se optó por analizar los datos del cuajado por separado según la fecha de floración de las selecciones. En el 2003 se registró una helada de $-2,5^{\circ}\text{C}$ durante cinco horas en la madrugada del 18 de marzo y en el 2004 una de $-2,6^{\circ}\text{C}$ durante cuatro horas el 26 de marzo (Fig 5.5). Las selecciones se encontraban en estos días en distintos estados fenológicos y se pueden separar en dos grupos (Cuadro 5.5).

El primer grupo comprendió 24 selecciones cuya floración ya había terminado, así que la helada afectó a los frutos en desarrollo. El segundo grupo comprendió 24 selecciones que en el día de la helada abrían las primeras flores, por lo que la helada sólo afectó a yemas y a flores recién abiertas. El comportamiento de ambos grupos fue diferente por lo que se debe examinar por separado.

Cuadro 5.4. Porcentaje de las flores estériles y gemelas en los años 2004 y 2005.

Variables	Flores estériles		Flores gemelas	
	2004	2005	2004	2005
Selecciones				
G-1-1	31,25 a	8,42 b	21,59 a	8,16 b
G-1-23	20,62 a	11,20 b	6,61 a	0,82 b
G-1-27	18,30 a	7,92 b	8,36 a	1,64 b
G-1-38	30,73 a	29,49 a	8,05 a	1,97 b
G-1-41	19,00 a	13,37 b	2,50 a	1,82 a
G-1-44	34,16 a	10,90 b	17,63 a	5,13 b
G-1-58	24,00 a	29,49 b	13,12 a	1,97 b
G-1-61	21,74 a	18,36 b	13,41 a	6,89 b
G-1-64	41,80 a	17,02 b	15,90 a	2,13 b
G-1-67	32,52 a	33,15 a	10,96 a	7,28 b
G-2-1	27,88 a	12,94 b	14,16 a	5,88 b
G-2-11	41,33 a	38,46 a	4,88 a	9,94 b
G-2-2	40,79 a	15,23 b	19,26 a	7,28 b
G-2-22	37,48 a	21,61 b	16,80 a	0,83 b
G-2-23	26,57 a	34,98 b	2,64 a	0,93 b
G-2-25	19,67 a	14,00 b	7,54 a	0,23 b
G-2-26	30,63 a	23,36 b	15,68 a	1,74 b
G-2-27	40,85 a	17,46 b	12,78 a	1,98 b
G-2-7	32,35 a	33,40 a	1,86 a	0,81 a
G-3-12	34,22 a	38,98 b	27,91 a	22,03 b
G-3-24	41,24 a	42,74 a	21,61 a	26,54 b
G-3-28	20,30 a	11,44 b	5,64 a	0,50 b
G-3-3	21,69 a	21,61 a	7,35 a	5,03 b
G-3-4	41,08 a	17,63 b	6,20 a	1,80 b
G-3-5	29,95 a	14,58 b	18,45 a	4,38 b
G-3-65	38,87 a	33,76 b	14,17 a	6,65 b
G-3-8	17,19 a	15,93 a	1,25 a	1,10 a
G-4-10	35,93 a	14,18 b	1,57 a	1,09 a
G-4-3	32,08 a	17,33 b	6,94 a	0,91 b
G-5-18	25,45 a	26,72 a	4,33 a	0,57 b
G-5-2	38,29 a	22,28 b	11,15 a	1,49 b
G-5-25	27,96 a	15,48 b	11,58 a	0,51 b
G-6-14	26,50 a	10,65 b	16,56 a	0,76 b
G-6-24	28,90 a	38,15 b	9,31 a	1,61 b
G-6-39	23,92 a	30,48 b	7,84 a	3,77 b
H-1-108	63,12 a	51,13 b	33,51 a	33,01 a
H-1-81	39,62 a	35,20 b	8,49 a	17,43 b
H-2-111	35,51 a	32,80 a	16,63 a	2,12 b
H-2-22	29,44 a	25,71 b	15,65 a	0,56 b
H-3-37	23,91 a	26,14 b	7,07 a	1,70 b
H-3-39	28,39 a	37,83 b	5,51 a	3,07 b
I-1-95	14,97 a	32,49 b	2,67 a	1,96 a
I-2-12	39,51 a	43,27 b	4,25 a	1,43 b
I-3-10	17,50 a	29,62 b	3,50 a	7,07 b
I-3-11	38,99 a	27,31 b	2,22 a	0,74 a
I-3-27	18,46 a	17,07 a	6,33 a	0,48 b
I-3-65	41,43 a	21,65 b	12,65 a	3,90 b
I-3-67	43,18 a	31,96 b	7,52 a	0,63 b
Media ± dst	31,03 ± 0,44	24,5 ± 0,66	10,66 ± 0,59	4,6 ± 0,37
% CV intra-annual	1,86	2,71	4,07	8,17
% CV inter-annual	2,32		5,34	

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los años del estudio según el test LSD ($p = 0,05$).

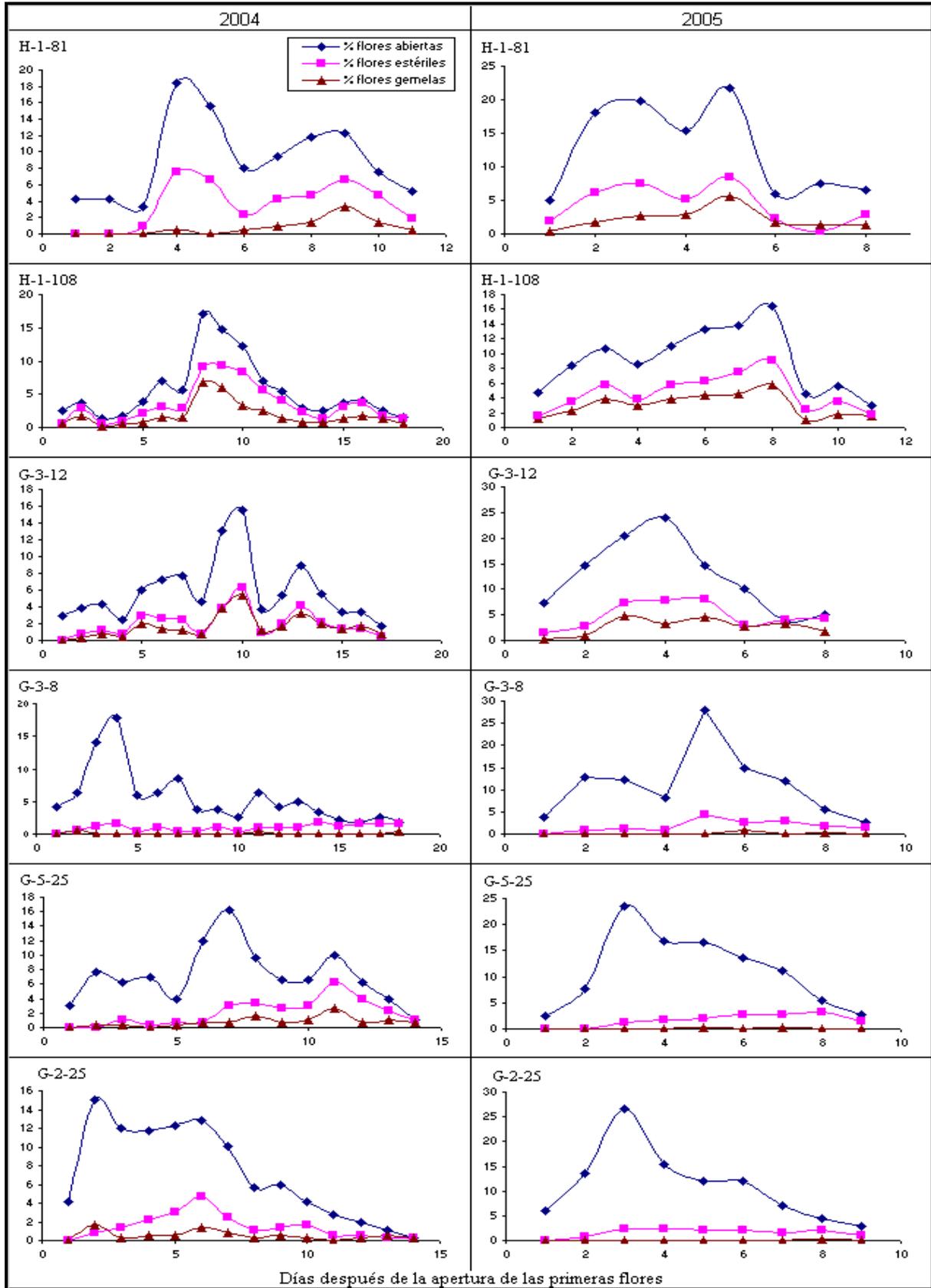


Fig 5.10. Evolución de la apertura de flores y de la aparición de flores estériles de algunas selecciones en cada año del estudio.

Cuadro 5.5. Época de floración y caracteres productivos de la población estudiadas.

Selección	Grupo	Época de floración	Cuajado			Densidad del fruto			Capacidad fructífera		
			2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
G-1-38	1	Semi-tardía	0,8 a*	0,0 b	20,6 c	0,00 a	0,00 a	0,23 b	0,48 a	0,0 b	27,1 c
G-2-11	1	Semi-tardía	0,2 a	0,3 a	24 b	0,00 a	0,00 a	0,21 b	0,24 a	0,1 b	22,6 c
G-2-23	1	Semi-tardía	0,2 a	0,0 a	11,3 b	0,00 a	0,00 a	0,13 b	0,15 a	0,0 b	10,2 c
G-3-24	1	Semi-tardía	4,9 a	0,0 b	24,4 c	0,02 a	0,00 a	0,48 b	1,52 a	0,0 b	20,9 c
H-1-108	1	Semi-tardía	1,1 a	4,1 c	9,3 c	0,00 a	0,01 a	0,11 b	0,53 a	2,9 b	4,4 c
H-1-81	1	Semi-tardía	6,8 a	8,5 a	20,6 b	0,02 a	0,01 a	0,11 b	2,93 a	1,4 c	11,9 b
H-2-111	1	Semi-tardía	0,0 a	0,0 a	16,6 b	0,00 a	0,00 a	0,11 b	0,00 a	0,0 a	9,3 b
H-2-22	1	Semi-tardía	1,6 a	0,0 b	14 c	0,00 a	0,00 a	0,13 b	0,26 a	0,0 a	10,6 b
H-3-37	1	Semi-tardía	1,3 a	0,0 b	8,4 c	0,00 a	0,00 a	0,06 b	0,74 a	0,0 a	8,7 b
H-3-39	1	Semi-tardía	2,6 a	0,0 b	7,9 c	0,02 a	0,00 a	0,09 b	2,54 a	0,0 b	9,3 c
I-1-95	1	Semi-tardía	9,5 a	0,0 b	8,7 a	0,12 a	0,00 b	0,14 a	15,4 a	0,0 b	13,4 a
I-2-12	1	Semi-tardía	9,4 a	0,0 b	13,2 c	0,06 a	0,00 b	0,27 c	4,91 a	0,0 b	14,2 c
I-3-10	1	Semi-tardía	17,2 a	7,3 b	21,8 c	0,10 a	0,03 b	0,29 c	15,6 a	6,9 b	21,1 c
I-3-65	1	Semi-tardía	27,2 a	1,3 b	15,9 c	0,08 a	0,00 b	0,14 c	14,2 a	0,2 b	13,5 a
I-3-67	1	Semi-tardía	9,5 a	0,0 b	24,3 c	0,07 a	0,00 b	0,21 c	12,1 a	0,0 b	28,6 c
G-2-7	1	Tardía	0,5 a	0,0 a	18,8 b	0,00 a	0,00 a	0,20 b	0,24 a	0,0 b	11,4 c
G-1-58	1	Tardía	28,3 a	1,3 b	29 a	0,19 a	0,01 b	0,33 c	21,9 a	1,9 b	28,6 c
G-1-67	1	Tardía	11,1 a	5,8 b	24,1 c	0,06 a	0,04 a	0,22 b	8,71 a	5,4 b	15,5 c
G-3-65	1	Tardía	4,2 a	0,0 b	11,6 c	0,03 a	0,00 a	0,15 b	7,49 a	0,0 b	16,7 c
G-5-18	1	Tardía	8,2 a	0,0 b	17,8 c	0,06 a	0,00 b	0,23 c	5,93 a	0,0 c	15,6 c
G-6-24	1	Tardía	4,8 a	0,0 b	21,7 c	0,03 a	0,00 a	0,27 b	3,43 a	0,0 b	16,2 c
G-6-39	1	Tardía	11,4 a	0,0 b	8,2 c	0,09 a	0,00 b	0,11 a	8,54 a	0,0 b	10,4 c
G-2-26	1	Tardía	25,5 a	18,1 c	27,3 a	0,14 a	0,02 b	0,36 c	12,5 a	1,4 b	16,2 c
G-3-12	1	Tardía	11,8 a	19,9 b	25,2 c	0,09 a	0,04 a	0,39 c	8,10 a	2,9 b	9,6 c
G-1-23	2	Tardía	19,4 a	9,5 b	21,7 a	0,13 a	0,06 b	0,20 c	7,59 a	5,6 b	8,3 a
G-1-61	2	Tardía	10,5 a	11,9 a	14,1 b	0,07 a	0,05 a	0,15 b	8,77 a	8,1 a	14,7 b
G-1-64	2	Tardía	10,9 a	7,1 b	13 c	0,09 a	0,04 b	0,14 c	11,2 a	6,9 b	14,7 c
G-2-1	2	Tardía	9,6 a	13,9 b	14,4 b	0,06 a	0,03 b	0,11 c	10,1 a	4,1 b	9,5 a
G-2-2	2	Tardía	17,9 a	15,8 b	24 c	0,10 a	0,08 a	0,17 b	8,93 a	7,6 a	12,1 b
G-2-22	2	Tardía	12,7 a	5,7 b	14,3 a	0,10 a	0,04 b	0,09 a	10,1 a	5,5 b	11,3 a
G-2-27	2	Tardía	12,7 a	16,3 b	18,1 b	0,05 a	0,08 b	0,14 c	5,10 a	9,9 b	8,6 b
I-3-11	2	Tardía	12,8 a	4,9 b	11,3 c	0,07 a	0,03 b	0,10 c	6,83 a	2,9 b	8,5 b
G-3-28	2	Tardía	8,6 a	14,9 b	11,9 c	0,05 a	0,04 a	0,11 b	5,81 a	4,9 a	7,8 b
G-3-3	2	Tardía	17,5 a	12,6 b	27,1 c	0,11 a	0,06 b	0,22 c	15,2 a	8,7 b	19,9 c
G-3-4	2	Tardía	10,7 a	16,1 b	20,1 c	0,07 a	0,06 a	0,22 b	10,6 a	7,5 b	24,4 c
G-3-5	2	Tardía	15,1 a	16,5 a	20 b	0,18 a	0,10 b	0,21 c	19,7 a	10,4 b	13,4 c
G-3-8	2	Tardía	15,5 a	19,8 b	31,7 c	0,16 a	0,10 b	0,42 c	20,7 a	15,8 b	33,6 c
G-4-3	2	Tardía	24,7 a	11,3 b	25,3 b	0,17 a	0,07 b	0,26 c	19,8 a	10,2 a	19,7 a
G-4-10	2	Tardía	20,9 a	13,0 b	21,4 a	0,13 a	0,07 b	0,37 c	15,7 a	5,9 b	15,5 a
G-5-25	2	Tardía	15,1 a	16,7 b	14,6 a	0,10 a	0,06 b	0,11 a	12,7 a	6,1 b	6,6 b
G-1-1	2	Muy tardía	21,3 a	17,3 b	24,8 c	0,21 a	0,08 b	0,26 c	27,6 a	7,9 b	13,2 c
G-1-27	2	Muy tardía	21,5 a	20,1 a	33,1 b	0,11 a	0,09 b	0,28 c	14,7 a	11,3 b	23,2 c
G-1-41	2	Muy tardía	23,7 a	20,1 b	15 c	0,13 a	0,06 b	0,28 c	16,6 a	5,5 b	13,5 c
G-1-44	2	Muy tardía	14,5 a	19,7 b	23,6 c	0,06 a	0,05 a	0,15 b	6,93 a	7,3 a	13,5 b
G-2-25	2	Muy tardía	19,1 a	22,1 a	26,5 b	0,06 a	0,13 b	0,25 c	8,32 a	17,3 b	19,1 b
G-5-2	2	Muy tardía	10,1 a	10,8 a	16,1 b	0,04 a	0,04 a	0,11 b	5,41 a	7,1 b	8,1 b
G-6-14	2	Muy tardía	19,1 a	22,9 b	24,9 c	0,12 a	0,08 b	0,27 c	13,4 a	9,8 b	14,2 a
I-3-27	2	Muy tardía	12,0 a	15,2 b	16,1 b	0,08 a	0,08 b	0,31 b	10,8 a	7,3 b	16,8 b

* letras diferentes indican diferencias significativas entre los años de estudio según el test LSD ($p = 0,05$).

Selecciones del grupo 1.

El análisis de la varianza ha mostrado diferencias altamente significativas entre los genotipos y los años de estudio y para la interacción entre ambos para el cuajado, la densidad de fruto y la capacidad fructífera (Cuadro 5.6). Ello indica que estos caracteres se encuentran determinados tanto por el genotipo como por las condiciones del año.

Cuadro 5.6. Análisis de varianza global del cuajado, productividad y densidad de frutos de las selecciones de floración media.

Fuente de variación	GL	Cuajado	Productividad	Densidad de frutos
<u>Cuadrados medios</u>				
Genotipo	23	0,14 ***	175,21 ***	0,02 ***
Año	2	2,84 ***	5020,07 ***	1,05 ***
Genotipo × Año	46	0,04 ***	84,04 ***	0,01 ***
Residual	216	0,006	30,55	0,004

***: significativo a una probabilidad de $P < 0,0001$

Los cuajados de los años 2003 y 2004 fueron muy inferiores en comparación con los del año 2005 (Fig 5.11). Ya se ha comentado que este grupo de selecciones sufrió daños muy importantes por las heladas en el 2003 y especialmente en el 2004, mientras que en el 2005 no se registraron daños por las heladas. Ello indica que en este grupo, el factor determinante para el análisis de los datos es la incidencia de las heladas sobre los resultados de la producción. Por ello es muy difícil interpretar el efecto genotipo sobre estos caracteres. Sin embargo es oportuno hacer algunos comentarios sobre el comportamiento anual de las selecciones en cuanto a su capacidad productiva en función de las características de cada año.

El cuajado medio del año 2005 fue de 17,72%, muy superior al 8,26% de 2003 y especialmente al 2,76% de 2004 (Fig 5.11). Al analizar los resultados de los cuajados de cada año por separado se vio que en la primavera de 2003 el daño por la helada en los frutitos osciló entre el 20% y el 77%, lo que produjo una importante reducción del cuajado, que fue prácticamente nulo en algunas selecciones (H-2-111, G-1-38, G-2-11; G-2-23, G-2-7 y H-3-37) y claramente insuficiente desde el punto de vista económico en otras (G-3-65, G-6-24, G-3-24, H-1-81 y G-5-18) (Cuadro 5.5). Algunas selecciones mostraron un cuajado intermedio, aunque no aceptable económicamente (G-6-39, I-1-95, I-2-12 e I-3-10) (Cuadro 5.5), y sólo la selección G-1-58 mostró un cuajado normal (28,5%), equiparable a un nivel comercial (Kester y Griggs, 1959).

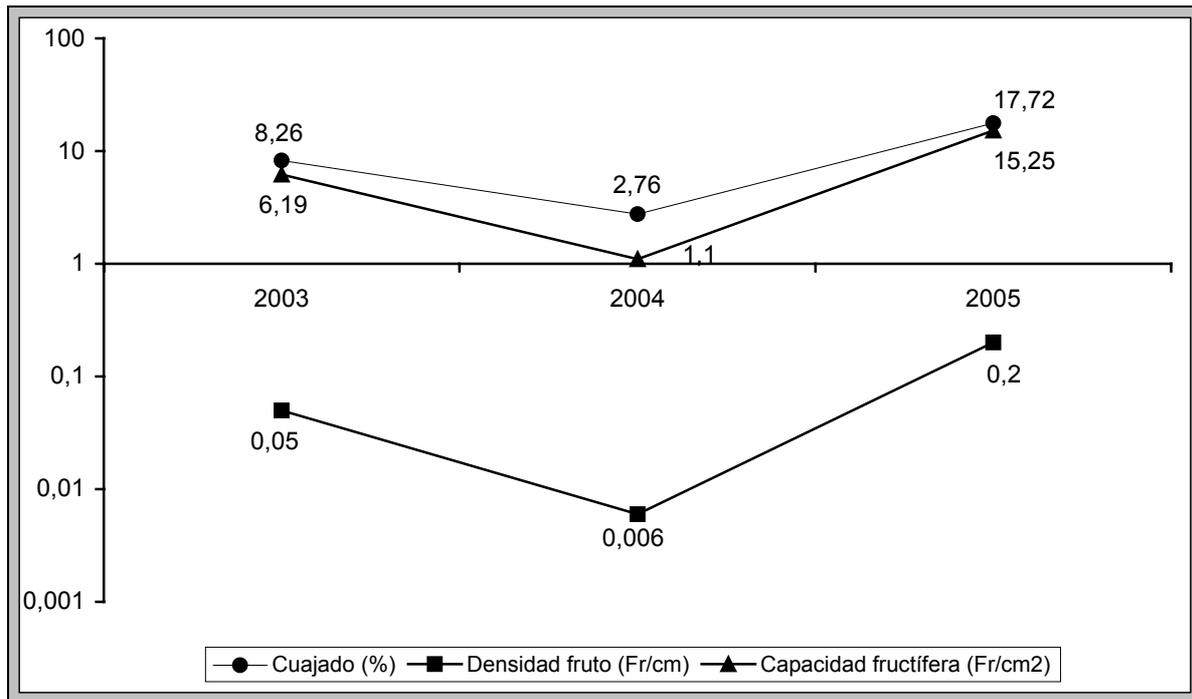


Fig 5.11. Evolución del cuajado, densidad frutal y capacidad fructífera de las selecciones afectadas por las heladas (grupo 1).

En la primavera de 2004 el daño por heladas en los frutitos fue superior al 90% y produjo la anulación de la cosecha en la mayoría de las selecciones e insuficiente en el resto (G-1-67, H-1-81 e I-3-10) (Cuadro 5.5). Destacó el comportamiento de la selección G-1-58, en la que se había obtenido un cuajado comercialmente aceptable en 2003 y nulo en 2004, mientras que en el resto de las selecciones el cuajado fue insuficiente o nulo en los dos años de estudio (Cuadro 5.5).

En cuanto a la densidad de fruto y a la capacidad fructífera, los valores de los años 2003 y 2004 han sido muy bajos (Fig 5.11) ya que la mayoría de los genotipos de este grupo no cuajaron. Sin embargo, en el año 2005 la densidad de fruto osciló entre 0,06 y 0,48 fruto/cm, siendo las selecciones G-3-24, G-3-12, G-2-26, G-1-58 e I-3-10 las que presentaron una elevada densidad de fruto y las selecciones H-3-37, H-3-39, H-1-108, H-1-81, H-2-111, H-2-22, G-2-23, G-6-39 las que presentaron valores muy bajos (Cuadro 5.5).

Así mismo se observó una gran variabilidad de la capacidad fructífera de estas selecciones con unos valores que oscilaban entre 4,38 y 28,6 fruto/cm². Las selecciones G-1-38, G-1-58, G-2-11 I-3-10 e I-3-67 presentaron los valores más elevados de la capacidad fructífera, mientras que las selecciones G-2-23, G-3-12, H-3-37, H-3-39, H-1-108 y H-2-111 presentaron los valores más bajos (Cuadro 5.5).

Selecciones del grupo 2

Las selecciones de este grupo se encontraban en los días de las heladas de los años 2003 y 2004 en estados fenológicos más atrasados, con la apertura de las primeras flores, o incluso sin haber empezado todavía la floración, por lo que la helada sólo afectó a yemas y a flores recién abiertas. El análisis de varianza global del cuajado, la densidad de fruto y la capacidad fructífera ha mostrado diferencias significativas entre los genotipos y los años y para la interacción entre ambos (Cuadro 5.7).

Cuadro 5.7. Análisis de varianza del cuajado, la productividad y la densidad de fruto del grupo 2.

Fuente de variación	GL	Cuajado	Productividad	Densidad de frutos
<u>Cuadrados medios</u>				
Genotipo	23	0,04 ***	206,9 ***	0,02 ***
Año	2	0,15 ***	1047,5 ***	0,49 ***
Genotipo × Año	46	0,01 ***	62,2 ***	0,008 ***
Residual	216	0,005	36,16	0,003

***: significativo a una probabilidad $p < 0,0001$.

Los cuajados inferiores se obtuvieron en 2004 (Fig 5.12), debido al efecto de las heladas. En 2003 las heladas sólo produjeron daños en 12 de las 24 selecciones de este grupo, las que ya habían iniciado su floración. Los daños en yemas y flores oscilaron este año entre el 2% (G-2-2) y el 47% (G-3-5). En 2004 todas las selecciones de este grupo sufrieron daños por heladas, con excepción de las selecciones G-1-27 y G-2-25, las de floración más tardía, con daños que oscilaron entre el 3% (I-3-27) y el 53% (G-3-3). En general, a pesar de que los daños en 2004 fueron superiores que en 2003, sólo el 41% de estas selecciones sufrieron daños superiores al 10% de las yemas y las flores ya abiertas en el momento de la helada (Ver Capítulo 10).

Los cuajados oscilaron en 2003 entre el 8,66 (G-3-28) y el 24,76% (G-4-3), y entre el 4,95 (I-3-11) y el 22,97% (G-6-14) en 2004. Los cuajados en 2005 fueron significativamente superiores a los de los dos años anteriores, con una oscilación entre el 11,36% (I-3-11) y el 33,08% (G-1-27). La densidad de fruto y la capacidad fructífera siguieron el mismo patrón de evolución interanual que el cuajado (Fig 5.12), con los valores más altos en 2005.

Al analizar la estabilidad interanual (3 años) de los caracteres estudiados se observó que en algunas selecciones, el cuajado (G-1-61, G-2-25, G-3-28, G-3-5, G-5-2, G-5-25 e I-3-27), la densidad frutal (G-2-1, G-2-2, G-2-22, G-3-28, G-5-2, G-5-25 e I-3-11), y la capacidad fructífera (G-1-23, G-1-61, G-2-1, G-2-2, G-2-27, G-3-28, G-5-2 y G-5-25), no variaron significativamente entre los años. En el resto de las selecciones, estos caracteres presentaron una fluctuación interanual significativa.

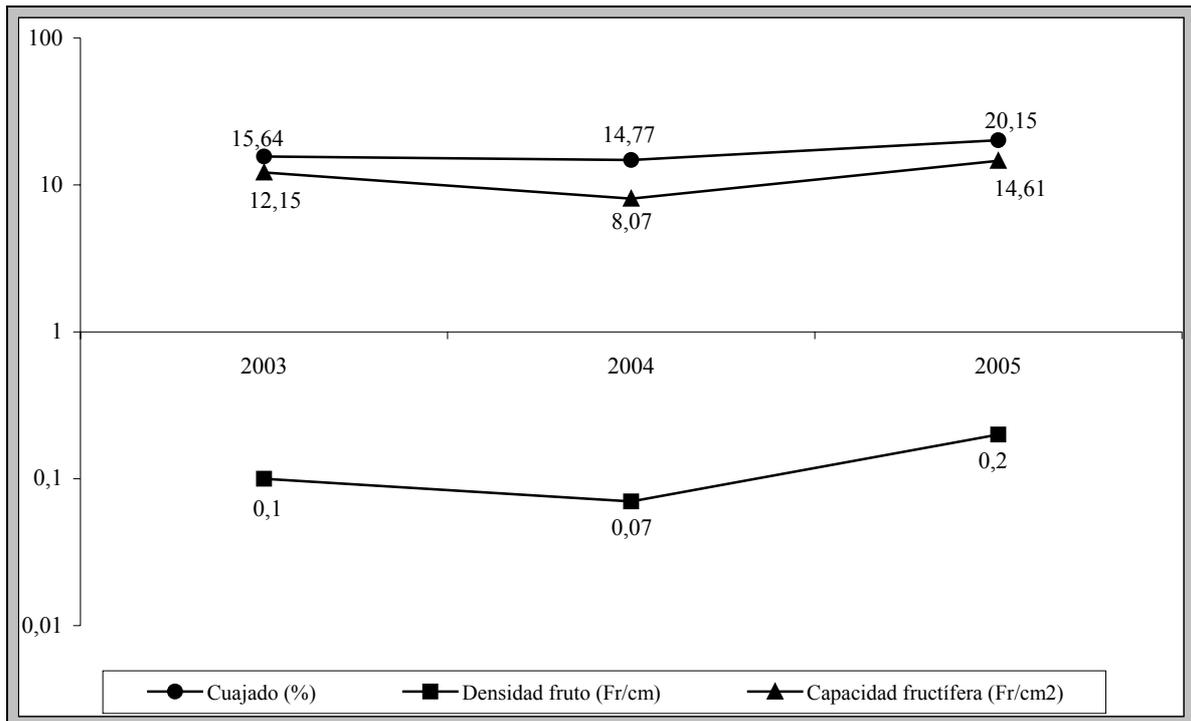


Fig 5.12. Evolución del cuajado, la densidad de fruto y la capacidad fructífera de las selecciones no afectadas por las heladas (grupo 2).

Con el objetivo de comprobar si la época de floración tiene una influencia sobre el cuajado, independientemente de la ocurrencia de las heladas, se analizaron los datos del año 2005. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 5.8). La separación de medias (test LSD) mostró que las selecciones no se agrupan según su fecha de floración. Algunas selecciones de floración muy tardía presentaron valores bajos y similares a los de algunas de floración semi-tardía o tardía y viceversa (Cuadro 5.5).

Cuadro 5.8. Análisis de varianza del conjunto de selecciones estudiadas en el año 2005.

Fuente de variación	GL	Cuajado	Densidad de frutos	Productividad
Cuadrados medios				
Genotipo	47	170,2 ***	0,037 ***	163,1 ***
Residual	144	33,08	0,008	52,5

***: significativo a una probabilidad $p < 0,0001$

5.3.4 ÉPOCA Y DURACIÓN DE LA MADURACIÓN

La fecha de maduración media de los años 2003-2005 de las selecciones con relación a las variedades de referencia se presenta en el Cuadro 5.9. En general, la mayoría de los genotipos estudiados presentan una maduración precoz.

En el cuadro 5.10, se presentan los resultados de la fecha, la duración de la maduración y el período de fructificación de los tres años de estudio. No se presentan los datos de algunas selecciones, debido a la pérdida de la cosecha por el efecto de las heladas. La fecha de maduración presenta una gran variabilidad genotípica ya que las primeras selecciones (G-1-38, G-2-2, G-3-5, G-3-12, G-3-24 y H-1-108) empiezan a madurar a mediados del mes de agosto y las últimas (G-3-8, G-4-3 y G-4-10) a mediados del mes de septiembre. Este carácter presentó una gran fluctuación interanual, pero sin notables cambios en su orden cronológico (Cuadro 5.10).

Por otra parte, se observó una cierta variabilidad para los valores de la duración de la maduración, inferior a la de la fecha de maduración. Los valores oscilaron entre 12 y 23 días en el 2003 y entre 8 y 17 días en los años 2004 y 2005 (Cuadro 5.10). En general, la variación interanual ha sido insignificante para algunas selecciones (G-1-23, G-1-27, G-1-61, G-2-22, G-2-26, G-3-12, G-4-3 y G-6-14), mientras que en otras (G-1-67, G-1-64 e I-3-67) ha sido notable (Cuadro 5.10).

La duración de la fructificación varió considerablemente entre los genotipos con unos valores que oscilaron entre 144 y 184 días (Cuadro 5.10), mientras que la variabilidad interanual ha sido insignificante considerando el conjunto de las selecciones estudiadas (144-184 días; 149-183 días y 144-185 días para los tres años consecutivos). No obstante, algunas selecciones (G-1-38, G-1-58, G-2-2; G-2-22; G-3-5; G-3-24, H-1-81 e I-3-67) presentaron una gran variabilidad interanual.

Cuadro 5.9. Grupos de maduración establecidos con relación a las variedades de referencia.

Grupo	Fecha de maduración	Variedad de referencia	Selecciones
1	Muy precoz	'Malagueña'	-
2	Precoz	'Guara'	G-1-1, G-1-27, G-1-38, G-1-41, G-1-44, G-1-58, G-1-61, G-1-64, G-1-67, G-2-2, G-2-7, G-2-11, G-2-22, G-2-23, G-2-25, G-2-26, G-2-27, G-3-3, G-4-3, G-3-5, G-3-12, G-3-24, G-3-28, G-3-65, G-5-2, G-5-18, G-5-25, G-6-14, G-6-24, G-6-39, H-2-22, H-3-37, H-3-39, H-1-81, H-1-108, H-2-111, I-1-95, I-2-12, I-3-10, I-3-11, I-3-27, I-3-65, I-3-67 e I-3-10.
3	Semi-tardía	'Marcona' y 'Moncayo'	G-2-1, G-3-8 y G-4-10.

Cuadro 5.10. Fecha y duración de la maduración y duración de la fructificación en tres años del estudio (2003-2005) .

Carácter Genotipo	Fecha de maduración			Duración de la maduración			Duración de la fructificación		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
G-1-1	06-sep	03-sep	30-ago	18	16	12	161	156	152
G-1-23	06-sep	11-sep	8-sep	15	12	13	158	166	161
G-1-27	28-ago	02-sep	1-sep	15	13	14	148	149	144
G-1-38	18-ago	-	17-ago	15	-	8	157	-	149
G-1-41	06-sep	07-sep	7-sep	17	13	14	163	160	159
G-1-44	09-sep	03-sep	7-sep	18	9	13	163	154	155
G-1-58	30-ago	03-sep	18-ago	15	12	8	164	174	148
G-1-61	09-sep	08-sep	7-sep	16	14	13	159	164	160
G-1-64	12-sep	12-sep	9-sep	20	13	15	166	171	164
G-1-67	10-sep	15-sep	2-sep	23	16	11	184	183	165
G-2-1	10-sep	14-sep	10-sep	14	11	15	170	172	163
G-2-2	28-ago	11-sep	29-ago	17	14	11	158	166	148
G-2-7	02-sep	-	23-ago	17	-	14	175	-	155
G-2-11	28-ago	-	3-sep	18	-	16	171	-	167
G-2-22	28-ago	11-sep	26-ago	17	17	16	157	166	147
G-2-23	11-sep	-	29-ago	19	-	11	178	-	161
G-2-25	09-sep	11-sep	5-sep	15	11	13	158	159	153
G-2-26	28-ago	07-sep	1-sep	13	13	14	171	180	164
G-2-27	08-sep	-	11-sep	16	-	16	167	-	166
G-3-3	09-sep	11-sep	4-sep	12	17	10	166	166	156
G-3-4	08-sep	07-sep	8-sep	16	12	13	164	164	160
G-3-5	18-ago	07-sep	26-ago	14	12	16	145	166	146
G-3-8	12-sep	14-sep	9-sep	16	11	12	167	171	162
G-3-12	18-ago	07-sep	23-ago	14	13	15	152	168	150
G-3-24	28-ago	07-sep	26-ago	18	16	15	170	180	157
G-3-28	08-sep	11-sep	7-sep	17	9	12	162	163	159
G-3-65	03-sep	-	26-ago	19	-	16	175	-	156
G-4-3	14-sep	11-sep	6-sep	13	8	13	168	166	158
G-4-10	15-sep	17-sep	13-sep	16	10	16	169	169	166
G-5-2	28-ago	03-sep	28-ago	17	12	13	150	154	146
G-5-18	28-ago	-	31-ago	13	-	13	167	-	163
G-5-25	08-sep	12-sep	4-sep	16	9	15	158	164	154
G-6-14	28-ago	10-sep	31-ago	13	14	13	152	161	148
G-6-24	04-sep	-	2-sep	17	-	15	176	-	163
G-6-39	28-ago	-	27-ago	17	-	13	165	-	158
H-2-22	28-ago	-	26-ago	12	-	11	175	-	158
H-3-37	08-sep	-	29-ago	16	-	12	182	-	166
H-3-39	28-ago	-	6-sep	12	-	16	174	-	170
H-1-81	02-sep	03-sep	23-ago	16	12	14	170	183	155
H-1-108	18-ago	-	14-ago	16	-	13	161	-	145
H-2-111	29-ago	-	2-sep	15	-	14	174	-	164
I-1-95	28-ago	-	27-ago	13	-	10	169	-	158
I-2-12	10-sep	-	12-sep	18	-	17	179	-	175
I-3-10	28-ago	07-sep	30-ago	19	13	16	167	179	159
I-3-11	08-sep	12-sep	9-sep	18	11	14	164	175	158
I-3-27	05-sep	08-sep	1-sep	19	14	13	161	160	151
I-3-65	03-sep	07-sep	29-ago	19	17	11	173	179	158
I-3-67	28-ago	03-sep	27-ago	13	12	9	172	180	157

La duración de la maduración y de la fructificación se presenta en días.

5.4 DISCUSIÓN

5.4.1 FECHA Y DURACIÓN DE LA FLORACIÓN

La época de floración es un carácter que se ha estudiado con atención en el almendro debido a su importancia desde dos puntos de vista: por la coincidencia de floración de las variedades que se deban interpolinizar y por las condiciones climáticas que ocurren en su transcurso (Felipe, 2000). Todas las selecciones son de floración media, tardía o muy tardía. Esta población ha sido ya seleccionada, lo que justifica la ausencia de genotipos de floración temprana. El grupo 2 está constituido por 13 selecciones que son de floración semi-tardía puesto que presentan una fecha de inicio y de plena floración que coinciden con las de 'Nonpareil'. Las selecciones del grupo 3 son de floración tardía y coinciden con la floración de las variedades 'Ferragnès' y 'Mission'.

Las selecciones del grupo 4 (G-1-1, G-1-27, G-1-41, G-1-44, G-2-25, G-5-2, G-6-14 e I-3-27) son de floración muy tardía y algunas de ellas presentan la plena floración de 15 (G-1-1) a 18 días (G-1-27) después de 'Ferragnès'. Estas selecciones descienden de 'Felisia', que posee el alelo *Lb* de floración tardía (Socias i Company et al., 1999 a,b), y probablemente lo han heredado de este parental. En los cruzamientos posteriores en los que se han utilizado algunos de estos genotipos, como G-5-2, se ha seguido observando una distribución bimodal de este carácter (Socias i Company et al., 2005), al igual que en las descendencias procedentes de 'Felisia' (Socias i Company et al., 1999b) o 'Tardy NonPareil' (Kester, 1965b, Grasselly, 1978), lo que confirma la presencia de este alelo en estas selecciones.

En las variedades tradicionales de referencia el inicio de la floración de las primeras variedades es normalmente a finales de enero y principios de febrero (Felipe, 2000), lo que las expone a los incidentes climáticos, especialmente las heladas, que perjudican seriamente la flor y por consiguiente la cosecha (Felipe, 1988). En la mayoría de estas selecciones las primeras flores abren a partir de la tercera semana del mes de febrero, lo que les permite escapar de las malas condiciones climatológicas del período invernal, aunque en las zonas de elevada frecuencia de heladas es imprevisible fijar los períodos de alto riesgo. Por ello el carácter de floración muy tardía ha sido considerado un objetivo esencial en muchos programas de mejora para evitar estos fenómenos climatológicos o por lo menos reducir su impacto negativo sobre el rendimiento en el almendro (Socias i Company et al., 1998).

El cambio interanual de la época de la floración de toda la población coincide con los resultados en otras poblaciones del almendro (Bernad y Socias i Company, 1995; Dicenta et al., 1993a; Kester y

Gradziel, 1996; Socias i Company et al., 1999, 2003, 2005; Vargas y Romero, 2001), aunque no se observó ningún cambio significativo en el orden cronológico de las distintas selecciones entre los años, como se había observado en otras poblaciones (Dicenta et al., 1993a; Felipe, 1977). Estas diferencias se deben esencialmente a las diferentes condiciones climáticas durante el invierno, especialmente las temperaturas (Tabuenca et al., 1972).

La época de floración es la consecuencia de la satisfacción de las necesidades en frío y calor en cada variedad (Egea et al., 2003; Rattigan y Hill, 1987; Tabuenca et al., 1972). En un reciente estudio realizado de nuestra unidad se ha concluido que el factor determinante para el inicio de la floración en Zaragoza es la satisfacción de las horas de calor, especialmente por los genotipos de floración tardía, ya que el clima es muy frío, lo que permite una temprana y rápida satisfacción de los requisitos en frío (Alonso et al., 2005). Ello explica la precocidad del inicio de la floración en los años 2002, 2003 y sobre todo del año 2004, caracterizado por un invierno suave y templado y el retraso en el año 2005, caracterizado por un invierno muy frío. Este año, el inicio de la floración de toda la población se retrasó casi un mes en relación al año anterior, debido a las bajas temperaturas registradas anteriormente y que probablemente limitaron la acumulación de las unidades de calor necesarias para el desborre de las yemas y el final de la latencia (Alonso et al., 2005).

El desfase del inicio de la floración de las selecciones de floración semi-tardía ha sido mayor que las de floración tardía o muy tardía. Ello coincide con otros resultados (Hill et al., 1985) y se debe, probablemente, al efecto de la subida brusca de las temperaturas, que superaron los 20°C, después de un largo período de muy bajas temperaturas durante el inicio de la floración de estas selecciones. Ello supuso la satisfacción casi simultánea de las necesidades en calor a estas temperaturas elevadas, como se ha observado en melocotonero (Citadin et al., 2001), ya que las necesidades de calor de las selecciones de floración tardía son mayores que las de floración precoz (Alonso et al., 2005).

La duración de la floración manifestó una gran variabilidad entre los genotipos y los años. Este carácter está bajo control poligénico (Grasselly, 1972) y varía de un año a otro dependiendo de las temperaturas durante la floración (Bernad y Socias i Company, 1995). En efecto, durante el mes de febrero de los años 2003 y 2004 se produjeron temperaturas nocturnas muy bajas y diurnas bajas, resultando en una prolongación de la duración de la floración en algunas selecciones ya en flor y el aplazamiento de la floración de las selecciones de floración tardía. Lo mismo se observó para las selecciones de floración muy tardía al final del mes de marzo de 2004, con temperaturas diurnas y nocturnas bajas, coincidentes con el final de la floración de la mayoría de las selecciones de este

grupo. Sin embargo, en 2005 las temperaturas fueron bastante elevadas durante todo el desarrollo de la floración lo que resultó en un acortamiento de la duración de la floración como en 2002. Estos resultados coinciden con los de Bernad y Socias i Company (1995) y Alonso et al. (2005) en Zaragoza y los de Chandler y Brown (1951) en California.

La apertura diaria de flores mostró un patrón de evolución similar a la distribución normal, como ya se había observado en el almendro (Hill et al., 1985; Socias i Company, 1992) y en otras especies como el melocotonero (Blanco y Socias i Company, 1988). No obstante, algunas selecciones mostraron una desviación de la distribución normal, especialmente en el año 2004, que se caracterizó por disminuciones bruscas de la temperatura a lo largo de la floración, lo que resultó en la parada de la apertura de las yemas de flor en este día o/y los días posteriores, como ya se había observado (Bernad y Socias i Company, 1995; Hill et al., 1985), lo que se atribuyó al retraso del desarrollo de las yemas de flor debido a las bajas temperaturas, resultando en una inhibición o/y reducción de su apertura al día siguiente (Bernad y Socias i Company, 1995). Este fenómeno se observó en las selecciones de floración semi-tardía, tardía o muy tardía, lo que indica que el efecto de las temperaturas sobre el desborre de las yemas no depende solamente de la época de floración ni del genotipo.

Varios factores ambientales intervienen en la determinación de la época de floración en los frutales (Lang, 1965). Estos factores pueden ser predecibles e impredecibles (Bernier y Périlleux, 2005). Los factores predecibles pueden ser primarios o secundarios. Los primeros o específicos influyen directamente sobre la época de floración, como la longitud del día y el requisito período de frío invernal. Los factores secundarios sólo intervienen para modificar el efecto de los factores primarios, como la temperatura, la disponibilidad de agua y la integral lumínica (longitud del día \times irradiación). En cambio, los factores impredecibles son circunstanciales, como la disponibilidad de elementos minerales y la competición por la intercepción de luz. En futuros estudios se deberán considerar varios factores ambientales para esclarecer mejor los factores que determinan la época de floración en el almendro.

Recientemente se han podido identificar y localizar en el mapa genético del almendro 10 posibles genes candidatos (Silva et al., 2005), dos de los cuales en una posición compatible con la región donde se localizaron dos QTLs, involucrados en el desarrollo de la flor y que se han relacionado con los genes que intervienen en la determinación de la época de floración. Nuestros resultados indican que aún quedan por determinar varios factores para esclarecer el determinismo genético de este carácter.

5.4.2 CALIDAD DE LA FLOR Y SU EVOLUCIÓN A LO LARGO DE LA FLORACIÓN

La variabilidad genotípica observada en cuanto al porcentaje de flores gemelas y de flores estériles muestra que estos caracteres dependen de cada genotipo. En el almendro la esterilidad femenina es una característica varietal (Socias i Company, 1983), por lo que algunos genotipos tienden a presentar un porcentaje más alto que otras (Bernad y Socias i Company, 1995; Bezzaouia y Grasselly, 1992; Socias i Company, 1983; Socias i Company y Felipe, 1987), como se ha observado en otras especies como el albaricoquero (Welkerling y Onorati, 1956; Burgos y Egea, 1994), el peral (Jaumieñ, 1968) y el pecanero (Sparks y Madden, 1985).

En el almendro este carácter parece ser heredable ya que se ha observado que la mayoría de las familias descendientes de variedad 'Tuono', que presenta un porcentaje alto y constante de flores estériles (Socias i Company, 1983), también presentan altos porcentajes de este carácter (Barahona y Socias i Company, 1988). Todos los genotipos del presente estudio tienen a 'Tuono' en su genealogía, excepto I-1-95 e I-2-12, por lo que estas selecciones pueden haber heredado este carácter, aunque a niveles diferentes.

La elevada proporción de flores estériles podría ser un efecto de la consanguinidad, especialmente en las selecciones G-5-2, I-3-67 e I-3-65, que proceden del cruzamiento entre 'Felisia' y 'Moncayo', ambas hijas de 'Tuono'. También se ha relacionado la presencia de un elevado porcentaje de flores estériles con una elevada densidad floral en algunas poblaciones híbridas de melocotonero × almendro (Hansche, 1990; Socias i Company et al., 1976), lo que podría explicar el alto porcentaje de flores estériles de las selecciones I-1-95 e I-2-12, que se caracterizan por una elevada densidad floral.

La presencia de flores estériles varía en una variedad según su posición en el árbol y el tipo de los soportes de fructificación tanto en el almendro (Bezzaouia y Grasselly, 1992) como en otras especies como el manzano (Milutinovic, 1975) y el pecanero (Sparks y Madden, 1985). Ello se debe probablemente a las diferencias en la cantidad de reservas acumuladas por los ramos reproductivos (Stephensen, 1981), la intensidad de ramificación, el vigor de los ramos productivos (Felipe, 2000) y la orientación de los ramos reproductivos en el árbol (Felipe, 2000; Robbie et al., 1993). Ello favorece o no la interceptación de la luz, que se ha considerado un factor importante en la determinación de este carácter (Socias i Company et al., 2005). Otros estudios han relacionado la aparición de flores estériles con el estado nutritivo de la flor (Williams, 1965) y con su iniciación (Carrera Morales, 1975).

La significación del efecto año en la proporción de flores estériles indica que este carácter está también bajo control ambiental, como se había encontrado en otras variedades de almendro (Bernad y Socias i Company, 1995) o en otras especies como el albaricoquero (Eaton y Jamont, 1994). En los frutales, la variación interanual de este carácter se puede atribuir a varios factores, como las altas temperaturas durante el otoño (Monet y Bastard, 1971; Martínez-Gómez et al., 2002) o los cambios fisiológicos que sufre la planta (Bernad y Socias i Company, 1995), ya que una misma variedad no reacciona de forma mecánica a los distintos estímulos externos (Socias i Company et al., 2005).

Felipe (2000) consideró la intensidad de este carácter como un factor de adaptación al medio, avanzando que una misma variedad puede mostrar un aumento o una disminución de este fenómeno según el clima. Esta hipótesis explica la variación interanual que presentan las selecciones de un año a otro, reflejado por la significación de la interacción 'genotipo' × 'año'. No obstante, algunas selecciones (H-1-81, H-1-108, I-2-12, I-3-67...) presentaron valores elevados y constantes todos los años, coincidiendo con lo observado en 'Tuono' (Socias i Company, 1983), 'Ferrastar' (Bezaouia y Grasselly, 1992) o 'Guara' (Felipe, 2000).

En general, las flores estériles (malformadas o con anomalías) caen en el momento de la floración (Bezaouia y Grasselly, 1992) y pueden causar una reducción importante de la producción. Socias i Company y Felipe (1987) indicaron que un porcentaje de flores estériles del orden del 20% en genotipos con una elevada densidad floral no afecta el cuajado. Por ello es razonable seleccionar el nuevo material vegetal con un porcentaje nulo o bajo de flores estériles para evitar problemas relacionados con el cuajado.

La proporción de flores gemelas depende tanto de la variedad como de las condiciones del año (Bernad y Socias i Company, 1995; Socias i Company, 1983). Algunas variedades tienden a presentar una elevado porcentaje de flores gemelas, como 'Guara' (Felipe, 2000) o 'Tuono' (Socias i Company, 1983). El único interés de este carácter sería el de aumentar la densidad floral y el cuajado, ya que se encuentran frutos con sus pedúnculos unidos en la base, resultado del cuajado de este tipo de flores (Socias i Company, 1983). No obstante la elevada correlación positiva entre el porcentaje de flores estériles y flores gemelas encontrada en éste y en otros estudios (Socias i Company y Felipe, 1987) indica que este carácter podría resultar en una cierta reducción del cuajado.

La mayor aparición de estos caracteres en flores tardías sugiere que la mayor parte de los frutos procede de las primeras flores abiertas, que son generalmente sencillas y fértiles. Bernad y Socias i

Company (1995) consideraron que el éxito de la polinización y la fecundación de las primeras flores abiertas es crítico para un buen cuajado y una buena cosecha. Destaca la elevada duración de floración de las selecciones G-2-11, G-3-24, H-1-81, H-1-108 e I-2-12 que se distinguen por su alto porcentaje de flores estériles, por lo que es preferible la selección de nuevo material con una duración media de la floración.

También se notaron otras anomalías en la flor de algunas selecciones. En G-1-1 y G-5-2 se observó una proporción elevada de flores en las que la superficie estigmática de los pistilos sobresalía de la corola al empezar su abertura. Ello expone la superficie estigmática al aire libre, provocando su rápida desecación, especialmente en épocas soleadas y poco lluviosas, lo que resulta en el acortamiento del periodo efectivo de polinización y, por consiguiente, en una reducción de las posibilidades de polinización y fecundación de estas flores, lo que podría afectar al cuajado. Éste puede ser el caso de G-5-2, que se caracteriza por unos cuajados bajos.

5.4.3 CUAJADO, DENSIDAD DEL FRUTO Y CAPACIDAD FRUCTÍFERA

Los resultados confirmaron la gran variabilidad del cuajado en los frutales. El cuajado en 2003 y 2004 no superó el 25% en todas las selecciones sin alcanzar el mínimo considerado (25%) para una cosecha comercial (Kester y Kriggs, 1959). En 2005 sólo las selecciones G-1-27, G-1-58 y G-3-8 presentaron valores superiores o iguales al 25%. Sin embargo, en el almendro es muy difícil establecer cuál es un buen nivel de cuajado a causa de las grandes variaciones en algunos caracteres relacionados con el cuajado como la densidad floral (Socias i Company, 1988), la calidad de la flor (Bernad y Socias i Company, 1995), la autocompatibilidad (Ben Njima y Socias i Company, 1995, Socias i Company y Felipe, 1992) y las condiciones climáticas durante el proceso de la floración (Felipe, 1988). La variabilidad observada está de acuerdo con la obtenida para otros genotipos (Dicenta et al., 2002; Socias i Company, 1998; Socias i Company et al., 2004).

En conjunto, el efecto del año fue significativo. Sin embargo, al estudiar la variación interanual, algunas selecciones presentaron valores estables de un año a otro. Ello indica que el comportamiento de cada genotipo depende de la entidad biológica de cada uno (Socias i Company et al., 2004), modificado por las condiciones climáticas del año. En otras especies, como el albaricoquero (Alburquerque et al., 2004) y el peral (Atkinson y Lucas, 1996; Atkinson y Taylor, 1994) también se ha señalado que este carácter está controlado por factores genéticos y por factores ambientales.

La gran variabilidad interanual del cuajado se debe principalmente al efecto de las heladas de los años 2003 y 2004. La magnitud de este efecto depende de varios factores internos de la planta (concentración de crioprotectores, estado nutricional de la planta, etc...), su coincidencia con los estados fenológicos más susceptibles (flores abiertas, frutitos, etc...) y la intensidad y duración de la baja temperatura (Andrews et al., 1983; Proebsting y Mills, 1978a), lo que explica las diferencias indicadas para estos años, con resultados similares a los descritos para otros cultivares (Felipe, 1988).

Los cuajados de 2005 mostraron que la época de floración no tiene incidencia en la expresión del cuajado en condiciones climáticas normales, ya que algunas selecciones de floración muy tardía presentaron valores bajos y similares a los de algunas selecciones de floración semi-tardía o tardía y viceversa. Ello indica que el cuajado y la productividad son independientes de la época de floración.

El comportamiento de cada genotipo de almendro depende de su entidad biológica (Socias i Company et al., 2004). Las selecciones con una elevada densidad floral mostraron cuajados de medios a aceptables. La presencia de una elevada densidad floral puede aumentar las posibilidades de supervivencia de algunas yemas de flor después de una helada, asegurando así una cosecha aceptable en tales condiciones. Sin embargo, no está bien establecida la relación existente entre la densidad floral y el nivel de cuajado del almendro en condiciones climáticas normales (Socias i Company et al., 2004).

Las variedades californianas, especialmente 'Nonpareil', presentan valores de densidad floral inferiores en comparación con los cultivares tradicionales españoles como 'Marcona' o con nuevas obtenciones del CITA como 'Guara' (Socias i Company, 1988), aunque el cuajado que se obtiene en ambos casos se considera económicamente aceptable (Socias i Company et al., 2004). Estas discrepancias probablemente son debidas al hecho de que en California los riesgos de heladas son menores y por ello se han adaptado variedades con una densidad floral baja o media, posiblemente para paliar los problemas relacionados con la calidad de flor (Socias i Company y Felipe, 1994), mientras que en el caso de los programas de mejora en España, especialmente el del CITA, se haya optado por una elevada densidad floral para asegurar una cosecha regular a lo largo de los años debido a la frecuencia de las heladas de primavera. Las mismas hipótesis se expusieron para explicar la elevada densidad floral de algunas variedades de melocotonero americanas y canadienses (Okie y Werner, 1996) y húngaras (Szabó et al., 1998).

Además de la densidad floral, la calidad de flor es importante para determinar el cuajado (Socias i Company, 1983). Las selecciones con un elevado porcentaje de flores estériles se caracterizaron por un cuajado medio a bajo. Esta relación no es siempre cierta, ya que algunas selecciones (G-1-58, G-2-26, G-3-3 y G-3-12) mostraron un cuajado superior al 25%, considerado económicamente aceptable (Kester y Griggs, 1959), con un porcentaje de flores estériles de medio a alto y una densidad floral de media a alta. Ello indica que con una densidad floral de media a alta y un porcentaje de flores estériles medio, se puede obtener un cuajado aceptable en condiciones climáticas normales. No obstante, en las condiciones climáticas del interior, caracterizadas por un alto riesgo de heladas, es siempre preferible una variedad con alta densidad floral y un bajo porcentaje de flores estériles para evitar elevados daños por heladas y por consiguiente una importante reducción o anulación de la cosecha.

Los valores de productividad y densidad de frutos fueron inferiores a los de otros genotipos de almendro (Socias i Company et al., 2004). El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre los genotipos y los años de estudio, indicando que estos caracteres dependen tanto del genotipo como del año. La evolución interanual de estos caracteres sigue el patrón de evolución del cuajado, ya que fundamentalmente derivan de él. Los genotipos vigorosos, como G-3-8, I-3-67, G-1-58, G-1-38, y G-3-4, presentaron unos valores elevados de capacidad fructífera, lo que se debe probablemente a que las ramas vigorosas presentan una buena conductividad hidráulica y por lo tanto una buena asimilación de CO₂ por las hojas de estas ramas (Kervella et al., 1994). Esta relación no es siempre cierta, ya que a veces se establece un desequilibrio entre el crecimiento vegetativo y el desarrollo del fruto (Krekule, 1979), especialmente en árboles jóvenes y con excesivo vigor.

La evaluación de la producción en el almendro se basa en un conjunto de parámetros de producción, como el número de frutos/árbol, el peso de la pepita y el porcentaje de defectos (Godini, 2002; Kester y Gradziel, 1996). Estos caracteres a su vez dependen de las condiciones climáticas durante y después de la floración, así como de otros caracteres, como la densidad floral y el estado nutricional de la planta, que están bajo control genético (Kester, 1989) y ambiental (Socias i Company, 1998), lo que dificulta la definición de la producción en el almendro y su evaluación (Socias i Company et al., 1998). No obstante una variedad que produzca un gran número de frutos por árbol y por hectárea en una plantación comercial, será considerada una variedad productiva (Godini, 2002). Por ello las selecciones con un cuajado de intermedio a elevado, según las condiciones climáticas del año, como G-2-25, G-3-3, G-3-8 y G-4-3, se pueden considerar como posibles futuras variedades productivas.

5.4.4 ÉPOCA Y DURACIÓN DE LA MADURACIÓN

La época de maduración de esta población ha confirmado la gran variabilidad del almendro para este carácter (Dicenta, et al., 1993a; Grasselly, 1972). Se observó también una gran variabilidad interanual, que refleja la influencia de las condiciones climáticas del año. Estos resultados no coinciden con los de Dicenta (1991) que estudió este carácter en dos años y en 32 familias, concluyendo que el efecto de las condiciones climáticas era muy pequeño. Estas discrepancias pueden deberse a las diferentes condiciones meteorológicas de cada zona o al tamaño de la población estudiada y al rango de variabilidad de la época de maduración encontrada en cada estudio. En cualquier caso, a pesar de esta variabilidad interanual, las selecciones guardaron el mismo orden cronológico, ya que la época de maduración es una característica típica de la variedad (Grasselly, 1972; Kester y Asay, 1975).

La mayoría de los genotipos presentaron una maduración precoz (de mediados a finales de agosto). Ello permite una recolección temprana y por consiguiente una importante reducción del efecto de la competición entre el crecimiento del fruto y la diferenciación floral en este período. Así mismo, la precocidad de la maduración permite una recolección en mejores condiciones climáticas y una pronta disponibilidad del producto para la industria.

La duración de la maduración es de interés para la homogeneidad de la recolección y del producto. En el almendro el estado de maduración del fruto afecta a la composición química de la pepita (Schirra y Nieddu, 1992) y por consiguiente a la calidad comercial y tecnológica del producto (Berger, 1969; Guadagni et al., 1978). Por ello una maduración corta se puede considerar como un criterio de evaluación. Los resultados indican la existencia de una cierta variabilidad para la duración de la maduración, con un notable efecto del año.

En cuanto a la duración de la fructificación, los resultados indican que este carácter depende más de las características del genotipo que de las condiciones climáticas. Este carácter parece estar bajo control de varios genes con efecto aditivo y una elevada heredabilidad (Dicenta et al., 1993a), aunque apuntaron la posibilidad de la existencia de otros factores no aditivos implicados en este carácter, como se han encontrado en el melocotonero (French, 1951; de Souza et al., 1998b), especie cercana al almendro. En éste se han llevado a cabo escasos estudios para determinar el comportamiento genético y fisiológico de este carácter, debido probablemente a su complejidad (Kester y Gradziel, 1996) o la falta de interés en el proceso de evaluación. No obstante, se ha puesto en evidencia el efecto negativo de los veranos secos y calorosos sobre la maduración del fruto y su calidad (Felipe, 2000).

Esta situación se observa en las plantaciones tradicionales de almendro en España, en especial, y de la cuenca mediterránea en general (Felipe, 2000; Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). Además, con los cambios climáticos que pronostican un aumento de las temperaturas y un alargamiento de los períodos de sequía a nivel planetario (IPCC, 2001), estos fenómenos se acentuarán en el futuro. Por lo tanto una reducción del período de fructificación, que presenta una gran variabilidad genética, podría ser una vía eficiente para seleccionar nuevo material vegetal que pueda escapar de los períodos críticos que afectan a la calidad de la almendra.

5.5 IMPLICACIÓN EN UN PROGRAMA DE MEJORA

La variación interanual de la época de floración en estas selecciones indica la existencia de factores intrínsecos a la variedad y otros ambientales que intervienen en la fijación de la fecha de floración y de su evolución. Al mismo tiempo proporcionan una idea de las necesidades en frío y en calor, por lo que, aplicando el método de Alonso et al. (2005), se puede predecir el comportamiento de estas selecciones en otras zonas de cultivo. Las grandes diferencias observadas en la duración de la floración entre los genotipos y los años se deben, probablemente, a las características de cada genotipo, aunque el factor determinante es la temperatura durante la floración. Normalmente, las variedades con una floración prolongada pueden ser interesantes en el caso de heladas al principio de la floración y que pueden dañar solamente las flores que ya están abiertas, mientras las cerradas pueden escapar de los daños. En las variedades autoincompatibles una floración prolongada puede asegurar tener siempre algunos días favorables para la polinización.

El amplio rango de variabilidad en la época de floración de estas selecciones autocompatibles y de buenas características comerciales las convierte en parentales potenciales en los futuros cruzamientos para retrasar todavía más la época de floración y por consiguiente evitar los riesgos de las heladas primaverales. El cruzamiento de las selecciones de los grupos 3 y 4 con otros genotipos ajenos a su genealogía puede ser una buena estrategia para conseguir estos objetivos. Las selecciones del grupo 4 y algunas del grupo 3 podrían plantarse en zonas del interior por su floración muy tardía, generalmente en zonas con riesgos de heladas. Sin embargo, en zonas con inviernos templados y con riesgo menor de heladas, es preferible plantar variedades de floración temprana o/y medio tardía, como las selecciones del grupo 2, para favorecer un rápido desarrollo del fruto antes del fuerte calor y la sequía que caracterizan estas zonas (Egea et al., 1995). También es aconsejable seguir dando importancia a este tipo de selecciones y zonas de cultivo debido al interés que puede tener su producción en años de importantes daños por heladas, como ocurrió en 2004. Este año hubo unas

heladas muy fuertes a nivel nacional (la mayor parte de las zonas del cultivo del almendro en España) que anularon o/y redujeron considerablemente la producción. Sin embargo, en las Islas Baleares no se registraron heladas y se obtuvo una buena cosecha (Socias i Company, com. per).

La variabilidad del carácter “flores estériles” y la presencia de genotipos con un porcentaje muy bajo de ellas, indica que es posible la selección de genotipos con un bajo índice de esterilidad, como ‘Ferragnès’. Es también recomendable seleccionar material con un elevado porcentaje de fertilidad para evitar problemas relacionados con el cuajado. Debido a la influencia de los parentales en la presencia de estos caracteres indeseables en las descendencias, es recomendable realizar una selección juiciosa de los mismos.

La evaluación de la esterilidad femenina en los frutales se hace, normalmente, observando el cuajado después de una polinización controlada con un polen compatible (Williams, 1970) o/y detectando las anomalías de la anatomía interna del ovario (óvulos atrofiados, cavidad del ovario vacía) por observaciones microscópicas e histológicas (Stösser y Anvari, 1982; Williams, 1970). A pesar de la eficacia de estos métodos, son costosos en tiempo y recursos para realizar una evaluación aproximada y rápida del grado de esterilidad en un conjunto de genotipos de un programa de mejora. Por ello es razonable utilizar las evaluaciones visuales de la anatomía de las flores como indicador aproximado del grado de esterilidad femenina, ya que Bezaouia y Grasselly (1992) encontraron una relación directa entre la morfología externa y la anatomía interna del ovario. El porcentaje de flores gemelas se puede utilizar también como indicador del grado de esterilidad femenina en el almendro, ya que presenta una elevada correlación con las flores estériles.

El almendro, con algunas excepciones, es una especie autoincompatible (Socias i Company, 1977), por lo que la polinización cruzada es obligatoria para asegurar una cosecha comercialmente satisfactoria, y con ello la necesidad de combinar dos o más variedades íter-compatibles que coincidan en la época de floración. Además de los problemas relacionados con la coincidencia de la época de floración, la inter-compatibilidad genética y el diseño óptimo de plantación (Socias i Company et al., 1994), se deben considerar los problemas relacionados con la época y la duración de la maduración de cada variedad en la plantación y los problemas generados a la hora de la cosecha.

La gran variabilidad genotípica y interanual que presenta el cuajado en las selecciones estudiadas y su relación directa con la densidad floral, la época y la duración de la floración y la calidad de la flor, indica claramente que las estrategias de mejora para este carácter deben ser indirectas. Por ello, para

conseguir mejores rendimientos es preciso mejorar la densidad floral, la calidad de flor y la época de floración. Estas estrategias de mejora deben tener muy en cuenta las zonas en las que se vaya a plantar el nuevo material vegetal autocompatible que se selecciona.

En zonas del interior y con alto riesgo de heladas de primavera y con veranos suaves es preferible seleccionar variedades de floración tardía o muy tardía y una duración de floración media, con una elevada densidad floral y una calidad de flor de media a alta para evitar reducciones drásticas de producción en años con alta incidencia de heladas. En zona con inviernos suaves y veranos calurosos es preferible seleccionar variedades de floración semi-tardía, con una densidad floral media y una calidad de la flor elevada para asegurar una buena cosecha y una época de maduración precoz para disminuir o evitar los efectos drásticos de los veranos secos.

5.6 CONCLUSIÓN

La variación interanual de la época de floración indica la existencia de factores intrínsecos a la variedad y otros ambientales que intervienen en la determinación de la fecha de floración y en su evolución. Las grandes diferencias observadas en la duración de la floración entre los genotipos y los años se deben a las características de cada genotipo, aunque el factor determinante es la temperatura durante la floración, siendo las selecciones de floración media las más afectadas por los cambios de temperatura. La mayoría de los genotipos presentaron una maduración precoz (de mediados a finales de agosto), sin notables cambios interanuales en su cronología. El efecto año fue significativo para la duración de la maduración. Una maduración corta y sincronizada puede considerarse como un criterio de evaluación. Se comprobó que la duración de la fructificación es un carácter que depende más de las características biológicas y fisiológicas del genotipo que de las condiciones climáticas.

A la luz de estos resultados y de otros trabajos sobre el almendro, es muy difícil determinar los factores que intervienen en la determinación de los caracteres relacionados con la productividad, por lo que es recomendable emprender estudios más profundos para esclarecer su determinismo genético, fisiológico y ambiental con el objetivo de mejorar el material vegetal y reducir las causas de los bajos cuajados que perjudican la rentabilidad en esta especie.

Del material vegetal estudiado en esta trabajo se pueden identificar las selecciones G-1-1, G-1-27, G-2-25, G-3-3, G-6-14 e I-3-27 por su floración muy tardía, calidad de flor y regularidad de producción de un año a otro a pesar de la alta incidencia de las heladas registradas a lo largo de su evaluación.

Capitulo 6. Evaluación de la autogamia y su relación
con la morfología floral

6. EVALUACIÓN DE LA AUTOGAMIA Y SU RELACIÓN CON LA MORFOLOGÍA FLORAL

6.1 INTRODUCCIÓN

El éxito de la creación de nuevas variedades de almendro, autocompatibles y de buenas características agronómicas y comerciales como 'Guara' (Socias i Company y Felipe, 1992), 'Lauranne' (Grasselly et al., 1992) y 'Antoñeta' y 'Marta' (Egea et al., 2000), ha permitido aconsejar al sector productivo la realización de plantaciones monovarietales para evitar los problemas que impiden una buena polinización y por lo tanto una buena cosecha (Socias i Company, 1990; Dicenta et al., 2002).

No obstante, algunas variedades autocompatibles presentan problemas de cuajado y de producción como es el caso de la variedad 'Lauranne' en plantación monovarietal (Torre Grossa et al., 1994) o de plantaciones de variedades aisladas sin la presencia de abejas (Godini et al., 1994). Estos problemas evidencian que la autocompatibilidad no es suficiente por sí para asegurar una buena cosecha en algunos casos sin la intervención de los agentes polinizadores. Ello se debe a que la selección de variedades sólo autocompatibles soluciona únicamente una parte de los problemas relacionados con la productividad en el almendro (plantaciones mixtas de variedades intercompatibles y de floración simultánea).

La mayoría de las zonas de cultivo de almendro se caracterizan por largos períodos de bajas temperaturas y un riesgo elevado de heladas durante la floración (Socias i Company et al., 1999 a, b). Estas condiciones climáticas son desfavorables durante la floración porque impiden la actividad de las abejas para volar y llevar a cabo la tarea de transporte del polen (Tasei, 1975). Por ello la selección de nuevo material vegetal autocompatible y capaz de autofecundarse sin la intervención de los agentes polinizadores, o sea autógeno, es un reto importante de los programas de mejora (Socias i Company y Felipe, 1993). La evaluación de este carácter se ha realizado de forma empírica embolsando ramas para evitar la polinización por insectos (Grasselly et al., 1981; Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2005). Los resultados obtenidos por este método se encuentran afectados por las altas temperaturas que se crean dentro de las bolsas (Socias i Company et al., 2005) y por el daño sufrido en las yemas por el embolsado (Grasselly y Olivier, 1976). No obstante, los cuajados en ramas embolsadas siguen siendo un buen indicador de la autocompatibilidad y de la autogamia en el almendro.

En la bibliografía se ha mencionado que la morfología floral, sobre todo la posición relativa del estigma y las anteras, podría tener un efecto sobre el nivel de autogamia, ya que el estigma debe estar en contacto con las anteras, o por lo menos en una posición que le permita recibir el polen, para que la autopolinización natural de la flor tenga éxito. En el almendro este carácter se ha relacionado con el buen cuajado de algunas variedades (Bernad y Socias i Company, 1995; Grasselly et al., 1985; Socias i Company y Felipe, 1992; Vasilakakis y Porlingis, 1984; Weinbaum, 1985), tal como se ha indicado en otras especies de *Prunus* como el guindo (Orosz-Kovács et al., 2000). Sin embargo, no se ha encontrado una relación directa entre el cuajado por autopolinización natural y la morfología floral en un conjunto de variedades autocompatibles de la Apulia (Godini et al., 1992) o en nuevos materiales en proceso de evaluación en el centro del IRTA de Mas Bové (López, 2004) y del CITA de Zaragoza (Alonso, 2004).

Por ello, en este capítulo se ha intentado evaluar la autogamia en la población estudiada con el fin de identificar los genotipos que podrían autopolinizarse en plantaciones monovarietales sin la intervención de agentes polinizadores. Para este fin se evaluaron los cuajados en ramas embolsadas y también se verificó la influencia de la morfología floral sobre el cuajado, teniendo especialmente en cuenta la posición del estigma con respecto a las anteras.

6.2 METODOLOGÍA

Con el fin de determinar la autogamia natural en esta población se evaluó el cuajado natural por medio del embolsamiento de ramas mediante una bolsa de malla de plástico de 120 × 80 cm (Fig 6.1) para evitar todo aporte de polen extraño.

Los resultados obtenidos mediante esta técnica se han cuestionado en algunos casos por los daños ocasionados en el momento de colocar las bolsas, por los cambios de las condiciones ambientales que se producen en el interior de la bolsa, y por el tipo de la bolsa utilizado, ya que cada tipo puede provocar diferentes efectos. La decisión de utilizar esta técnica se basó en el hecho de que si en estas condiciones adversas un genotipo produce un número suficiente de frutos, sin duda alguna, es autógeno. El conteo de las yemas florales se hizo antes de la apertura de las flores, en el estado fenológico C (Felipe, 1977), cuando también se colocaron las bolsas. Una vez finalizada la floración, a la caída de pétalos, se quitaron las bolsas y en el mes de junio se contó el número de frutos en cada rama. El cuajado final se determinó por el cociente entre el número de frutos y el número inicial de yemas.

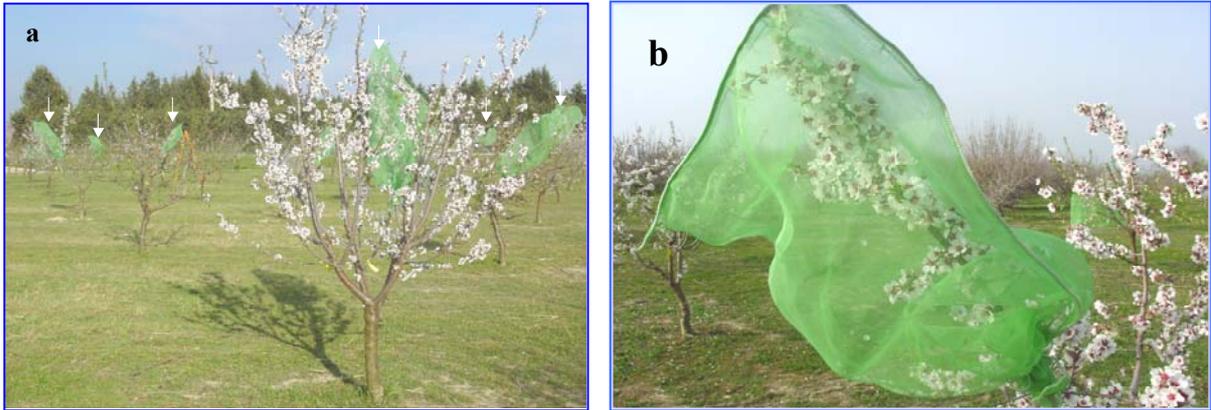


Fig 6.1. Evaluación de la autogamia por embolsamiento en el campo.

- a. Árboles de distintas selecciones con ramas embolsadas.
- b. Rama embolsada con flores abiertas.

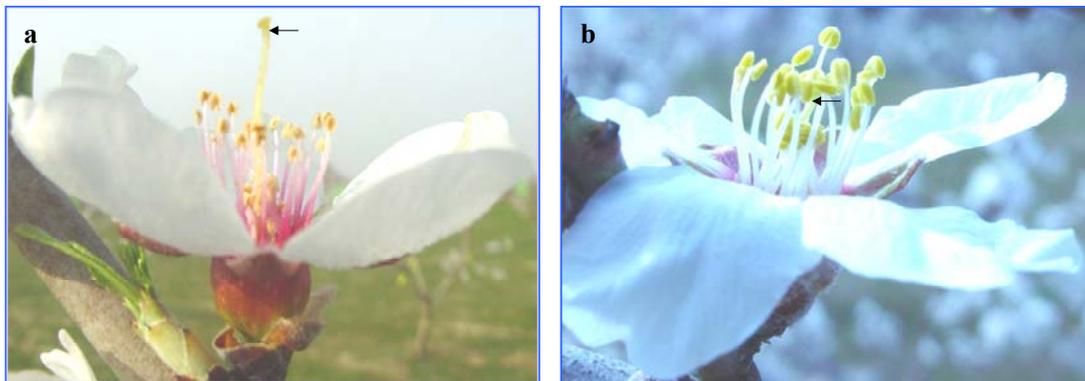


Fig 6.2. Posición relativa del estigma con respecto a las anteras.

- a. Flor epiestigmática (estigma por encima de los estambres).
- b. Flor hipostigmática (estigma por debajo de los estambres).

También se estudió la aptitud morfológica de las flores para su autopolinización natural por medio de la posición de los estambres en relación al estigma (Fig 6.2). Para ello se recogió una muestra de 15 flores recién abiertas por genotipo que se colocaron en bolsas de plástico previamente humidificadas. Una vez en el laboratorio, las flores se guardaron en nevera a una temperatura de 4°C hasta que se tomaron las siguientes medidas:

- La distancia entre la base del pistilo y los estambres superiores (A1) (en mm).
- La distancia entre la base del pistilo y los estambres inferiores (A2) (en mm).
- La distancia entre la base del pistilo y la superficie del estigma (A3) (en mm).

La distancia entre la superficie del estigma y las anteras superiores (EA) se determinó mediante la fórmula: $EA = A3 - A1$.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 CUAJADOS OBTENIDOS

Debido a la gran influencia de los daños por las heladas sobre el cuajado de los años 2003 y 2004, se optó por considerar el año 2005 como de referencia para evaluar el nivel potencial de autogamia de las selecciones estudiadas, ya que en todas ellas hubo un cuajado normal en los casos de polinización libre. En general, los cuajados obtenidos en las ramas embolsadas mostraron una gran variabilidad entre los genotipos (Cuadro 6.1) y los años del estudio (Fig 6.3).

En los años 2003 y 2004 las selecciones de floración semi-tardía y algunas de floración tardía sufrieron daños severos por heladas durante el mes de marzo, lo que resultó en una anulación del cuajado tanto dentro de las ramas embolsadas como en las ramas al aire libre (Cuadro 6.4). Por otra parte, en las selecciones de floración tardía y muy tardía los daños por heladas fueron menores, ya que sólo dañaron las yemas o flores que estaban en un estado fenológico más avanzado, produciendo distintos niveles de reducción del cuajado dentro de las bolsas. La gran variación interanual del cuajado de estas selecciones, debida principalmente al efecto de las heladas, no permitió evaluar la reproducibilidad de los resultados de un año a otro para las selecciones de floración semi-tardía y algunas de floración tardía.

En el grupo de las selecciones con severos daños por heladas en los años 2003 y 2004, los cuajados fueron por consiguiente nulos o muy bajos (Cuadro 6.1). En este grupo sólo la selección presentó un cuajado comercialmente aceptable en el año 2005, mientras que los genotipos G-1-67, G-2-26, G-3-24 y I-3-67 presentaron cuajados superiores al 6%, nivel considerado como mínimo para la autocompatibilidad en ramas embolsadas (Grasselly et al., 1981). El resto de las selecciones presentaron cuajados inferiores al 6% (Cuadro 6.1). Las selecciones de floración tardía presentaron cuajados superiores a las de floración media (Fig 6.3). En el año 2005, las selecciones G-2-25 y I-3-10 tuvieron cuajados comercialmente aceptables, superiores al 25%. Las selecciones G-1-1, G-1-23, G-1-27, G-1-41, G-1-64, G-2-1, G-2-2, G-2-27, G-3-3, G-3-4, G-3-8, G-4-3, G-4-10, G-6-14, e I-3-11 presentaron cuajados superiores al 6%, mientras que en el resto de las selecciones fue inferior al 6% (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1. Cuajados de las ramas embolsadas obtenidos en cada año de estudio.

Selección	Grado de daños por heladas	^z A1 (mm)	A3 (mm)	A2 (mm)	Tipo de flor(**)	Año		
						2003	2004	2005
G-1-38		10,86	8,73	7,65	Hipoestigmáticas	0,00	0,00	1,99
G-1-58		11,12	10,79	9,13	Hipoestigmáticas	7,00	0,94	23,12
G-1-67		11,14	12,47	6,78	Epiestigmáticas	4,73	1,82	6,57
G-2-11		12,49	13,41	8,91	Epiestigmáticas	0,00	0,00	0,40
G-2-23		12,26	14,01	8,39	Epiestigmáticas	4,60	0,00	4,81
G-2-26		10,26	13,23	7,65	Epiestigmáticas	1,65	3,33	16,67
G-2-7		13,99	14,29	8,22	Epiestigmáticas	0,00	0,00	0,49
G-3-12		12,39	12,73	8,18	Epiestigmáticas	3,96	0,00	5,26
G-3-24		12,04	14,10	7,61	Epiestigmáticas	1,58	0,00	6,84
G-3-65	Severo	12,36	11,32	7,63	Hipoestigmáticas	0,00	0,00	0,46
G-5-18		13,91	15,17	7,59	Epiestigmáticas	0,00	0,00	0,82
G-6-24		10,06	13,01	7,85	Epiestigmáticas	0,61	0,00	0,85
G-6-39		10,95	14,69	7,98	Epiestigmáticas	4,02	0,00	4,47
H-2-22		13,52	12,08	7,93	Epiestigmáticas	0,00	0,00	1,18
H-3-37		14,52	12,38	7,87	Hipoestigmáticas	0,00	0,00	1,05
H-3-39		11,50	12,45	7,58	Epiestigmáticas	0,00	0,00	1,00
I-1-95		12,94	13,22	7,94	Epiestigmáticas	1,85	0,00	0,15
I-2-12		13,93	14,31	7,83	Epiestigmáticas	2,61	0,00	2,00
I-3-65		12,86	10,98	8,34	Hipoestigmáticas	0,00	0,00	0,73
I-3-67		13,80	11,74	8,10	Hipoestigmáticas	7,17	0,00	10,19
G-1-1		10,59	9,99	6,62	Hipoestigmáticas	4,80	5,76	11,90
G-1-23		11,95	11,97	7,76	Mesoestigmáticas	12,24	7,62	7,29
G-1-27		10,39	13,11	8,20	Epiestigmáticas	13,49	8,93	9,41
G-1-41		12,28	12,50	8,32	Epiestigmáticas	5,45	5,47	15,14
G-1-44		11,52	12,01	8,11	Epiestigmáticas	9,03	2,40	6,67
G-1-61		11,67	13,00	7,93	Epiestigmáticas	2,26	2,34	1,00
G-1-64		11,54	11,16	7,65	Hipoestigmáticas	8,29	1,59	10,40
G-2-1		12,07	10,52	8,04	Hipoestigmáticas	5,20	9,79	6,05
G-2-2		13,44	14,16	8,89	Epiestigmáticas	10,00	10,09	15,82
G-2-22		10,63	10,85	7,71	Epiestigmáticas	12,31	1,67	4,49
G-2-25		9,64	11,89	6,69	Epiestigmáticas	2,16	1,25	26,19
G-2-27	Moderado	12,15	13,94	9,24	Epiestigmáticas	0,90	1,74	17,14
G-3-28		13,52	14,19	8,55	Epiestigmáticas	4,33	4,05	5,24
G-3-3		12,13	11,19	7,93	Hipoestigmáticas	4,96	6,82	9,77
G-3-4		12,85	11,76	8,31	Hipoestigmáticas	10,07	8,25	7,58
G-3-5		14,17	15,88	10,64	Epiestigmáticas	9,43	2,56	4,23
G-3-8		14,80	15,46	8,10	Epiestigmáticas	6,88	3,20	12,22
G-4-10		12,85	14,19	8,39	Epiestigmáticas	3,76	1,09	15,90
G-4-3		11,26	11,45	8,03	Epiestigmáticas	13,86	10,83	15,93
G-5-2		10,27	11,21	6,35	Epiestigmáticas	1,07	1,36	5,47
G-5-25		11,69	11,37	7,71	Hipoestigmáticas	0,23	0,00	0,15
G-6-14		12,77	13,46	8,92	Epiestigmáticas	10,50	6,45	10,71
I-3-10		13,48	15,04	7,84	Hipoestigmáticas	24,64	8,56	28,06
I-3-11		14,84	13,98	7,96	Hipoestigmáticas	3,28	2,92	6,11
I-3-27		10,90	10,89	7,43	Mesoestigmáticas	2,65	3,17	2,45

** Clasificación basada en la posición del estigma con respecto a las anteras superiores.

^z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4.

En todos los casos, los cuajados de los años 2003 y 2004 fueron inferiores a los obtenidos en 2005 (Fig 6.3). Algunas selecciones (G-1-23, G-1-27, G-2-2, G-3-4, G-4-3, G-6-14 e I-3-10) presentaron cuajados superiores al 6% en los tres años de estudio (Fig 6.5), destacando la selección I-3-10 con un cuajado comercialmente aceptable en 2003, comparable con el de 2005. Se debe indicar que los

cuajados en las ramas embolsadas han sido siempre inferiores a los obtenidos en las ramas al aire libre en todos los años de estudio (Fig 6.4).

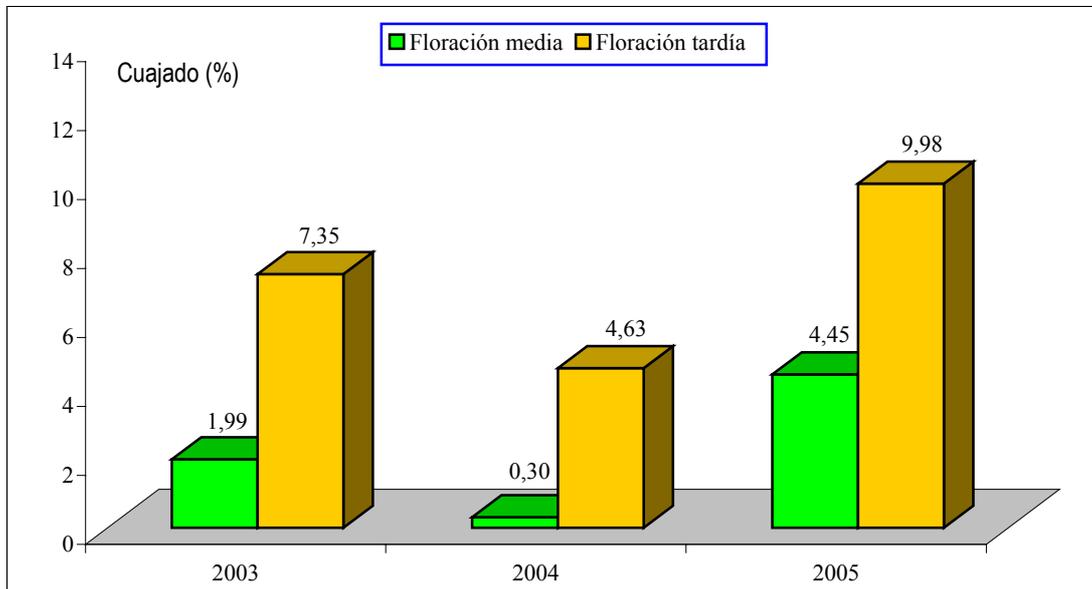


Fig 6.3. Valores medios de los cuajados en cada año de estudio en función de la época de floración de las selecciones.

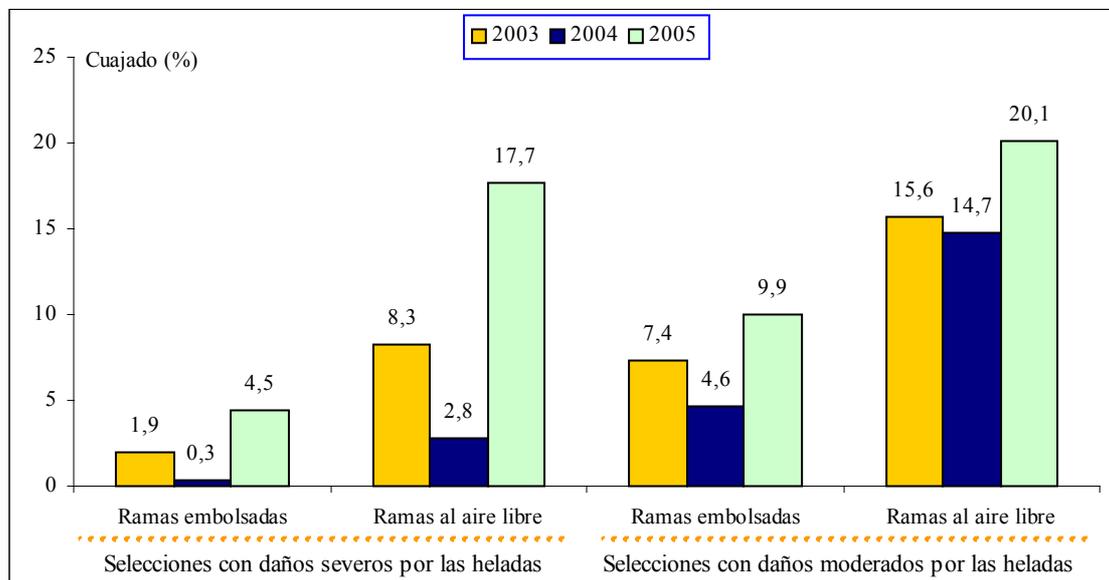


Fig 6.4. Valores de los cuajados obtenidos en ramas embolsadas y en ramas al aire libre en cada año del estudio.

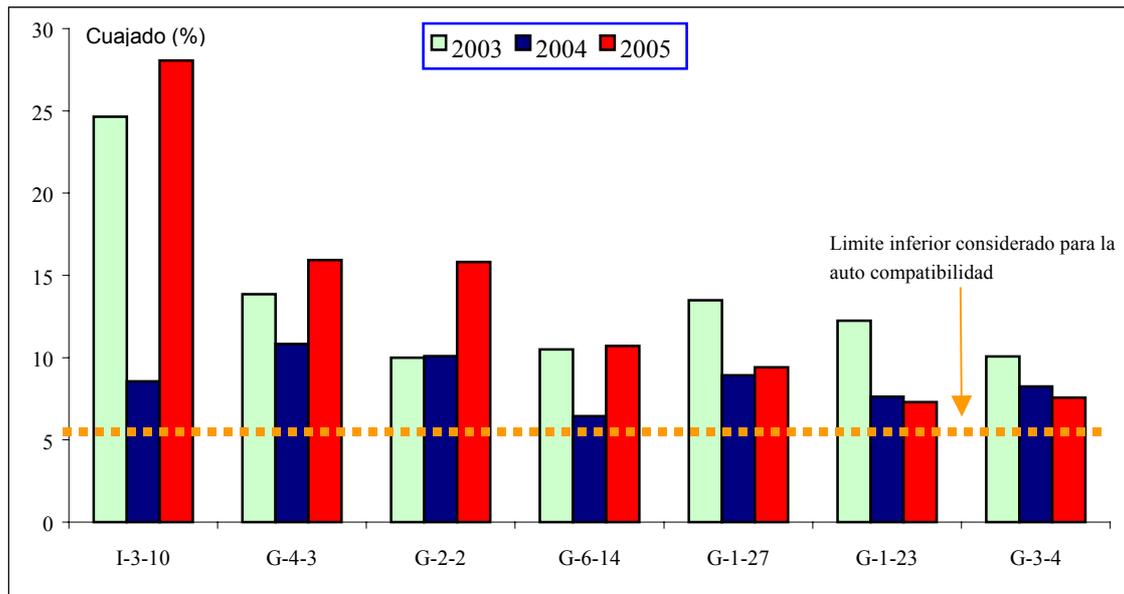


Fig 6.5. Cuajados aceptables obtenidos en algunas selecciones de floración tardía en los tres años de estudio.

6.3.2 POSICIÓN RECÍPROCA ESTIGMA/ANTERAS Y SU RELACIÓN CON LA AUTOGAMIA

El estudio de la posición de los estambres en relación con el estigma mostró que este carácter varía de un genotipo a otro, permitiendo identificar tres tipos de morfología floral y clasificar los genotipos según la misma. Un total de 14 selecciones (G-1-1, G-1-58, G-1-64, G-2-1, G-2-2, G-2-22, G-3-3, G-3-4, G-1-44, G-3-65, G-3-5, G-3-8, G-5-25, I-3-10, I-3-27, I-3-65 e I-3-67) presentan el estigma a una altura inferior a la de las anteras superiores, lo que significa que sus flores son hipostigmáticas; otras dos selecciones son mesoestigmáticas (G-1-23 e I-3-27); el resto de las selecciones son epiestigmáticas (Cuadro 6.1).

La longitud de los pistilos osciló entre 8,73 y 15,88 mm. La longitud de los estambres superiores e inferiores varió entre 9,64 y 15,04 mm, y 6,62 y 10,64 mm, respectivamente. El análisis de varianza mostró que los caracteres internos de la flor presentaron diferencias significativas entre los genotipos estudiados y los años de estudio (Cuadro 6.2). Los valores del año 2002 fueron ligeramente superiores a los del 2003 (Fig 6.6). No obstante, a pesar de la influencia de las condiciones del año sobre las longitudes del pistilo y de los estambres, los genotipos mantuvieron la misma morfología en 2002 y en 2003.

Cuadro 6.2. Análisis de varianza de la longitud relativa del pistilo y las anteras superiores e inferiores de las flores de la población estudiada en 2 años consecutivos.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios		
		<i>z</i> A1	A2	A3
Genotipo	42	17,96 ***	4,94 ***	26,67 ***
Año	1	1,82 ns	4,51 **	8,09 *
Genotipo × Año	42	1,27 **	0,94 *	1,23 ns
Residual	344	0,76	0,47	1,07

ns, *, **, ***. Diferencias no significativa o significativa a $P < 0,05$, $0,01$ o $0,001$ respectivamente.

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4.

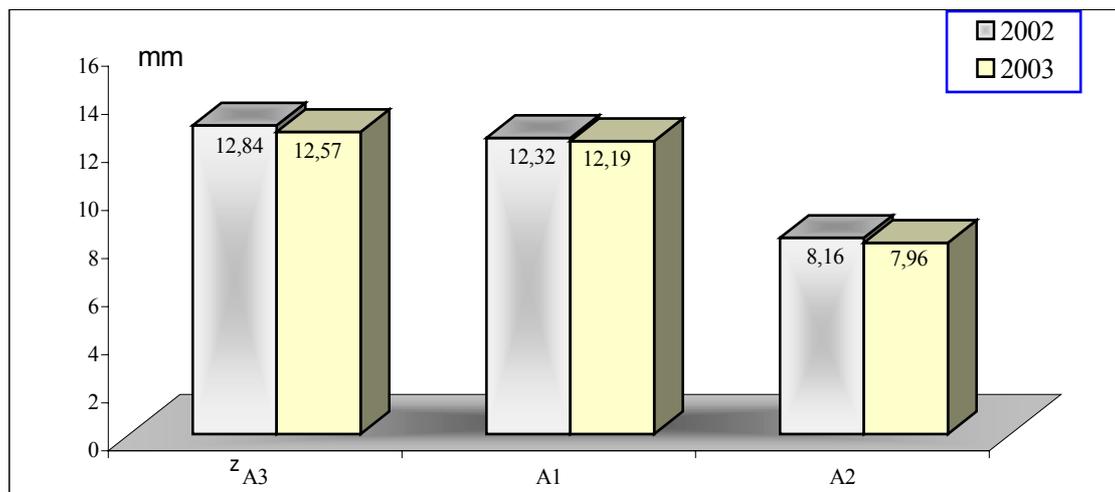


Fig 6.6. Valores medios de la longitud del pistilo y de los estambres superiores e inferiores en cada año de estudio. (*z* Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4).

Para determinar el posible efecto de la morfología floral en la autogamia se compararon los cuajados obtenidos en las ramas embolsadas con esta morfología. Se observa que los cuajados erráticos de todas las selecciones para cada año de estudio se produjeron independientemente de la morfología (Fig 6.7). Algunas selecciones con flores hipostigmáticas, morfología que teóricamente favorece la autogamia, presentaron cuajados inferiores al nivel considerado para la autocompatibilidad en el almendro (Grasselly et al., 1981).

Por otra parte, algunas selecciones, como I-3-10 y G-1-58, con flores hipostigmáticas, presentaron unos cuajados comercialmente aceptables, superiores al 25%, en los años 2003 y 2005 en el caso de I-3-10 y en el año 2005 en el caso de G-1-58. En cambio, la selección G-2-25, con flores epiestigmáticas, presentó un cuajado comercialmente aceptable en el año 2005, mientras que en los años anteriores los cuajados fueron inferiores al 6%. Así mismo se observó que algunas selecciones (G-1-1, G-1-64, G-2-

1, G-3-3, I-3-11 e I-3-67), con flores hipostigmáticas, mostraron cuajados superiores al 6% en algunos años (Cuadro 6.1).

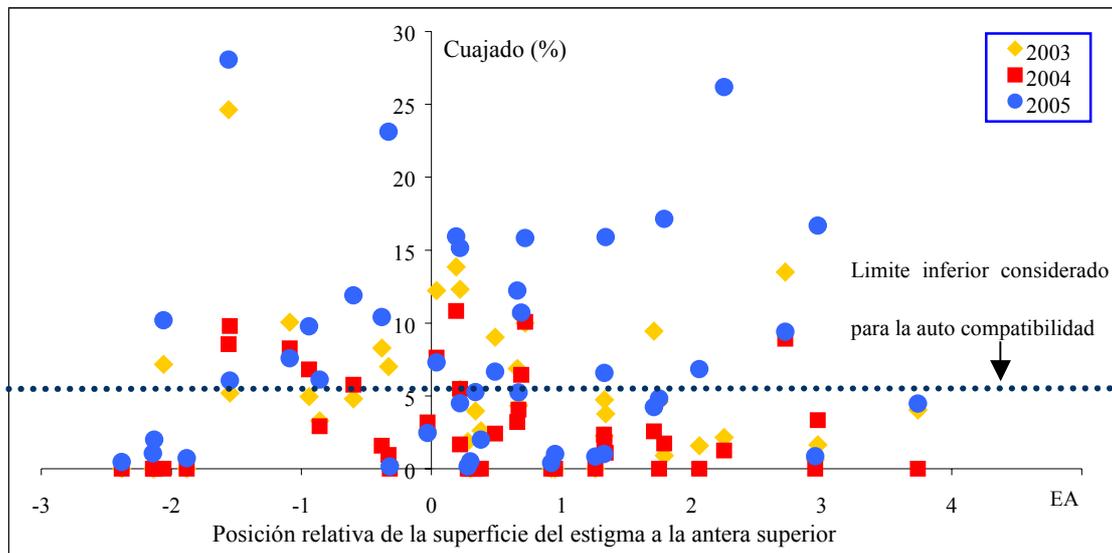


Fig 6.7. Cuajados obtenidos en cada año de estudio en relación con la posición relativa estigma/antenas superiores.

6.4 DISCUSIÓN

La evaluación de la autogamia se realiza generalmente por el aislamiento del árbol entero (Godini et al., 1992; Socias i Company et al., 2004) o por el embolsamiento de ramas (Grasselly et al., 1981; Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2004). Sin embargo, los resultados presentan una gran variabilidad genotípica interanual, coincidiendo con los resultados obtenidos en este trabajo.

Al considerar todas las selecciones estudiadas, se observó que los cuajados obtenidos en el año 2005 fueron los más altos, seguidos por los del 2003 y finalmente los del 2004. Ello se debe al efecto de las heladas registradas en el mes de marzo de estos años, que anulaban los cuajados en las ramas embolsadas de las selecciones de floración semi-tardía, al igual que en las ramas al aire libre. La separación de las selecciones en función de la época de floración confirmó la hipótesis del efecto de las heladas sobre el cuajado en estas ramas.

Por otra parte, la variación interanual del cuajado entre las selecciones de floración tardía, considerando los años 2003 y 2005, se debe tanto a factores externos como internos de la planta. Los factores externos (temperatura, intercepción de luz, manejo,..) son importantes para explicar las

diferencias observadas entre el cuajado de las ramas embolsadas y de las ramas al aire libre. Aunque se ha señalado un efecto directo del embolsamiento por el daño sufrido por las yemas al realizar la operación (Grasselly y Olivier, 1976), en este estudio el embolsamiento se efectuó en el estado fenológico C, lo que reduce considerablemente la probabilidad de dañar las yemas en este momento.

Otra consecuencia del embolsamiento es la creación de un microclima específico dentro de la bolsa, especialmente por el incremento de la temperatura (Larsen et al., 1960). En el almendro, al igual que en otras especies como el cerezo (Hedlhy et al., 2004), el albaricoquero (Martínez-Gómez et al., 2002), y el melocotonero (Monet y Bastard, 1971), las altas temperaturas durante el invierno, especialmente durante el proceso de la floración, afectan negativamente el cuajado (Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2005). En general, las temperaturas dentro de las bolsas, independientemente de su color, son más altas que al aire libre (López, 2004). Ello podría explicar los bajos cuajados obtenidos en las ramas embolsadas en comparación con los cuajados tras la polinización libre, especialmente en el caso de las selecciones de floración tardía.

La intercepción de luz en las ramas embolsadas es menor que al aire libre (Socias i Company et al., 2005), lo que podría tener un efecto negativo sobre la disponibilidad de carbohidratos para las yemas de flor, como se ha observado en otras especies (Iglesias et al., 2003). Por otra parte, es probable que la respuesta de estos genotipos a las condiciones micro-climáticas creadas por las bolsas haya sido distinta entre los genotipos. Ello podría explicar las diferencias de cuajado entre los años 2003 y 2005 para los genotipos de floración tardía, ya que estas selecciones escaparon de los daños por heladas.

La morfología floral y, especialmente, la posición relativa del estigma con las anteras, juega un papel importante en la determinación de la autogamia entre los factores intrínsecos de la planta. La definición de autogamia en las plantas superiores se refiere siempre al éxito de la autopolinización de las flores sólo por el contacto entre la superficie del estigma y el polen de las anteras de la misma flor, sin la intervención de agentes polinizadores (Socias i Company y Felipe, 1992; Miyajima, 2004). La posibilidad de autogamia se garantiza por: 1) la caída natural del polen sobre la superficie del estigma (Gandawidjaja y Arditti, 1982); 2) el contacto natural de las anteras con el estigma gracias a su proximidad espacial (Miyajima, 2001); y 3) por el movimiento del estigma (Klips y Snow, 1997).

En el almendro sólo se podrían dar las dos primeras posibilidades, ya que el pistilo es rígido y no puede moverse para entrar en contacto con las anteras. Al estudiar la posición relativa del estigma con

relación a las anteras superiores se pudieron identificar tres tipos de flores (epi-, meso- e hipoestigmáticas). Sin embargo, no se descubrió ninguna relación clara entre el cuajado y el tipo de flor, ya que los cuajados erráticos se observaron en todas las selecciones, independientemente de la morfología floral. Por ello, la posición del estigma por debajo de las anteras no siempre favorece la llegada natural del polen a su superficie. Ello coincide con otros resultados (Alonso, 2004; De Palma y Godini, 1994; Godini et al., 1992; López, 2004), aunque los elevados valores de cuajado de las selecciones I-3-10 y G-1-58 en nuestro estudio y en otras variedades del almendro (Bernad y Socias i Company, 1995; Grasselly et al., 1985; Socias i Company y Felipe, 1992; Vasilakakis y Porlingis, 1984; Weinbaum, 1985) reflejan la importancia de la posición del estigma con respecto a las anteras para el éxito de la autogamia en almendro.

Estas discrepancias llevan a pensar que el éxito de la autogamia puede variar de un genotipo a otro. Las variedades 'Guara' (Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2005) y 'Tuono' (Vasilakakis y Porlingis, 1984) presentan un cuajado elevado en ramas aisladas y se caracterizan por unas flores con el estigma a la misma altura que las anteras. Al parecer, el éxito de la autopolinización en 'Guara' está garantizado por el contacto y el roce de las anteras con la superficie del estigma, mientras que en otros casos, como 'Tuono' o las selecciones G-1-58 y G-2-25, la autopolinización se efectúa por la caída del polen sobre la superficie del estigma. En el caso de las selecciones con flores epiestigmáticas o hipoestigmáticas, la llegada del polen a la superficie del estigma podría ser el resultado de una gran cantidad de polen liberado por las anteras, favorecido por una elevada densidad floral o bien por la capacidad de los estigmas en atraer los granos de polen producidos por la misma flor.

Vaknin et al. (2001a) demostraron que la carga electrostática del polen aumenta considerablemente el cuajado en el almendro. En otro ensayo realizado con réplicas metálicas de flores de almendro, se demostró que existe una relación entre la morfología floral y la capacidad electrostática de las flores para atraer el polen con una carga eléctrica contraria (Vaknin et al., 2001b).

En cualquier caso, se puede considerar la morfología floral como un factor importante a tener en cuenta en el momento de evaluar la autogamia en el almendro. El roce de las anteras con la superficie del estigma, sobre todo en el caso de flores que presentan el estigma a la misma altura que las anteras, parece ser el modo más eficiente para garantizar una autopolinización natural en plantaciones monovariales sin la introducción de colmenas. Sin embargo, cabe señalar que la evaluación de la posición relativa estigma/anteras (morfología floral) y su relación con la autogamia no se realizó en

principio en el almendro con el fin de averiguar si la morfología floral influye sobre la biología floral (Godini et al., 1992), sino por averiguar si la flor estaba morfológicamente adaptada para su autopolinización como ocurre en las plantas autógamas (Miyajima, 2004).

La gran variabilidad genotípica y anual que presentan la longitud de los pistilos y la de los estambres superiores e inferiores indica que estos caracteres morfológicos dependen tanto del genotipo como de las condiciones ambientales del año. No obstante, la variación interanual de estos caracteres morfológicos no tuvo ninguna influencia sobre el tipo de flor, ya que los genotipos con flores epiestigmáticas o/y hipostigmáticas en el año 2002 siguieron manteniendo la misma característica en el 2003, como ya se había mencionado en otras variedades del almendro (De Palma y Godini, 1994; López, 2004).

6.5 CONCLUSIÓN

La creación de nuevo material autocompatible en el almendro, teniendo en cuenta sólo el carácter genético de la autocompatibilidad, parece ser insuficiente para permitir plantaciones monovarietales sin la instalación de colmenas de abejas para asegurar una cosecha comercial. Sin embargo, la disponibilidad de colmenas, su nivel de eficacia y el coste de su utilización recomiendan la búsqueda de alternativas que liberen el cultivo del almendro de la dependencia de los agentes polinizadores. Para ello son indispensables las variedades autógamas.

La técnica más utilizada para evaluar la autogamia sigue siendo el embolsamiento de ramas. A pesar de todos los inconvenientes de esta técnica, las selecciones que presentan unos cuajados aceptables en las condiciones de embolsamiento se consideran, con alta probabilidad, autógamas. En esta población destaca el buen cuajado obtenido en ramas embolsadas de las selecciones G-1-1, G-1-23, G-1-27, G-1-41, G-1-44, G-1-58, G-2-1, G-2-2, G-2-25, G-2-27, G-3-3, G-3-4, G-3-8, G-4-3, G-4-10, G-6-14, I-3-10 e I-3-11.

Uno de los indicios fiables del éxito de la autopolinización natural de estas selecciones es la morfología floral, especialmente la posición del estigma en relación con las anteras superiores, para garantizar no sólo la llegada del polen a la superficie del estigma sino el roce de las anteras con la superficie del estigma. No obstante, será de gran interés profundizar en futuros estudios sobre el papel de la morfología floral en el almendro para identificar los factores que podrían interesar al mejorador en el momento de evaluar la autogamia en los programas de mejora.

Capitulo 7. Estudio de la incidencia de las heladas y el grado de tolerancia a las bajas temperaturas

7. ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LAS HELADAS Y EL GRADO DE TOLERANCIA A LAS BAJAS TEMPERATURAS

7.1 INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, se entiende por estrés provocado por heladas al debido a la incidencia de temperaturas inferiores a 0°C (Sakai y Laracher, 1987). Sus daños provocan un desorden fisiológico de distinta magnitud en diferentes partes de la planta (Walker et al., 1990). Desde el punto de vista agronómico, se define a la helada como el descenso térmico capaz de causar algún daño, e incluso la muerte, a los tejidos vegetales independientemente de la aparición de hielo exterior.

Tanto las flores como los pequeños frutos de casi todos los frutales son susceptibles a las heladas (Andrews et al., 1983). Por ello, los daños causados por heladas son un factor limitante en la producción de cualquier especie y condicionan su distribución en las distintas zonas geográficas (Ashworth, 1992). Los aspectos anatómicos, fisiológicos y biológicos de estos daños son especialmente importantes en los frutales (Rodrigo, 2000) y en el género *Prunus* se detectan por el obscurecimiento del óvulo, la formación de hielo y el aspecto marrón de los pétalos y los pistilos.

Se tiene un conocimiento muy limitado sobre los umbrales mínimos de temperatura que producen daños irreversibles en las flores y en los frutitos debido a la ausencia de una metodología estandarizada en el registro de las temperaturas y a las diferencias en el estado fisiológico de la planta en el momento de la evaluación de este carácter, así como a las condiciones climáticas, de suelo, etc...

Grasselly y Crossa-Raynaud (1980) mencionaron los estudios llevados a cabo por Evreinoff (1952) en relación a la resistencia de las yemas de almendro a las bajas temperaturas, coincidiendo en considerar que las flores son sensibles a -3°C en estado de botón rosa, a -1,5 °C en el momento de floración y helándose los frutitos recién cuajados a -0,5 °C. Millela (1963), en condiciones artificiales, comprobó que los ovarios y la base de los estambres son las partes más sensibles a las heladas. Büyükyilmaz y Kester (1976) mencionaron que el grado de los daños causados por las heladas depende de la fase del desarrollo de la flor y de la edad de la planta. Snyder y Connell (1995) concluyeron que 'Nonpareil' y 'Sonora' son las más resistentes a las heladas en el estado de botón rosa en un conjunto de 9 variedades americanas.

En general, después de cubrir las necesidades en frío, el reposo invernal finaliza por la acción del calor. La tolerancia a las bajas temperaturas va disminuyendo progresivamente a medida que se desarrollan las yemas (Jablonskij y Markovich, 1970). Esta disminución se ha relacionado con el aumento del contenido en agua en el momento del desborre, como consecuencia del aumento de las temperaturas, lo que diluye los oligosacáridos (Monet y Bastard, 1977).

El proceso de adaptación de las plantas a las bajas temperaturas va acompañado de varios cambios bioquímicos, con alteraciones en las concentraciones de los metabolitos, incluyendo los azúcares (Hällgren y Oquist, 1990). Durante este período, la acumulación de los azúcares empieza cuando se hidroliza el almidón para la formación de carbohidratos (Sakai y Yoshida, 1968) y el contenido en almidón está negativamente relacionado con el contenido en carbohidratos solubles (Palonen, 1999; Wample y Bary, 1992; Imanishi et al., 1998). La acumulación de azúcares durante la aclimatación a las bajas temperaturas podría jugar varias funciones: 1) los azúcares disminuyen el punto de congelación y aumentan el potencial osmótico intracelular, lo que reduce la deshidratación durante la helada extracelular (Levitt, 1980); 2) estos componentes actúan como crioprotectores de las membranas celulares y de las proteínas durante la deshidratación (Santarius, 1982).

Desde el punto de vista genético, no se ha cuantificado la transmisión de la tolerancia a las heladas, pero se cree que esta bajo control poligénico y que se transmite de forma cuantitativa (Felipe, 1988), ya que las variedades del almendro no presentan todas la misma sensibilidad a las heladas y los daños dependen de cada variedad. Se han realizado escasos estudios sobre el efecto de las bajas temperaturas durante o después de la floración. La mayoría de estos estudios se han limitado a la descripción morfológica de los daños causados por las heladas en las yemas y las flores del almendro (Büyükyilmaz y Kester, 1976; Urbina et al., 1998) o a evaluar la magnitud de los daños causado por las heladas en función de las pérdidas en la producción (Felipe, 1988).

Aunque hace tiempo que se conoce que cualquier cambio en la emisión de fluorescencia por la clorofila en los órganos fotosintéticos es una indicación de cambios en su actividad fotosintética (McAlister y Meyers, 1940), recientemente se ha comprobado la validez de las medidas de fluorescencia de la clorofila para estimar, de forma rápida y no destructiva, la eficiencia operativa del quantum en el transporte de los electrones por el PSII (fotosistema II) en la hoja (Genty et al., 1989).

La eficiencia operativa del PSII se ha relacionado con la eficiencia de asimilación del CO₂ (Genty et al., 1989), por lo que esta técnica permite examinar la eficacia fotosintética en hojas en condiciones

controladas y en condiciones de campo (Baker y Rosenqvist, 2004). La relación entre la eficiencia operativa del PSII y la asimilación del CO₂ en la hoja permite detectar las diferencias en la respuesta de las plantas a las condiciones ambientales adversas y por consiguiente seleccionar para la tolerancia frente a estas condiciones (Baker, 1996). El metabolismo de las hojas se inhibe severamente como consecuencia de la destrucción o la desregulación del PSII por las heladas (Tijssens et al., 1994; Khanizadeh y DeEll, 2001), lo que resulta en un cambio en la emisión de fluorescencia por la clorofila. Por ello, la estimación de la fluorescencia por la clorofila en estas condiciones permite seleccionar para la tolerancia a las heladas (Smillie y Hetherington, 1990) o para establecer un orden de las especies en función de su tolerancia a las heladas (Greaves y Wilson, 1986).

Recientemente se ha avanzado en el uso práctico de las medidas de fluorescencia de la clorofila, que se ha mostrado eficaz para evaluar la tolerancia a las heladas en tomate (Walker *et al.*, 1990), pimienta verde, patata (Greaves y Wilson, 1987), fresa (Khanizadeh y DeEll, 2001) y plantas ornamentales (Hakam *et al.*, 2000). La reducción de la emisión de fluorescencia por la clorofila fue significativa en hojas y/o en flores después de estar expuestas a bajas temperaturas (Karukstis, 1991). En general, las plantas susceptibles y tolerantes exhiben el mismo patrón de reducción de emisión de fluorescencia de la clorofila, pero en las plantas sensibles la reducción tiene lugar a un ritmo más acelerado (Bernnan y Jefferies, 1990; Hakam et al., 2000; Jiang et al., 1999).

En la mayoría de los países mediterráneos, los riesgos de heladas tardías son el factor principal de las irregularidades en la producción del almendro (Felipe, 1968; Socias i Company et al., 1999), por lo que la mejora ha perseguido la obtención de variedades de floración tardía (Kester y Assay, 1975). Sin embargo, esta solución no es suficiente para superar éstos, ya que la época de floración de las variedades de floración más tardía no permite todavía escapar totalmente del riesgo de las heladas que ocurren con mucha frecuencia en las zonas de interior, donde las plantaciones del almendro se expanden actualmente. La tolerancia intrínseca a las heladas debe considerarse también un objetivo de selección en un programa de mejora (Socias i Company et al, 1998).

El objetivo de este capítulo fue la evaluación de la tolerancia de algunos genotipos del almendro a las heladas y a las bajas temperaturas mediante las observaciones de los daños causados por las heladas en el campo y por las bajas temperaturas en condiciones controladas en el laboratorio. También se determinó la posible correlación entre algunos componentes bioquímicos de la yema y la tolerancia a las bajas temperaturas y se evaluó la posibilidad de utilizar la fluorescencia de la clorofila como técnica rápida para determinar la tolerancia de las flores del almendro a las heladas.

7.2 MATERIAL Y MÉTODOS

7.2.1 MATERIAL VEGETAL

Se estudiaron un total de 47 genotipos, incluyendo los parentales y la mayoría de las selecciones, así como algunas variedades comerciales, citadas en la bibliografía como tolerantes a las heladas, como 'Masbovera', 'Mission', 'Nonpareil', 'Peerless' y 'Tuono'. Sin embargo, no todos los genotipos se pudieron someter a todos los ensayos.

7.2.2 METODOLOGÍA

7.2.2.1 EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL CAMPO DURANTE LOS AÑOS 2003 Y 2004

El estudio se llevó a cabo durante el invierno-primavera de dos años consecutivos, 2003 y 2004, en 34 selecciones. La situación de la parcela experimental (Fig 2.1), en relación a las heladas de primavera, se considera de alto riesgo a causa de la incidencia frecuente de heladas (Felipe, 1988). Los datos térmicos se obtuvieron de la estación meteorológica del CITA, situada en una parcela cercana y dotada de un sistema automático de toma de datos. Las temperaturas negativas durante los dos años de estudio dañaron las flores y los pequeños frutos en los estados fenológicos D y F (Felipe, 1977) según las selecciones, y lo mismo ocurrió en una gran parte de las plantaciones comerciales de las zonas interiores de cultivo del almendro de España, especialmente en 2004.

Para evaluar los daños causados por las heladas, se recogieron muestras de flores y frutos dos días después de la helada en diferentes ramas homogéneas de todos los árboles, previamente marcadas en todas las orientaciones. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico de polietileno y se llevaron al laboratorio para su examen. Éste se basó en las características morfológicas de las muestras, como el marchitamiento del pistilo, el pardeamiento de la base del estilo en las flores y el obscurecimiento del óvulo en los frutitos (Fig 7.1). Posteriormente, en junio, se evaluó el efecto de estas heladas sobre el cuajado.

7.2.2.2 EVALUACIÓN EN CONDICIONES DE LABORATORIO EN EL AÑO 2005

7.2.2.2.1 Daños causados por bajas temperaturas

Con el objetivo de evaluar el efecto de las heladas en condiciones controladas, en el invierno-primavera de 2005 se recogieron 20 a 30 flores en el estado fenológico E (Felipe, 1977) a primera hora

de la mañana, se colocaron en bolsas de plástico de polietileno humidificadas y se llevaron al laboratorio. Inmediatamente se colocaron en una incubadora frigorífica (Cooled Incubator, Binder ATP.Line KB, Tuttlingen, Alemania). Se eligieron como temperaturas de ensayo entre -1°C y -2,5°C durante 1 hora, según las referencias de estudios sobre el efecto de las heladas según cada estado fenológico (Grasselly, 1982, Proebsting y Mills, 1978b). La temperatura inicial en la incubadora fue +4°C y disminuyó a un ritmo de 2°C por hora (período de aclimatación) hasta la temperatura deseada. Después del período de incubación se subió a un ritmo de 2°C por hora hasta 5°C. Las muestras se guardaron después en un frigorífico a 4°C durante 24 horas para su observación y la estimación de los daños en los pistilos.

En relación a la magnitud de los daños observados en los dos tratamientos, especialmente a -2,5°C, se estableció una clasificación subjetiva de la tolerancia a las heladas de las selecciones estudiadas:

- Muy susceptible: los daños superan el 50% de las yemas de flor observadas.
- Susceptible: daños entre el 31% y 50%.
- Tolerantes a susceptibles: daños entre el 25% y 30%
- Tolerante: daños inferiores al 24%.

7.2.2.2 Determinación de carbohidratos, humedad y nitrógeno en las yemas

Con el objetivo de averiguar la posible correlación entre la humedad, los carbohidratos y el contenido en nitrógeno y los daños cuantificados en las yemas de flor en condiciones de laboratorio, se recogieron muestras de 50 yemas de flor en el estado fenológico E (Fig 7.2) que se colocaron en bolsas de plástico. Acto seguido se separaron 30 yemas de flor (3 repeticiones por genotipo) para la determinación del porcentaje de humedad, mientras que el resto se congeló a una temperatura de -20°C para su análisis posterior.

HUMEDAD

Se determinó el peso fresco mediante una balanza electrónica de precisión y luego se dejaron secar a 55°C en una estufa a reflujo durante 24 horas, cuando se determinó el peso seco. El porcentaje de humedad de las yemas de flor se calculó:

$$H (\%) = (\text{Peso fresco} - \text{peso seco}) \times 100 / \text{peso fresco.}$$

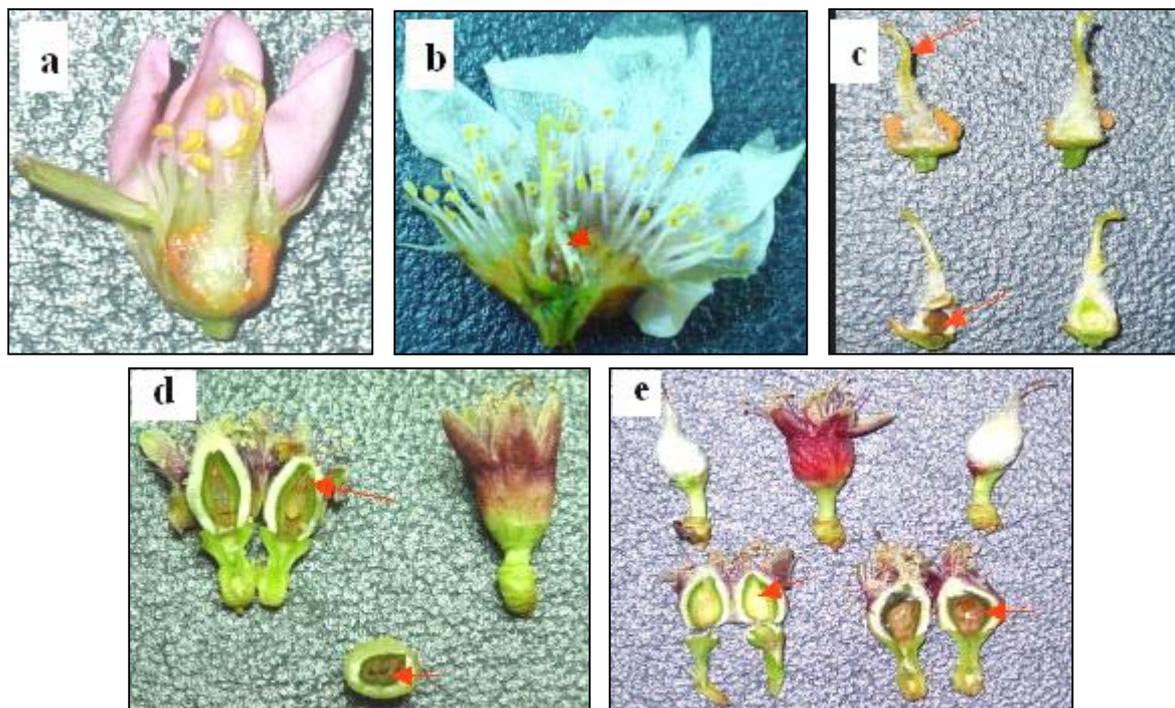


Fig 7.1. Daños causados por las heladas en el año 2004.

- A. Flor no dañada por heladas.
- B. Flor dañada por la helada con óvulos oscurecidos.
- C. Pistilos de flor en el estado fenológico F: a la izquierda pistilos dañados y la derecha pistilos no dañados.
- D. Frutitos en el estado fenológico H con oscurecimiento de los óvulos a causa de los daños por helada.
- E. Frutitos en el estado fenológico H: a la izquierda frutitos sanos y a la derecha dañados.



Fig 7.2. Yemas de flor en el estado fenológico E, utilizadas en los ensayos de laboratorio (a- 'Masbovera' y b- 'Felisia').

CARBOHIDRATOS

Los metabolitos de las yemas de flor congeladas se extrajeron con una mezcla etanol/agua durante 20 minutos a 80°C. Se realizaron tres pasos (uno con 3 ml etanol 80% y dos con 1 ml etanol 50%) seguidos por una centrifugación durante 10 minutos a 4800 rpm y se recogieron los sobrenadantes. Una vez recuperado el sobrenadante se guardó en nevera a 4 °C para la posterior cuantificación de los carbohidratos.

Los azúcares se purificaron por medio de resinas de intercambio iónico (Bio-Rad AG 1-X4 Resin 200-400 chloride form, Bio-Rad AG 50W-X8 Resin 200-400 mesh hydrogen form) (Moing y Gaudillère, 1992). Las muestras se concentraron a 1 ml y se analizaron por HPLC, utilizando una columna de Ca (Aminex HPX-87C 300 mm × 7,8 mm columna Bio-Rad), con un flujo de 0,6 ml·min⁻¹ de agua desionizada a 85°C y con un detector de índice de refracción (Waters 2410). Se inyectaron 20 µl de muestra. Se analizaron las concentraciones de sacarosa, fructosa, glucosa, xilosa y sorbitol. Como estándar interno se incluyó manitol. La cuantificación de los azúcares se llevó a cabo con el software Millennium 3.2 de Waters (Milford, Mass.). Se identificaron los picos de HPLC y se calcularon sus áreas utilizando estándares externos de concentración conocida (Panreac Química S.A.).

NITRÓGENO TOTAL

El contenido en N total se determinó aplicando el método de Dumas. Para ello se pesaron 0,20-0,25g ± 0.0001 de muestra en una cápsula metálica que se introdujo en el cuerpo de un aparato de análisis del tipo LECO FP-528 Protein/Nitrogen Analyser. La lectura de los resultados se realizó en el software CPU-CAR-02 para Windows, instalado en un ordenador conectado al aparato de análisis.

7.2.2.2.3 Evaluación mediante fluorescencia de la clorofila (FC)

Preparación de las muestras

Se aplicó, con algunas adaptaciones, el procedimiento descrito por Khanizadeh y DeElI (2001). Se marcaron varios ramos homogéneos y aproximadamente a la misma altura del suelo para disminuir el efecto del estado nutritivo de las muestras sobre la fluorescencia de la clorofila (Baker y Rosenqvist, 2004). Para evitar el efecto de la edad de la muestra sobre la FC, se cogieron al azar, independientemente de la fecha de floración de cada genotipo, muestras de 20 yemas de flor en estado fenológico E, se colocaron en bolsas de plástico de polietileno humidificadas y se llevaron al

laboratorio. Las muestras se colocaron inmediatamente en la incubadora a una temperatura inicial de +4°C, programada para efectuar una disminución de temperaturas de 1°C por hora. Las yemas se sometieron a 4 tratamientos: 0°C, -1°C, -2°C y finalmente -3°C durante 24 horas para cada tratamiento.

Otra muestra de flores se colocó en bandejas a una temperatura de 22°C±1°C, temperatura considerada óptima para un buen crecimiento de los tubos polínicos (Socias i Company et al., 1976). Después de 24 horas, se sacaron las muestras de las incubadoras, se descartaron las flores estériles, se eliminaron cuidadosamente los pétalos y una parte de los sépalos de las flores fértiles y se dejaron en oscuridad a temperatura ambiente durante 1 hora antes de empezar las medidas.

Medida de la fluorescencia de la clorofila

Las medidas de la fluorescencia se hicieron bajo luz verde de 40W con una iluminación que permite visibilidad para el manejo de las muestras y del aparato en una cámara oscura para evitar la pre-irradiación por la luz visible (Smillie y Hetherington, 1990). Las medidas se realizaron mediante un fluorímetro PAM 200 (Heinz Walz, Effeltrich, Germany), utilizando la prueba Fv/Fm (método 1 del fluorímetro) (Lindgren y Hällgren, 1993). La intensidad del modulador se fijó a 80 y el detector a 40, con una intensidad de saturación de 190 (35W-halogen lamp) durante 0,8 seg. Se midió la FC después de alcanzar el nivel de fluorescencia inicial (F_o). El nivel de fluorescencia alcanzó su nivel máximo (F_m) después de 0,8 seg. Una vez determinados estos parámetros, se calculó la fluorescencia variable en oscuridad (Fv) aplicando la fórmula: $Fv = Fm - Fo$. De estas variables se determinó el ratio Fv/Fm que mide la eficiencia de la actividad fotosintética PSII. Las determinaciones se hicieron en la zona ovárica de la flor, que se mantuvo hidratada durante todo el proceso de análisis. Los parámetros de fluorescencia Fv se determinaron colocando el sensor del fluorímetro en la zona ovárica y se irradió con luz roja con una intensidad del flujo de fotón del orden de 20 mmol m⁻² s⁻¹.

7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.3.1 DAÑOS CAUSADOS POR LAS HELADAS EN EL CAMPO

Se registró una helada durante 5 horas, con una temperatura mínima de -2,5°C, en la madrugada el 18 de marzo de 2003 (Fig 7.3) y durante 4 horas, con una temperatura mínima de -2,6°C, el 26 de marzo de 2004 (Fig 7.4). Las selecciones se encontraban en estos días en distintos estados fenológicos y se pueden separar en dos grupos (Fig 7.3 y 7.4). El primer grupo comprendió 13 selecciones cuya floración ya había terminado, así que la helada afectó a los frutos en desarrollo. El segundo grupo comprendió 21 selecciones que en el día de la helada abrían las primeras flores, por lo

que la helada sólo afectó a yemas y a flores recién abiertas. El comportamiento de ambos grupos fue diferente por lo que se deben examinar por separado.

Selecciones de floración media: El comportamiento de las selecciones fue diferente entre los dos años de estudio, básicamente por el diferente estado fenológico en el que se encontraban las yemas y los frutos en el momento de producirse la helada. Por ello, en el año 2004 la media de daños de todas estas selecciones (98,50%) fue significativamente mayor que la del año 2003 (56,41%). En este primer año la helada se produjo entre 7 (G-1-38) y 16 (H-3-37 y H-3-39) días después de la plena floración (Fig 7.3), mientras que en 2004 la helada tuvo lugar entre 10 (G-2-23) y 38 (H-3-37 y H-3-39) días después de la plena floración (Fig 7.4). En cuanto al comportamiento de las selecciones, el análisis de varianza mostró que existen diferencias altamente significativas entre los genotipos estudiados, así como entre los dos años de estudio (Cuadro 7.1).

Cuadro 7.1. Análisis de varianza de las flores heladas en las selecciones de época de floración media.

Fuente	GL	flores heladas	Cuajado
Selección	12	424,47 ***	348,59 **
Año	1	22974,01 **	3300,41 **
Selección × año	12	323,31 **	306,71 **
Residual	26	4,13	12,51

, *: Significativo a P <0,001 y 0,0001.

Selecciones de floración tardía: En el año 2003 la helada sólo produjo daños en 10 de las 21 selecciones de este grupo, las que ya habían iniciado su floración (Fig 7.3). Los daños en flores oscilaron entre el 2% (G-2-2) y el 47% (G-3-5), en general inferiores a los daños observados en los frutos de las selecciones del grupo anterior. Sin embargo, en el año 2004 todas las selecciones de este grupo sufrieron los daños de la helada, con la excepción de la selección G-2-25. Los daños en flores oscilaron entre el 3% (I-3-27) y el 53% (G-3-3). El análisis de varianza mostró que existen diferencias altamente significativas entre los genotipos estudiados, así como entre los dos años de estudio (Cuadro 7.2).

Cuadro 7.2. Análisis de varianza del cuajado obtenido en las selecciones de floración tardía.

Fuente	GL	Flores dañadas	Cuajado
Selección	20	461,38 ***	315,29 ***
Año	1	2170,58 ***	931,26 ***
Selección × año	20	340,95 ***	66,68 *
Residual	126	1,51	45,91

*, ***: Significativo a P < 0,05 y 0,0001.

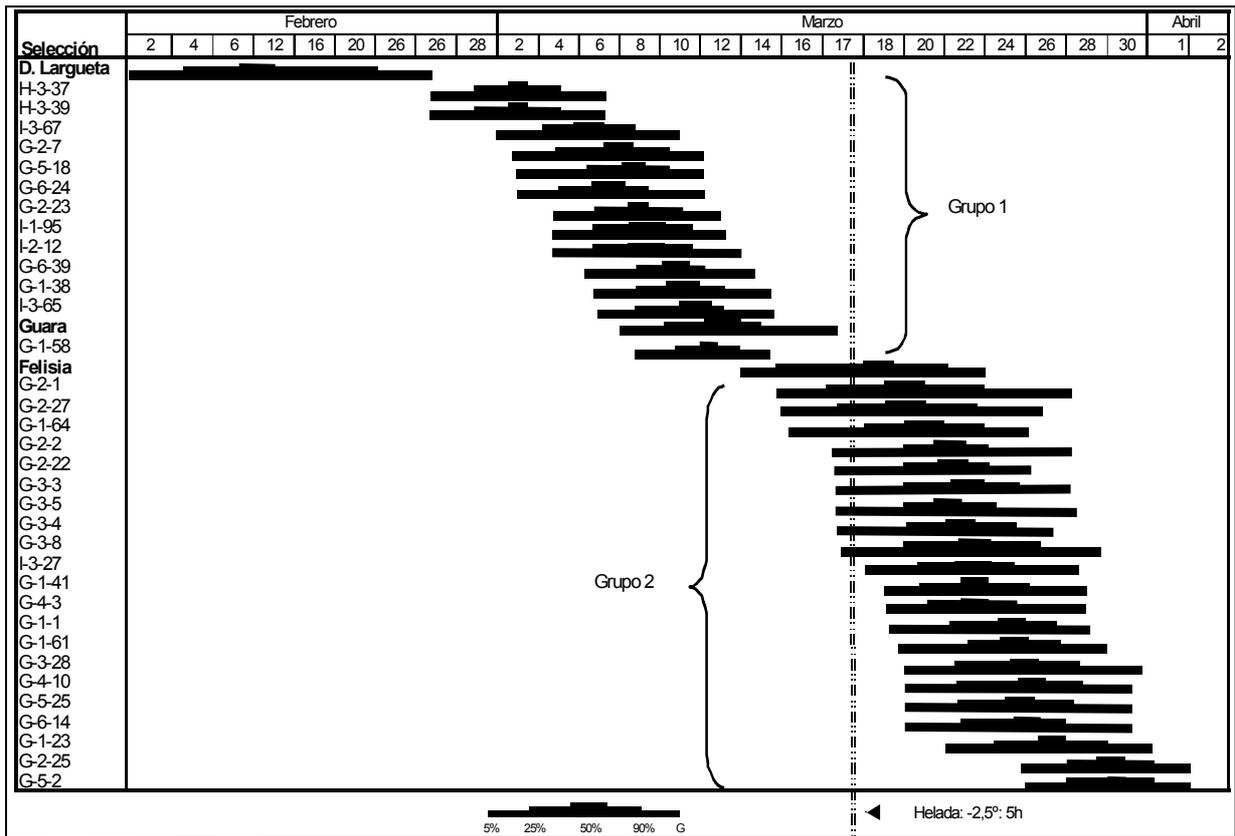


Fig 7.4. Época de floración de las selecciones estudiadas del año 2003.

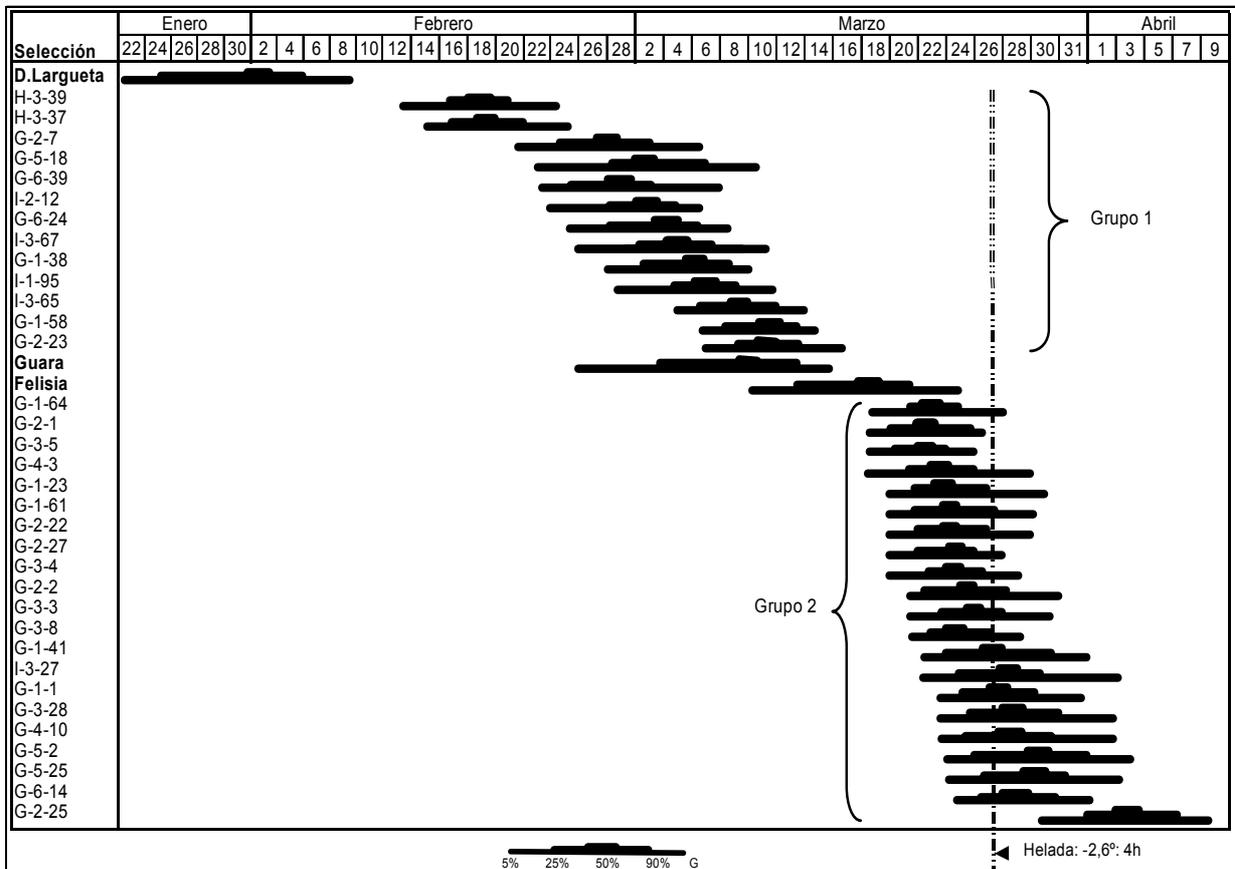


Fig 7.5. Época de floración de las selecciones estudiadas del año 2004.

Las diferencias significativas entre los genotipos de los dos grupos de floración en cuanto a los daños producidos por las heladas reflejan que la respuesta a las mismas depende del genotipo, independientemente de la fecha de floración, como ya se ha descrito anteriormente (Büyükyilmaz y Kester, 1976; Felipe, 1988), por lo que estas diferencias, observadas en selecciones que se encontraban en el mismo estado fenológico, se deben probablemente a una tolerancia diferencial de las mismas. Los daños por heladas sobre los órganos reproductivos no sólo dependen de la variedad (Felipe, 1988; Proebsting y Mills, 1978a), sino también de la intensidad y duración de la baja temperatura (Mazur, 1969). Efectivamente, se han observado diferencias en las pérdidas de cosecha entre diferentes cultivares de almendro con temperaturas críticas diferentes (Felipe, 1988). Además, las temperaturas críticas no sólo varían según el estado fenológico, sino también según el cultivar (Proebsting y Mills, 1978a). Ello puede explicar que la selección G-1-58, que sufrió un daño ligero con una helada de $-2,5^{\circ}\text{C}$ en 2003 sufrió gravemente con una helada de $-2,6^{\circ}\text{C}$ en 2004.

El daño en flores de las selecciones del grupo de floración tardía fue menor que el daño en frutos de las selecciones del grupo de floración media, lo que confirma que el daño por heladas está relacionado con el estado de desarrollo de la yema (Simons y Doll, 1976).

Las selecciones del grupo de floración tardía se encontraban en los estados precoces de floración, C, D y muy poco E cuando ocurrió la helada, mientras que las de floración media presentaban ya pequeños frutos en desarrollo, considerado el estado más vulnerable a las heladas (Proebsting y Mills, 1978b) mientras que las yemas cerradas son más resistentes que las flores abiertas y los pequeños frutos (Andrews et al., 1983). La pérdida de la tolerancia a heladas a lo largo del tiempo es un fenómeno complejo del que muchos aspectos permanecen oscuros (Thomashow, 1999). Sin embargo, cuando al final del invierno las yemas empiezan a hincharse al acercarse a la floración, la capacidad de sobreenfriamiento se pierde progresivamente (Andrews et al., 1983) y con ello la tolerancia al frío (Ashworth y Wisniewsky, 1991; Sedgley, 1990). Ello explicaría las diferencias en la magnitud del daño por heladas entre los dos grupos de floración.

La variación interanual en la respuesta de los dos grupos de selecciones a las heladas indica que existen otros factores que condicionan la tolerancia de los órganos de fructificación del almendro a las heladas de primavera. En otras especies se ha comprobado que el estado nutricional de la planta y las condiciones ambientales modifican la tolerancia a las bajas temperaturas (Flinn y Ashworth, 1995). En relación con ello, se debe tener en cuenta que las condiciones climáticas durante el verano de 2003 fueron extremas en comparación con las del verano de 2002. Ello pudo afectar negativamente a la

acumulación de nutrientes, sobre todo de los componentes crioprotectores, como los carbohidratos solubles (Levitt, 1980), ya que en el almendro el proceso de iniciación y diferenciación de las yemas de flor del año siguiente tiene lugar durante el verano (Lamp et al., 2001). La elevada significación de la interacción genotipo × año en los dos casos de análisis (Cuadros 7.1 y 7.2) se debe probablemente no sólo a la variación de la magnitud de las diferencias entre los genotipos estudiados sino también al cambio en el nivel de respuesta de los genotipos a las heladas.

Por otro lado se evaluó el efecto de estas heladas sobre el cuajado final observado en el campo durante estos dos años y se observó que en el grupo de los genotipos de floración media el cuajado medio del año 2003 fue de 11,8%, mientras que el del año 2004 fue sólo del 0,54%. Al analizar los resultados de los cuajados de cada año por separado se vio que en la primavera de 2003 el daño por la helada en los frutitos osciló entre el 20% (G-6-39) y el 77% (H-3-39), lo que produjo una importante reducción del cuajado, que fue prácticamente nulo en algunas selecciones (G-1-38 y H-3-37) y claramente insuficiente desde el punto de vista económico en otras (G-2-23, G-2-7, G-5-18, G-6-24 y H-3-39) (Fig 7.5). Algunas selecciones mostraron un cuajado intermedio, aunque no aceptable económicamente (G-6-39, I-1-95 e I-2-12), y sólo la selección G-1-58 mostró un cuajado normal (33,5%), equiparable a un nivel comercial (Kester y Griggs, 1959). Ello explica la elevada correlación negativa (-0,65) entre el porcentaje de frutos dañados y el cuajado (Cuadro 7.3).

En la primavera del año 2004 el daño de la helada en los frutitos fue superior al 95% y produjo la anulación del cuajado en todas las selecciones de este grupo (Fig 7.6). Destacó el comportamiento de las selecciones G-1-58 y G-6-39, en las que se habían obtenido cuajados comercialmente aceptables en el año 2003 y nulo en el 2004, mientras que en el resto de las selecciones el cuajado fue insuficiente o nulo en los dos años de estudio.

Cuadro 7.3. Correlaciones entre los caracteres estudiados en los años 2003 (línea superior) y 2004 (línea inferior).

Variable	Densidad floral		Cuajado
Cuajado	0,54	*0,50	-
	0,38	0,42	
Flores no dañadas	0,44		-
	0,52		
Flores dañadas	-		-0,40
			-0,32
Daño en frutos	-		-0,72*
			-0,78*

* Correlación para el grupo de floración tardía.

Estas selecciones presentan una densidad floral de media a elevada, por lo que una cantidad elevada de flores puede compensar los daños por helada y la reducción del cuajado. En el año 2003 se encontró una correlación positiva significativa entre el porcentaje de flores no dañados y la densidad floral (0,44), mostrando que la posibilidad de supervivencia de flores es mayor cuando un genotipo presenta una elevada densidad floral. Además la correlación entre la densidad floral y el cuajado fue significativamente positiva (Cuadro 7.3), por lo que el elevado potencial de una selección para producir flores puede compensar los daños por heladas y, junto con una buena resistencia intrínseca a las mismas, puede mantener el cuajado en niveles comercialmente aceptables como en el caso de G-1-58. Aunque con cuajados muy inferiores, las mismas correlaciones se observaron en 2004 (Cuadro 7.4).

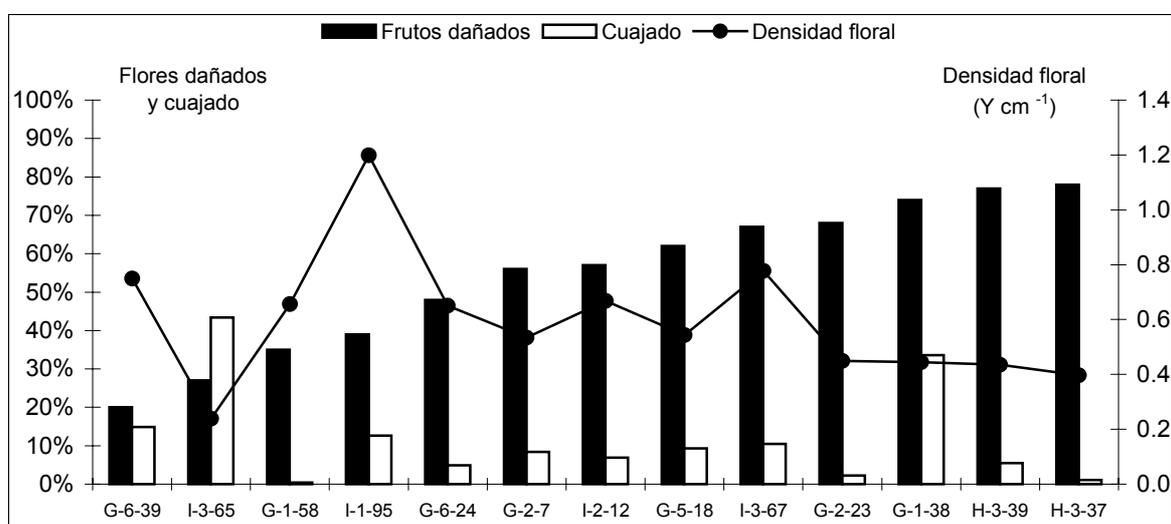


Fig 7.5. Porcentaje de frutos dañados, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración media en 2003.

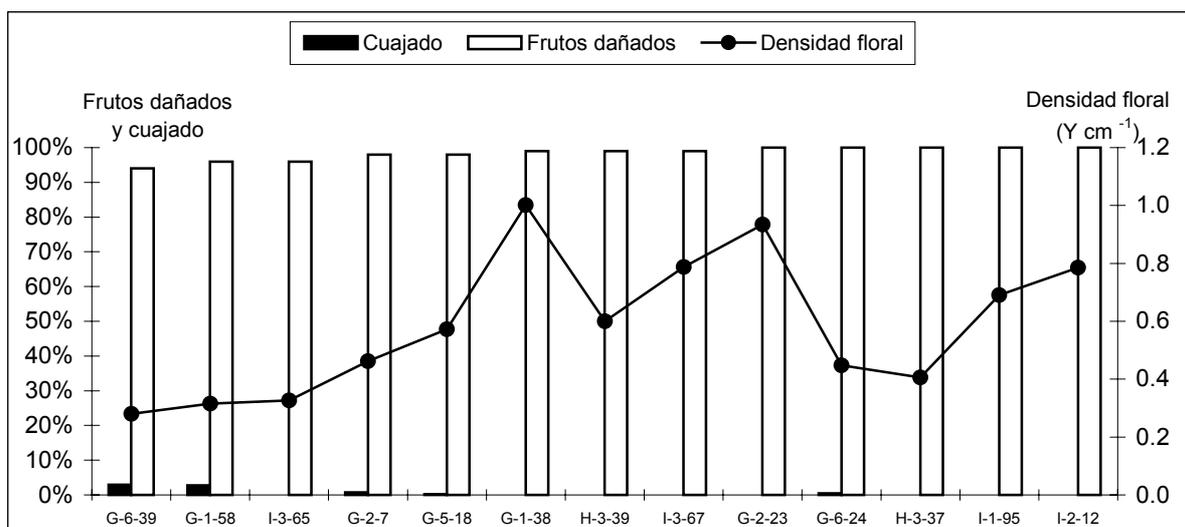


Fig 7.6. Porcentaje de frutos dañados, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración media en 2004.

Mientras que en las selecciones de floración tardía se observó que en el año 2003 la helada sólo produjo daños en 10 de las 21 selecciones de este grupo, que ya habían iniciado su floración (Fig 7.7). Los daños de yemas y flores oscilaron entre el 2% (G-2-2) y el 47% (G-3-5), en general, inferiores a los daños observados en los frutos de las selecciones del grupo anterior. Sin embargo, en el año 2004 todas las selecciones de este grupo sufrieron los daños de la helada, con la excepción de la selección G-2-25. Los daños de yemas y flores oscilaron entre el 3% (I-3-27) y el 53% (G-3-3). El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas entre los genotipos estudiados y los años de estudio para el cuajado (Cuadro 7.6). Los cuajados oscilaron en el año 2003 entre el 11,69% (G-1-64) y el 34,77% (G-6-14), mientras que en el 2004 entre el 7,14% (G-3-28) y el 30,49% (G-3-3). El cuajado medio de todas las selecciones en el 2003 (23,24%,) fue superior al del 2004 (18,52%).

En general el cuajado disminuyó al aumentar la proporción de flores dañadas (Fig 7.7 y 7.8), lo que explica la correlación negativa significativa entre el cuajado y el porcentaje de flores dañadas (Cuadro 7.3). Por otro lado, a pesar del elevado porcentaje de flores dañadas, la selección G-3-5 mostró un cuajado medio (Fig 7.8). Ello puede deberse a la elevada densidad floral de esta selección, que pudo compensar la pérdida de flores y pudo mantener un cuajado medio. Las diferencias significativas entre los cuajados de los dos años reflejan la gran influencia de las condiciones ambientales del año sobre el cuajado (Socias i Company et al., 2004).

La incidencia de las heladas de la primavera de 2004 fue especialmente negativa en casi todas las zonas de cultivo del almendro a pesar de la implantación de cultivares de floración tardía, alcanzando una cosecha de sólo el 20% de una cosecha media (Confederación de Cooperativas Agrarias de España, datos no publicados). Por otra parte, se observó que las selecciones que poseen una elevada densidad floral mostraron cuajados de medios a aceptables. La presencia de una elevada densidad floral permite aumentar las posibilidades de supervivencia de algunas yemas de flor después de una helada, asegurando así una cosecha aceptable en tales condiciones. Sin embargo, no está bien establecida la relación existente entre la densidad floral y el nivel de cuajado de los cultivares del almendro (Socias i Company et al., 2004). Los cultivares californianos, especialmente 'Nonpareil', presentan valores de densidad floral inferiores en comparación con cultivares tradicionales españoles como 'Marcona' o con nuevas obtenciones del CITA como 'Guara' (Socias i Company, 1988), aunque el cuajado que se obtiene en ambos casos se considera aceptable (Socias i Company et al., 2004).

Estas discrepancias probablemente son debidas al hecho de que en California los riesgos de heladas son menores y por ello se han adaptado cultivares con una densidad floral baja o media,

posiblemente para paliar los problemas relacionados con la calidad de flor (Socias i Company y Felipe, 1994), mientras que en el caso de los programas de mejora en España, especialmente el del CITA de Zaragoza, se haya optado por una elevada densidad floral para asegurar una cosecha regular a lo largo de los años debido a la frecuencia de las heladas de primavera.

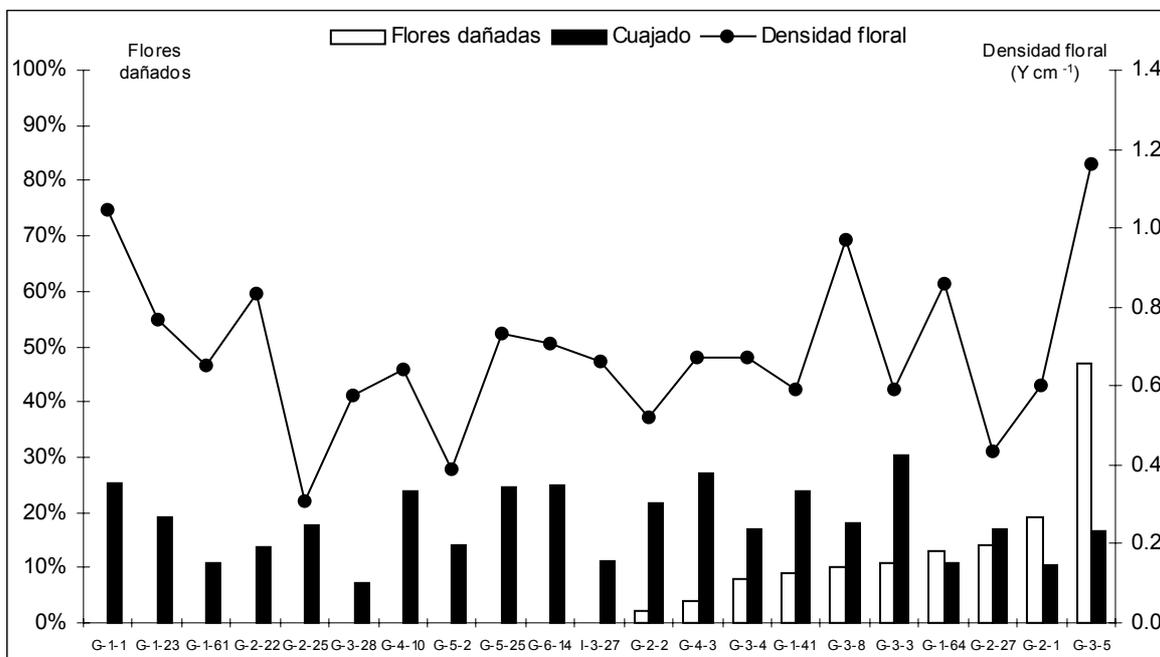


Fig 7.7. Porcentaje de flores dañadas, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración tardía en 2003.

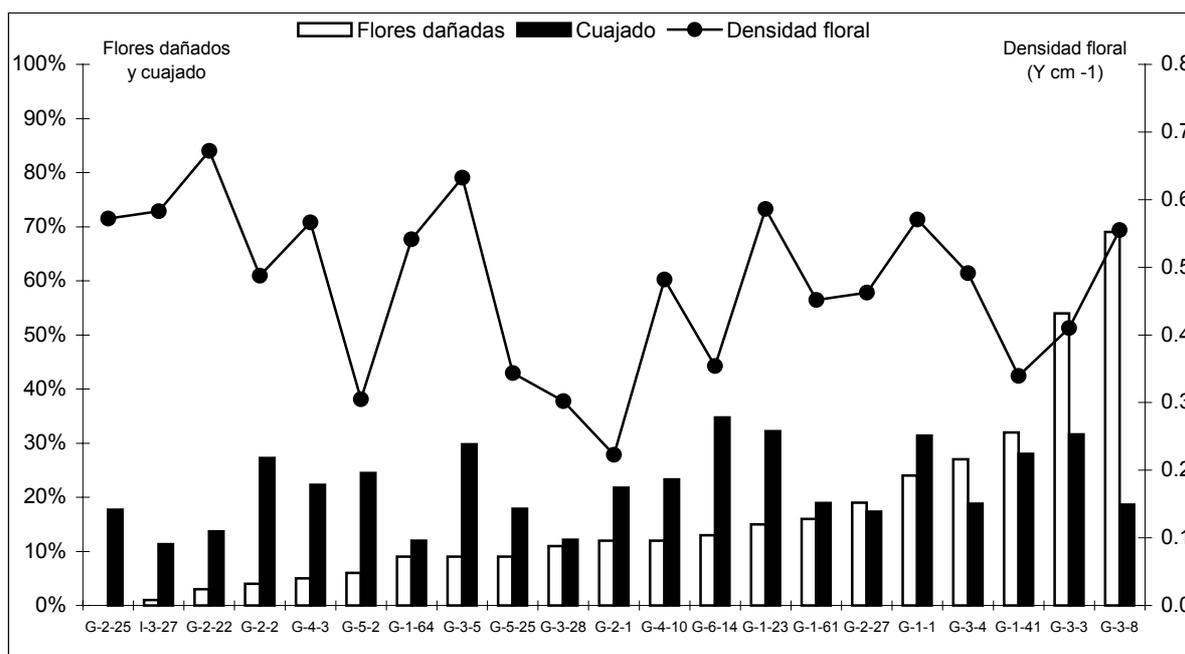


Figura 7.8. Porcentaje de flores dañadas, densidad floral y cuajado de las selecciones del grupo de floración tardía en 2004.

7.3.2 EVALUACIÓN EN CONDICIONES DE LABORATORIO EN EL AÑO 2005

7.3.2.1 Daños causados por las heladas en condiciones controladas

Los resultados de este ensayo se presentan en el Cuadro 7.4. Los análisis estadísticos han mostrado diferencias significativas entre los genotipos para cada temperatura en cuanto a la magnitud de los daños observados en los pistilos. Los daños después del primer tratamiento (-1°C) no superaron el 50% de yemas de flor, oscilando entre 1% y 48%. Después del segundo tratamiento (-2,5°C) los daños superaron el 50% de las flores examinadas en 13 genotipos, oscilando entre 19% y 78%. En general, la variabilidad de los daños observados en condiciones de laboratorio confirma la observada anteriormente en condiciones de campo en el caso de algunas selecciones de floración tardía. Las yemas examinadas se encontraban en el mismo estado fenológico, por lo que las diferencias entre genotipos son independientes de este factor, que es determinante en la evaluación de la tolerancia a las heladas (Simons y Doll, 1976), como ya se había mencionado anteriormente en el almendro (Büyükyilmaz y Kester, 1976; Felipe, 1988).

La evaluación subjetiva de la magnitud de los daños, especialmente después del segundo tratamiento, ha permitido establecer una clasificación de los genotipos en función de su tolerancia a las heladas. Sin embargo, la mayoría de genotipos han cambiado el rango de clasificación de un tratamiento a otro en función de los daños (Cuadro 7.4), lo que confirma que la tolerancia de las yemas de flor también depende de la intensidad de la helada (Mazur, 1969). En cualquier caso, 13 genotipos son muy susceptibles a una temperatura de -2,5°C, incluyendo las variedades 'Tuono', 'Peerless' y 'Felisia', mientras que las selecciones G-4-3, G-4-10, G-6-14 y H-1-81 y las variedades 'Bertina' y 'Masbovera' son los genotipos que se mostraron más tolerantes.

Los daños observados en las selecciones G-1-27, G-2-2, G-2-22, G-2-25 y G-5-2 sugieren que presentan una cierta sensibilidad a las heladas, sobre todo en el caso de las selecciones G-1-27 y G-2-25. Estas selecciones son de floración muy tardía, lo que les permite escapar de los períodos con alto riesgo de heladas (Fig 7.3 y 7.4) y explica la poca incidencia de las heladas en las flores y los cuajados de dichas selecciones en condiciones de campo durante los años 2003 y 2004. Por otra parte, tanto algunos genotipos de floración media (G-1-38, I-3-67, I-1-95, 'Desmayo Largueta', etc...) como de floración tardía (G-1-23, G-3-3, G-3-8, G-3-4, 'Peerless', 'Felisia', 'Ferragnès', etc...) presentaron unos elevados daños en yemas de flor, lo que confirma que el grado de tolerancia a las heladas es independiente de la fecha de floración.

Cuadro 7.4. Porcentaje de daños observados en pistilos después de los tratamientos en condiciones controladas y clasificación de los genotipos en relación a las heladas.

Selección	T1 (-1°)	T2 (-2,5°)	Tolerancia a la helada
I-3-67	25ed	78,5a	Muy susceptible
G-1-38	33,5b	54,5f	Muy susceptible
G-3-24	30bc	77a	Muy susceptible
G-6-39	27,5bc	68bc	Muy susceptible
G-3-3	26cd	44gh	Susceptible
Moncayo	26cd	46fg	Susceptible
H-3-37	25ed	71,5ab	Muy susceptible
G-2-7	47a	65dc	Muy susceptible
I-1-95	25,5ed	41hi	Susceptible
G-2-23	24ed	63,5de	Muy susceptible
G-6-24	24ed	59ef	Muy susceptible
G-1-23	24,5ed	39,5h	Susceptible
A-10-6	23ed	44gh	Susceptible
I-2-12	22,5e	57,5f	Muy susceptible
Tuono	19f	57f	Muy susceptible
Perrless	19f	41hi	Susceptible
Felisia	18fg	52fg	Muy susceptible
G-3-4	17fg	43,5gh	Susceptible
Guara	16fg	48fg	Susceptible
Mission	16fg	32j	Tolerante a Susceptible
G-2-1	15ghi	30jk	Tolerante a Susceptible
Ferragnès	15fgh	39hi	Susceptible
H-3-39	15,5fg	47fg	Susceptible
D. Largueta	12ij	54f	Muy susceptible
G-3-8	12ij	44gh	Susceptible
Nonpareil	12ij	28jk	Tolerante a Susceptible
G-3-28	11ij	26k	Tolerante a Susceptible
G-5-18	11,5ij	40hi	Susceptible
G-1-27	11,5ij	36hi	Susceptible
I-3-27	9j	28jk	Tolerante a Susceptible
Marcona	9j	26k	Tolerante a Susceptible
Bertina	9j	24kl	Tolerante
Masbovera	8j	21lm	Tolerante
G-6-14	8,5j	21,5lm	Tolerante
G-2-2	7kj	56f	Muy susceptible
G-5-2	7kj	29j	Tolerante a Susceptible
I-3-65	7kj	29j	Tolerante a Susceptible
G-4-10	7kj	26,5kl	Tolerante
G-4-3	6,5jk	25kl	Tolerante
G-3-5	5jkl	28,5jk	Tolerante a Susceptible
G-5-25	4,5jkl	28jk	Tolerante a Susceptible
G-2-25	3,5ikl	36,5hi	Tolerante a Susceptible
G-2-22	3,5jkl	27,5jk	Tolerante a Susceptible
G-1-58	2 kl	37hi	Tolerante a Susceptible
H-1-81	0,5kl	19,5m	Tolerante

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

Como ya se ha mencionado, la magnitud de los daños en flores y su grado de tolerancia a las heladas depende de varios factores, como la intensidad y duración de la helada (Mazur, 1969), el estado nutricional de la planta y las condiciones ambientales (Flinn y Ashworth, 1995). Por lo tanto, estos resultados son orientativos y se refieren sólo a las observaciones efectuadas en estas

condiciones, aunque se ha puesto en evidencia que el genotipo tiene un papel primordial en la determinación de la tolerancia a las bajas temperaturas (inferiores a 0°C) en el almendro.

7.3.2.2 Estudio comparativo de algunos componentes químicos de la yema y su relación con la tolerancia a las heladas

Los resultados de los análisis llevados a cabo con las yemas de flor se presentan en el Cuadro 7.5. Se ha observado una gran variabilidad entre los genotipos para todos los componentes considerados, lo que indica que, además del estado fenológico, las condiciones ambientales y el estado general de la planta, el componente genético también influye en la composición de las yemas.

La humedad varió entre 70,51 y 83,33% y el nitrógeno total entre 2,5 y 4,1%. El mayor componente de los carbohidratos en las yemas de flor en el estado fenológico E es la glucosa, con unos valores que oscilan entre 161 y 451,2 mg/g MS, seguido por la fructosa (entre 152,5 y 348,4 mg/g MS), la sacarosa (entre 36,7 y 99,4 mg/g MS) y el sorbitol (entre 44,4 y 85,6 mg/g MS). Finalmente es de destacar que en esta fase no se detectó la xilosa en más del 47% de los genotipos, lo que supone la existencia de diferencias entre los genotipos en cuanto al ritmo de movilización de los carbohidratos.

En el albaricoquero y el melocotonero, especies cercanas al almendro, se ha observado que la acumulación de estos componentes es mayor en las yemas de las variedades más tolerantes a las bajas temperaturas, después de la aclimatación, que en las susceptibles (Lasheen y Chaplin, 1971). En la frambuesa se ha relacionado la variación estacional del contenido en carbohidratos en las yemas a los cambios en el estado de tolerancia a las heladas y a las temperaturas bajas (Palonen, 1999). Por lo tanto, las plantas con una elevada concentración en carbohidratos deberían ser más tolerantes a las heladas.

Partiendo de esta hipótesis se determinaron las correlaciones entre los daños en pistilos observados en condiciones de laboratorio y los componentes químicos mediante el cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson (Cuadro 7.6). Los resultados mostraron una correlación negativa y significativa entre el porcentaje de daños observados a -2,5°C en condiciones controladas y la concentración total de azúcares, el contenido en sacarosa y en sorbitol. No se encontró ninguna correlación significativa entre el porcentaje de daños y las concentraciones en glucosa, fructosa y xilosa. Estas correlaciones parecen indicar que los bajos daños observados en estos genotipos se deben, en parte, a su elevado contenido en carbohidratos totales y a la concentración en sacarosa, glucosa y sorbitol.

Cuadro 7.5. Porcentaje de humedad (%), de nitrógeno y concentraciones de distintos carbohidratos en las yemas de flor en estado fenológico E (en mg/g MS).

Genotipo	Humedad	Nitrógeno	Sacarosa	Glucosa	Xilosa	Sorbitol	Fructosa	Carbohidratos Totales
Bertina	77,9	3,5	75,1	209,7	0	74,6	152,5	511,9
Desmayo L	77,2	2,8	46,1	287,1	0	85,6	214,5	633,3
Felisia	81,9	4,2	93,3	308,7	9,4	56,3	259,3	727,2
Ferragnès	80,2	3,4	81,7	290,8	21,2	60,7	186,7	641,3
Guara	78,4	3,4	54,6	331,2	0	58,9	233,3	678,1
Marcona	75,7	3,4	68,6	237,6	0	66,6	188,8	561,6
Masbovera	80,3	2,8	54,6	345,9	0	84,2	241,1	725,8
Moncayo	81,1	3,6	57,9	301,5	0	70,7	250,1	680,3
Mission	81,3	3,7	57,1	319,9	0	53,1	223,3	653,4
Peerless	79,6	3,4	71,1	187,2	22,2	67,9	174,4	522,6
Tuono	80,1	3,4	61,2	269,4	0	45,3	192,7	569,2
A-10-6	80,4	2,9	56,3	284,5	7,4	60,1	214,2	621,7
I-3-67	80,1	3,2	52,3	216,8	0	48,5	162,1	479,8
G-6-24	78,5	3,4	60,1	188,7	18,3	45,4	165,4	478,0
G-6-39	79,3	2,8	58,9	207,7	17,9	44,4	169,2	498,2
G-4-10	82,1	3,8	64,2	161,0	10,6	67,2	171,4	474,5
Nonpareil	76,7	3,2	82,8	275,8	40,4	60,8	173,4	633,3
G-5-18	79,5	3,1	79,6	231,2	0	51,9	174,8	537,6
G-1-38	78,1	3,4	75,1	223,5	21,5	74,6	178,4	573,3
G-2-7	78,6	3,2	70,5	323,2	35,1	68,5	181,7	679,1
G-3-24	79,9	3,1	67,7	222,6	23,7	53,2	183,8	550,6
G-1-58	78,2	3,3	68,3	228,8	21,4	79,7	191,5	589,7
G-2-22	80,6	3,2	91,2	256,1	22,7	85,4	199,4	654,2
H-3-39	77,6	3,2	77,4	211,1	14,4	85,3	200,7	588,9
H-3-37	81,5	3,3	69,1	199,2	10,7	46,1	205,7	531,1
I-3-65	81,5	3,1	58,7	233,8	22,7	51,9	210,4	577,6
I-2-12	77,6	3,1	36,7	255,2	0	70	218,1	579,9
G-1-23	82,1	3,8	69,1	246,1	18,1	54,5	218,6	606,6
I-1-95	79,3	2,9	50,1	321,3	0	65,3	224,3	660,9
I-3-27	82,4	3,1	64,2	234,3	19,4	45,7	227,2	591,1
G-4-3	81,1	3,4	84,9	246,2	0	69,1	231,3	631,5
G-2-2	83,5	3,1	69,5	245,4	0	48,6	236,4	599,6
G-2-23	78,3	2,5	79,1	272,9	15,5	51,7	238,6	657,7
G-3-3	82,2	3,4	80,7	274,0	0	51,1	239,2	645,1
G-6-14	82,8	3,4	72,7	286,2	17,3	58,8	240,9	676,1
G-3-8	82,1	3,7	94,4	278,0	18,6	45	255,8	691,9
H-1-81	80,3	3,1	76,7	276,2	0	60,7	256,6	670,4
G-1-27	80,5	2,8	88,7	319,3	0	64,5	275,2	747,9
G-5-25	82,4	3,2	68,8	414,7	0	55,7	279,6	818,9
G-3-28	83,1	3,8	86,5	296,9	19,1	59,1	279,9	741,5
G-5-2	81,9	3,4	42,9	354,4	0	56,7	280,2	734,4
G-2-25	77,8	2,6	99,4	304,1	21,67	58,1	285,4	768,9
G-3-4	82,6	3,3	90,5	327,5	0	69,1	293,8	780,4
G-2-1	81,4	3,5	58,5	427,8	0	63,3	329,4	878,9
G-3-5	81,6	3,2	48,9	451,4	0	73,4	348,1	921,6

Flinn y Ashworth (1995) relacionaron la tolerancia a las heladas de las plantas a su elevado contenido en carbohidratos, como se ha encontrado en este estudio. Durner y Gianfagna (1991) relacionaron el aumento de la tolerancia de las yemas de flor en el melocotonero a un aumento en el contenido en sorbitol y sacarosa en sus pistilos. Palonen (1999) encontró en el frambueso una elevada

correlación entre los daños en las yemas de flor y el contenido en glucosa y fructosa, y atribuyó la resistencia de las yemas a la acumulación de sacarosa, al considerar que en condiciones de campo no se observó una relación clara entre el nivel máximo de resistencia a las heladas y el nivel máximo de carbohidratos. Khanizadeh et al. (1989), por el contrario, observaron que el aumento de la tolerancia a las heladas en flores de manzano esta más relacionado con el aumento de su contenido en sorbitol y glucosa. Leborgne et al. (1995) mostraron en eucaliptus una relación inversa entre la susceptibilidad a las heladas y la concentración en fructosa, sacarosa y manitol. Estas diferencias se deben probablemente a las diferencias botánicas en el material vegetal estudiado por cada grupo, que condiciona la expresión del sistema enzimático de cada especie (Kleczkowski et al., 2004). Travert et al. (1997) ya mencionaron que los mecanismos de resistencia a las heladas relacionados con la acumulación de los carbohidratos dependen de la especie.

Cuadro 7.6. Correlación entre los daños relativos y algunos componentes bioquímicos de la yema de flor.

Variable	Daños	Humedad
Humedad relativa	-0,21	-
Nitrógeno	-0,22	0,12
Carbohidratos totales	-0,32	0,32
Sacarosa	-0,29	0,11
Glucosa	-0,24	0,24
Xilosa	0,07	-0,18
Fructosa	-0,25	0,48
Sorbitol	-0,33	-0,31

Las correlaciones significativas están en negrita.

En la mayoría de las especies los carbohidratos juegan dos funciones de protección en condiciones de heladas: ajuste osmótico y crioprotección de las estructuras celulares (Goldstein y Nobel, 1994), aunque en algunas especies, como la petunia, se ha postulado solamente la función de la protección de las estructuras celulares (Yelenosky y Guy, 1989). Por lo tanto, es preciso profundizar en el tipo de mecanismo de protección involucrado en la protección de las yemas del almendro frente a las heladas por los carbohidratos. Por otra parte, no se detectó ninguna correlación significativa entre la humedad relativa ni entre el contenido en nitrógeno de las yemas con los daños observados en condiciones de laboratorio (Cuadro 7.6), aunque se pueda presumir una tendencia de los genotipos con mayor humedad a presentar más daños en los pistilos.

En algunas especies, incluido el almendro, se ha observado que las yemas que presentan una baja humedad, tienden a deshidratarse más rápidamente en condiciones de helada (B. Royo, com. per.). No obstante, en estos estudios no se determinó el contenido en carbohidratos totales, por lo que

esta tendencia puede no depender sólo del contenido en humedad de las yemas sino también de su composición en componentes crioprotectores. En nuestro estudio se ha observado que los genotipos con un alto contenido en humedad tienden a presentar una elevada concentración en carbohidratos totales y en fructosa y una baja concentración en sorbitol (Cuadro 7.5), componente importante en la protección de los tejidos vegetales de la mayoría de las especies frente a las heladas (Durner y Gianfagna, 1991; Khanizadeh et al., 1989). Ello podría explicar las observaciones del grupo del Dr. Bernardo Royo en la universidad de Navarra.

Las selecciones G-1-27, G-2-22, G-3-5, G-3-8, G-3-28, G-4-3, G-4-10, G-5-25 y H-1-81, y las variedades 'Bertina', 'Masbovera', 'Nonpareil' y 'Felisia' han presentado los valores más bajos de daños en yemas en condiciones de laboratorio y los valores más elevados en la concentración en carbohidratos totales, sacarosa y sorbitol. Raese et al. (1978) concluyeron que la resistencia al frío en ramos del manzano presenta una fuerte correlación con la concentración en sorbitol, sacarosa y los carbohidratos totales en la savia. Ello podría indicar que la baja incidencia de daños por las bajas temperaturas en estos genotipos se debe probablemente a su elevada concentración en carbohidratos totales y sobre todo en sorbitol.

7.3.2.3 Evaluación mediante la fluorescencia de clorofila (FC)

En general, la emisión de fluorescencia por la clorofila ha mostrado una clara disminución con la reducción de las temperaturas (Cuadro 7.7), como ya se había observado en flores de fresa (Khanizadeh et al., 2000) o en hojas de tomate (Brüggermann y Linger, 1994) o de rosa (Hakam et al., 2001). Así mismo se ha mostrado que la disminución de la FC está relacionada con la inhibición de la actividad fotosintética, lo que se traduce en una reducción importante de la asimilación de CO₂ (Baker y Nie, 1994). La reducción de la FC ha seguido tres patrones distintos: lineal, sigmoideal y no significativa (Cuadro 7.7), como se ha encontrado en la fresa (Khanizadeh et al., 2001).

En esta especie si la reducción de Fv/Fm es sigmoideal, las selecciones son susceptibles a las heladas, si es lineal son entre tolerantes a susceptibles, y si no es significativa son tolerantes. En nuestro estudio se ha encontrado una correlación directa entre la rapidez de la disminución de Fv/Fm y los valores de los daños visuales observados a -1°C y -2,5°C en condiciones controladas. Los genotipos con daños elevados presentaron una reducción rápida de Fv/Fm (Desmayo Largueta, I-1-95, etc.), mientras que las que presentaron una reducción lenta y/o no significativa, como es el caso de H-1-81, G-5-25, fueron más tolerantes. También se ha observado que 'Nonpareil', 'Peerless' y 'Missntr'

presentaron una reducción del Fv/Fm sigmoïdal, por lo que, siguiendo la clasificación propuesta por Khanizadeh et al. (2001), significa que son entre tolerantes a susceptibles a las heladas, aunque se ha observado que la pendiente de reducción de Fv /Fm de 'Nonpareil' es menos acentuada que la de las otras dos variedades. Ello coincide con los resultados de Snyder y Connell (1995), que mostraron en condiciones controladas que 'Nonpareil' era más tolerante a las heladas que 'Mission' y 'Peerless'.

Por otro lado, el Fv/Fm de 'Desmayo Largueta' sigue una reducción lineal, mientras que la de 'Marcona' sigmoïdal, indicando que la primera puede ser más susceptible que la segunda. Ello coincide con los resultados obtenidos en condiciones controladas y en el campo en el año 2005. En efecto, en la primavera de 2005 se registró una helada de -3°C que produjo daños importantes en las yemas de flor de 'Desmayo Largueta', mientras que los daños en 'Marcona' fueron insignificantes. En el momento de la helada, las dos variedades se encontraban en el estado fenológico D (Socias i Company, com. per.), por lo que las yemas de flor de 'Marcona' son probablemente más tolerantes que las de 'Desmayo Largueta', aunque las dos variedades sean susceptibles a las heladas (Felipe, 1988). Ello coincide con los resultados encontrados aplicando la técnica de la fluorescencia de clorofila.

Sin embargo, en algunas variedades consideradas tolerantes a las heladas como 'Masbovera' (Vargas, com. per.) y 'Nonpareil' (Snyder y Connell, 1995), la reducción de Fv/Fm presenta el mismo patrón de reducción que el de 'Ferragnès' y 'Marcona' (Fig 7.9), consideradas susceptibles (Miranda et al., 2005), sugiriendo que estas variedades podrían considerarse entre tolerantes a susceptibles. Sin embargo, la reducción de Fv/Fm en función de las temperaturas es más lenta para 'Masbovera' que para 'Ferragnès' y 'Marcona' (Fig 7.9).

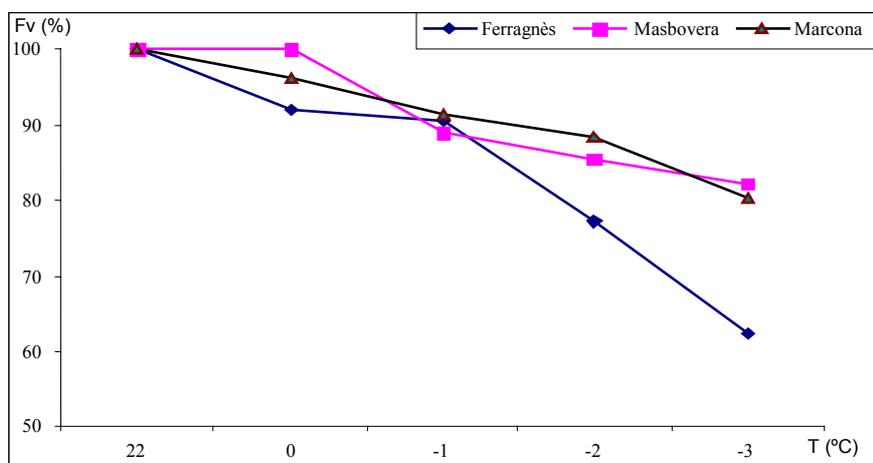


Fig 7.9. Evolución de Fv/Fm de 'Marcona', 'Masbovera' y 'Ferragnès'.

Cuadro 7.7. Evolución de la fluorescencia de la clorofila de la zona ovárica de las yemas de los genotipos estudiados en función de las temperaturas.

Genotipo	Temperatura	Valor relativo de Fv/Fm en relación al normal a 22°C (%)					Regresión
		22°C	0°C	-1°C	-2°C	-3°C	
Bertina		100	100,2	85,17	70,02	54,97	Q
Desmayo Largueta		100	95,39	61,76	59,87	52,04	Q
Felisia		100	99,48	95,63	73,01	65,60	Q
Ferragnès		100	91,29	90,54	77,15	62,42	Q
Guara		100	96,29	93,48	84,21	76,61	Q
Marcona		100	92,23	91,44	88,57	80,31	Q/L
Masbovera		100	100,1	88,84	85,31	82,02	Q
Moncayo		100	84,74	76,23	74,85	73,12	Q/L
Nonpareil		100	98,5	93,1	87,16	78,44	Q
Peerless		100	89,08	83,20	65,71	57,87	Q
Mission		100	93,39	87,98	86,12	74,08	Q
Tuono		100	99,66	99,51	86,56	63,74	Q
A-10-6		100	91,23	76,23	74,41	54,22	Q
G-1-23		100	101,3	88,58	87,04	68,20	Q
G-1-27		100	95,99	83,99	80,00	58,17	Q
G-1-38		100	100,6	72,91	66,77	54,75	Q
G-1-58		100	100,8	83,52	82,87	59,46	NS
G-2-1		100	89,16	85,78	81,34	65,41	Q
G-2-2		100	99,89	91,59	74,10	54,35	Q
G-2-22		100	100,5	88,46	82,22	63,56	Q
G-2-23		100	82,34	74,53	73,11	47,68	Q
G-2-25		100	97,21	92,43	88,60	72,81	Q
G-2-7		100	108,4	76,51	70,77	58,58	Q
G-3-24		100	104,6	83,02	81,46	48,67	Q
G-3-28		100	97,34	90,98	89,18	69,18	Q
G-3-3		100	99,79	90,75	83,69	66,74	Q
G-3-4		100	98,16	79,83	71,57	63,58	Q
G-3-5		100	96,42	87,71	87,61	58,96	NS
G-3-8		100	102,5	95,77	80,72	78,16	Q
G-4-10		100	102,5	100,91	80,39	74,81	Q
G-4-3		100	93,11	73,70	63,29	58,19	Q
G-5-18		100	103,9	97,95	84,88	61,14	Q
G-5-2		100	89,74	81,23	62,71	58,08	Q
G-5-25		100	98,69	98,43	91,45	70,47	NS
G-6-14		100	95,81	85,13	84,52	80,51	Q
G-6-24		100	100,5	99,33	99,14	70,89	Q
G-6-39		100	100,4	87,54	78,20	70,50	Q
H-1-81		100	89,15	79,38	79,34	51,51	NS
H-3-37		100	94,86	76,86	64,04	44,66	Q
H-3-39		100	99,01	84,38	77,68	68,59	Q
I-1-95		100	82,94	81,44	75,74	63,18	Q/L
I-2-12		100	95,12	82,02	67,43	59,68	Q
I-3-27		100	88,37	87,79	80,10	64,87	Q
I-3-65		100	89,45	82,28	80,31	61,66	Q
I-3-67		100	100,1	95,66	79,70	51,04	Q

Aunque las plantas susceptibles y las tolerantes exhiben el mismo patrón de reducción de emisión de fluorescencia por la clorofila, en las plantas sensibles la reducción tiene lugar a un ritmo más

acelerado (Bernnan y Jefferies, 1990; Hakam et al., 2000). Ello significa que en el momento de establecer el orden de tolerancia a las heladas de las variedades de almendro mediante la fluorescencia de la clorofila, es recomendable basarse más en la rapidez de la reducción de Fv/Fm que en el patrón de su reducción. Con ello se puede concluir que el modelo de clasificación de la tolerancia a las heladas según el patrón de reducción de Fv en función de las temperaturas propuesto por Hakam et al. (2000) y Khanizadeh et al. (2001) se puede adaptar al almendro.

Los resultados mostraron que 38 genotipos (Cuadro 7.7) presentaron una respuesta sigmoïdal (Q) con un punto de inflexión situado entre -1°C y -2°C, por lo que la reducción de Fv/Fm no fue significativa hasta que se alcanzaron estas temperaturas (Khanizadeh y DeEll, 2002). Por ello, las flores de estos genotipos deben ser tolerantes a temperaturas comprendidas entre 0°C y -2°C. Los genotipos con una reducción lineal del Fv/Fm (L) serán por el contrario más sensibles a las heladas. En todos los genotipos estudiados, los valores más bajos de fluorescencia de la clorofila se registraron a temperaturas comprendidas entre -2°C y -3°C (Cuadro 7.7), indicando que las yemas de flor de todos los genotipos son vulnerables a estas temperaturas. Ello coincide con los resultados encontrados en este estudio y con otros resultados en el almendro (Evreinoff, 1952; Felipe, 1988).

Entre los genotipos considerados tolerantes a las heladas mediante la aplicación de la fluorescencia de la clorofila destaca la selección H-1-81, con un buen comportamiento frente a las heladas en el campo en 2003 y 2004 y en condiciones controladas, mientras que el resto de genotipos presentaron comportamientos variables en el campo de un año a otro. Algunas selecciones (G-1-27, G-5-25, G-3-3 e I-3-27) que presentaron caracteres de gran interés comercial y/o agronómico han mostrado una reducción de la FC sigmoïdal con un ritmo bastante acentuado, lo que indica que probablemente son susceptibles a las heladas. Su comportamiento en el campo dio a entender que eran tolerantes, aunque los ensayos llevados a cabo en el laboratorio han puesto en evidencia su sensibilidad. Por lo tanto la selección para floración tardía debe considerarse como una estrategia de escape y no como una estrategia de tolerancia (Ristevski, 1988). La coincidencia de los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio presenta una gran ventaja para la evaluación de la tolerancia a las heladas de las flores de almendro, especialmente en el caso de genotipos de floración tardía.

La baja incidencia de las heladas en el cuajado de las selecciones de floración tardía indica que se puede considerar el carácter de floración muy tardía como un carácter indispensable en los programas de mejora, con el fin de que la floración del nuevo material transcurra después del período con alto riesgo de heladas. Los resultados obtenidos hasta hoy en día permiten confiar en este progreso

(Socias i Company et al., 2005). Además, la elevada densidad floral de las selecciones que mostraron cuajados de medios a aceptables, indica que este carácter permite aumentar las posibilidades de supervivencia de algunas yemas de flor después de una helada, asegurando así una cosecha aceptable en tales condiciones.

Por otra parte, los días siguientes a las heladas son muy fríos en la mayoría de casos, lo que afecta negativamente a la movilidad de los agentes polinizadores. Como las flores de las variedades autóгамas se pueden autofecundar sin la necesidad de ninguna intervención externa, se puede asegurar una cosecha adecuada independientemente de las condiciones climáticas (Socias i Company y Felipe, 1992), al contrario de las variedades autoincompatibles. Por lo tanto, en un programa de mejora se pueden desarrollar varias estrategias para aumentar la tolerancia a las heladas tardías: la selección por una floración tardía como una estrategia de escape a las heladas, la selección de genotipos con una tolerancia intrínseca a las heladas y la selección indirecta para este carácter mediante genotipos autóгамos y con elevada densidad floral.

La tolerancia de las plantas a las bajas temperaturas se debe a varios factores intrínsecos como los carbohidratos (Hällgren y Oquist, 1990), los ácidos grasos insaturados (Thompson, 1989) y los aminoácidos de los tejidos vegetales (Guy, 1990). Uno de los factores intrínsecos considerados en este estudio es la composición en carbohidratos de las yemas y en especial la concentración en sacarosa y en sorbitol, que se presentan en valores elevados en los genotipos considerados en este estudio o/y en la literatura como tolerantes a las heladas.

Estos resultados son provisionales e indican la posible implicación de los carbohidratos en la tolerancia de las flores a las heladas. No obstante, no permiten sacar conclusiones en cuanto a su papel en la protección de las yemas de flor contra las heladas, pero podrían considerarse como una base para emprender estudios bioquímicos y fisiológicos avanzados sobre su posible papel en la tolerancia a las heladas, con la perspectiva de su utilización como una nueva vía de evaluación de la tolerancia a las heladas en los programas de mejora del almendro del CITA.

La introducción de la técnica de fluorescencia de la clorofila ha abierto una vía eficaz para la valoración de la tolerancia relativa de las plantas a las bajas temperaturas (Baker y Rosenqvist, 2004). Actualmente esta técnica se encuentra todavía en proceso de evaluación, modificación y adaptación al material vegetal y a la mejora en la Unidad de Fruticultura del CITA. No obstante, estos primeros resultados indican la posibilidad del uso de la fluorescencia de clorofila como técnica prometedora

(rápida, cuantitativa y sencilla) para determinar la tolerancia de los genotipos a las heladas independientemente de su época de floración.

7.4 CONCLUSIÓN

La variabilidad de la respuesta de los genotipos estudiados a las heladas, independientemente de su época de floración, confirma la existencia de fuentes de tolerancia a las heladas en almendro. El estudio de este carácter a lo largo de los años mediante la observación de daños en condiciones de campo y de laboratorio, así como la incorporación de posibles métodos de valoración como la fluorescencia de la clorofila, la determinación de componentes bioquímicos de las yemas y el seguimiento de su evolución estacional, podrían aumentar las posibilidades de selección de nuevo material tolerante a las heladas con el objetivo de obtener variedades adaptadas a las duras condiciones climáticas de muchas regiones de cultivo del almendro en climas continentales, y así conseguir la sostenibilidad de este cultivo en estas condiciones.

Se puso en evidencia la existencia de una posible relación entre el contenido en carbohidratos de las yemas de flor y la tolerancia a las heladas. En especial la concentración en sacarosa y en sorbitol presentó valores elevados en los genotipos considerados en este estudio o/y en la literatura como tolerantes a las heladas. Estos resultados son provisionales, pero indican la posible implicación de los carbohidratos en la tolerancia de las flores a las heladas. Aunque no permiten sacar conclusiones en relación a la protección de las yemas de flor contra las heladas, podrían considerarse como una base para emprender estudios bioquímicos y fisiológicos avanzados sobre su posible papel en la tolerancia a las heladas, con la perspectiva de su utilización como una nueva vía de evaluación de la tolerancia a las heladas en el almendro.

Capítulo 8. Variabilidad de los caracteres pomológicos

8. VARIABILIDAD DE LOS CARACTERES POMOLÓGICOS

8.1 INTRODUCCIÓN

Las características del fruto y de la pepita siguen siendo criterios discriminantes en un programa de mejora genética del almendro. Su importancia emana del hecho de que la pepita es la parte que se comercializa y por lo tanto la más importante económicamente, mientras que en otras especies de frutos secos, como el nogal, la madera, además del fruto, tiene un gran interés comercial (Germain et al., 1985).

En los últimos 50 años se han emprendido muchos programas de mejora para seleccionar y crear nuevo material vegetal que posea en primera instancia frutos de elevada calidad comercial. Los resultados de estos programas han tenido mucho éxito, pero quizás no han logrado la obtención de variedades que produzcan frutos de la misma calidad que algunas tradicionales de alta consideración en el mercado, como es el caso de 'Marcona' y 'Desmayo Largueta' en España y 'Nonpareil' en los Estados Unidos. Por ello prosiguen los esfuerzos para alcanzar estos objetivos (Socias i Company y Felipe, 2004). Simultáneamente se han realizado varios estudios sobre los caracteres cuantitativos y en menor escala sobre los caracteres cualitativos del fruto (Arteaga y Socias i Company, 2005; Socias i Company, 1998), lo que permite conocer mejor la heredabilidad y el modo de transmisión de estos caracteres, y así mejorar considerablemente las estrategias de mejora (Felipe, 2000).

Entre los caracteres del fruto, sólo el sabor de la pepita es cualitativo, con el sabor dulce dominante sobre el sabor amargo, mientras que el resto de caracteres se transmite de forma cuantitativa: el peso del fruto (Kester et al., 1977b; Dicenta et al., 1993b), el peso de la pepita y la dureza de la cáscara (Kester et al., 1977b; Dicenta et al., 1993b), las dimensiones de la pepita (Kester et al., 1977b), el porcentaje de pepitas dobles (Grasselly, 1972; Kester et al., 1977b) y las características cualitativas o subjetivas del fruto y de la pepita (Arteaga y Socias i Company, 2005).

En este capítulo se pretende evaluar la variabilidad de los caracteres físicos del fruto y de la pepita y su estabilidad de un año a otro, así como estudiar las semejanzas entre las distintas selecciones y sus parentales y identificar los genotipos que presenten las pepitas de mejores características.

8. 2 METODOLOGÍA

8.2.1 CARACTERES BIOMÉTRICOS (cuantitativos)

Este estudio se llevó a cabo entre los años 2001 y 2003. Se muestrearon al azar 50 frutos maduros alrededor de la zona media de la copa de cada genotipo. Los frutos se llevaron al laboratorio y se secaron a temperatura ambiente durante un mes, para después proceder a la toma de datos.

Se estudió un total de 1080 frutos cada año. 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), el índice de esfericidad (\emptyset) y el tamaño (T) del fruto y de la pepita utilizando las siguientes ecuaciones (Aydin, 2003): $Dg = (LAE)^{1/3}$, $\emptyset = Dg/L$ y $T=LAE$. Se determinó la dureza de la cáscara mediante la compresión de la almendra mediante un analizador de textura (Instron). Para evaluar las características físicas del fruto se eligió un conjunto de 28 variables métricas que se relacionan en el Cuadro 8.1.

Cuadro 8.1. Caracteres biométricos medidos y sus abreviaturas.

Carácter	Abreviatura
Peso del fruto (g)	Pf
Longitud del fruto (mm)	Lf
Anchura del fruto (mm)	LrF
Espesor del fruto (mm)	EPF
Anchura / Longitud del fruto	R1
Espesor / Longitud del fruto	R2
Espesor / Anchura del fruto	R3
Superficie del fruto (mm ²)	SuF
Tamaño del fruto (mm ³)	Tf
Diámetro geométrico del fruto	Dgf
Índice de esfericidad del fruto	$\emptyset f$
Peso de la cáscara (g)	PQ
Espesor de la cáscara (mm)	EPQ
Ruptura de la cáscara (kg/mm ²)	RQ
Peso de la pepita (g)	Pn
Longitud de la pepita (mm)	LP
Anchura de la pepita (mm)	LrP
Espesor de la pepita (mm)	ESP
Anchura / Longitud de la pepita	R4
Espesor / Longitud de la pepita	R5
Espesor / Anchura de la pepita	R6
Superficie de la pepita (mm ²)	SuP
Tamaño de la pepita (mm ³)	Tn
Diámetro geométrico de la pepita	Dgp
Índice de esfericidad de la pepita	$\emptyset p$
Rendimiento en cáscara (%)	Rdrc
Peso del tegumento (g)	PT
Rendimiento al repelado (%)	Rdtr

8.2.2 Caracteres cualitativos

Para profundizar en el estudio de las semejanzas entre los genotipos se determinó también un conjunto de variables ponderadas, como la forma, el tipo de superficie, la presencia del mucrón tanto en el fruto como en la pepita, la presencia de quilla en la cáscara, la presencia de surcos en la pepita y el color del tegumento, así como el único carácter cualitativo, el sabor de la pepita. El color del tegumento se evaluó mediante las tablas de color de la Royal Horticultural Society (RHS, 1966), y el resto de los caracteres se determinaron de acuerdo con los descriptores del IPGRI (Gülcan, 1985).

Para proceder a un análisis global mediante el Análisis Factorial de Correspondencias Múltiples se crearon nuevas variables mediante la asignación de los caracteres estudiados a distintos niveles en función de las observaciones de cada genotipo (Cuadro 8.2). Así, para cada genotipo se construyó una matriz que contiene la expresión del carácter, 1 si el genotipo presenta esta variable y 0 en el caso contrario.

8.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.3.1 VARIABILIDAD Y ESTABILIDAD GENÉTICA DE LOS CARACTERES DEL FRUTO Y DE LA PEPITA

La variabilidad de los caracteres del fruto y de la pepita en los tres años (Anejo IV y Cuadro 8.3) ha revelado que el peso, el tamaño y la superficie del fruto, el peso, el tamaño y la superficie de la pepita, el peso y el espesor de la cáscara y en un grado ligeramente inferior los cocientes R5 y R6, son los caracteres que presentan la máxima variabilidad entre los caracteres del fruto, con un coeficiente de variación superior al 10% en cada año, salvo en el caso de la superficie del fruto, que ha sido del orden de 9%. Para el resto de las variables este coeficiente ha sido inferior al 6%. Ello muestra que tanto el peso como el tamaño del fruto y de la pepita son los caracteres que más varían en esta población, mientras que el resto de los caracteres presentan valores más o menos uniformes.

Los coeficientes de variación interanual (Cuadro 8.4) son del mismo orden que los de variación entre los genotipos (Cuadro 8.3), lo que indica que tanto los factores genéticos como los no genéticos contribuyen en un grado similar a la variabilidad de los caracteres del fruto y de la pepita. Los bajos coeficientes de variación entre genotipos pueden deberse a la presión de selección ejercida en la primera fase del programa para obtener frutos de buen aspecto físico.

Cuadro 8.2. Caracteres cualitativos estudiados y las abreviaturas correspondientes.

Variable	Abreviatura	Variable	Abreviatura
<u>Tamaño del fruto</u>		<u>Tamaño de la pepita</u>	
Grande	TFG	Grande	TPG
Medio	TFM	Medio	TPM
Pequeño	TFP	Pequeño	TPP
<u>Forma del fruto</u>		<u>Forma de pepita</u>	
Largo	FEL	Largo	FPL
Amigdaloides	FEA	Amigdaloides	FPA
Elíptico	FEE	Elíptico	FPE
Acorazonado	FEAc	Acorazonado	FPAc
Redondo	FER	Redondo	FPR
<u>Forma del mucrón del endocarpio</u>		<u>Superficie del endocarpio</u>	
Inexistente	MEI	Liso	SEL
Saliente	MES	Rugoso	SER
Muy pronunciado	MEMP	Asurcado	SEA
<u>Quilla del endocarpio</u>		<u>Color del tegumento</u>	
Inexistente	QEI	Amarillo	CTA
Poco marcado	QEPI	Marrón claro	CTMC
Medio	QEM	Marrón rojizo	CTMR
Acusado	QEA	Marrón oscuro	CTMO
<u>Sabor de la pepita</u>		<u>Superficie del tegumento</u>	
Amargo	SPeLA	Liso	STL
Dulce	SPeD	Débilmente rugoso	STDR
Soso	SPeS	Medianamente rugoso	STMR
Agradable	SPeAg	Fuertemente rugoso	STFR
<u>Consistencia del endocarpio</u>		<u>Grosor del endocarpio</u>	
Baja	CEB	Fino	GEF
Media	CEM	Medio	GEM
Alta	CEA	Grueso	GEG
<u>Puntuación del endocarpio</u>		<u>Sección transversal fruto</u>	
Escasa	PEE	Capas dobles de la cáscara	CD
Media	PEM	Presencia de surcos pepita	SP
Abundante	PEA	Presencia del mucrón pepita	PMP
Sección transversal pepita	STP	-	

El rendimiento en pepita, utilizado para expresar la dureza de la cáscara (Kester y Asay, 1975), resultó el carácter con la mayor variabilidad en esta población, con un coeficiente superior al 20%, salvo en el primer año, en el que fue relativamente bajo. Ello puede deberse a que los árboles jóvenes suelen presentar cáscaras de menor dureza. Así mismo este carácter presenta un coeficiente de variación interanual (17%) inferior al coeficiente de variación entre genotipos (Cuadro 8.3), lo que indica que este carácter depende fundamentalmente del genotipo y en un grado mucho menor de las condiciones ambientales del año. El coeficiente de variación entre genotipos tiende a bajar a lo largo de los años, salvo en el caso del rendimiento en pepita, indicando que la variabilidad de estos caracteres es cada vez menor entre estos genotipos, probablemente debido a que en el primer año, de mayor variabilidad, varios genotipos no han expresado sus potencialidades, entre ellas las características del fruto, que se han definido a lo largo de los años.

Cuadro 8.3. Media y coeficientes de variación de los caracteres biométricos del fruto y de la pepita.

Años	2001-2002		2002-2003		2003-2004	
	Media \pm dst	CV	Media \pm dst	CV	Media \pm dst	CV
Caracteres estudiados						
Peso del fruto	4,28 \pm 0,62	14,5	4,26 \pm 0,61	14,2	4,36 \pm 0,43	12,4
Longitud del fruto (A)	33,47 \pm 1,92	5,47	33,17 \pm 1,83	5,53	34,13 \pm 1,58	4,63
Anchura del fruto (B)	23,62 \pm 1,83	5,84	23,59 \pm 1,34	5,70	24,92 \pm 1,2	4,82
Espesor del fruto (C)	16,27 \pm 0,95	5,85	15,83 \pm 0,88	5,56	16,78 \pm 0,90	5,41
Tamaño del fruto	13040 \pm 1851	14,2	12720 \pm 1799	14,2	14538 \pm 1729	12,1
Diámetro geométrico del fruto	23,38 \pm 1,09	4,86	23,08 \pm 1,04	4,52	24,21 \pm 0,92	3,81
Esfericidad del fruto	0,70 \pm 0,02	3,39	0,70 \pm 0,02	3,59	0,71 \pm 0,02	3,11
Superficie del fruto	1729 \pm 162,5	9,39	1693 \pm 155,1	9,21	1856 \pm 144,1	8,96
R1 (B/A)	0,71 \pm 0,04	5,80	0,72 \pm 0,04	6,08	0,73 \pm 0,03	4,98
R2 (C/A)	0,69 \pm 0,04	6,33	0,67 \pm 0,038	5,76	0,67 \pm 0,037	5,55
R3 (C/B)	0,49 \pm 0,03	6,12	0,48 \pm 0,02	6,08	0,49 \pm 0,029	5,86
Peso de la cáscara	3,17 \pm 0,50	16,1	3,18 \pm 0,62	19,6	3,21 \pm 0,48	15,2
Espesor de la cáscara	3,57 \pm 0,42	11,8	3,34 \pm 0,35	10,6	3,66 \pm 0,35	9,59
Peso de la pepita	1,15 \pm 0,18	16,1	1,12 \pm 0,17	15,8	1,15 \pm 0,20	17,4
Longitud de la pepita (D)	24,34 \pm 1,64	6,74	24,23 \pm 1,41	5,83	24,73 \pm 1,24	5,01
Anchura de la pepita (E)	14,33 \pm 0,99	6,91	14,06 \pm 0,90	6,40	14,97 \pm 0,75	5,05
Espesor de la pepita (F)	7,13 \pm 0,72	10,1	6,97 \pm 0,57	8,19	7,06 \pm 0,54	7,71
Tamaño de la pepita	2532 \pm 434	17,1	2401 \pm 340,1	14,2	2636 \pm 325,8	12,4
Diámetro geométrico de la pepita	13,49 \pm 0,80	5,97	13,28 \pm 0,64	4,86	13,7 \pm 0,57	4,21
Esfericidad de la pepita	0,55 \pm 0,02	4,77	0,55 \pm 0,021	4,51	0,55 \pm 0,02	3,71
Superficie de la pepita	578,02 \pm 67,1	11,6	558,9 \pm 53,3	9,54	595,9 \pm 49,6	9,28
R4 (E/D)	0,59 \pm 0,04	7,18	0,58 \pm 0,038	6,76	0,61 \pm 0,03	5,41
R5 (F/D)	0,50 \pm 0,05	11,2	0,50 \pm 0,040	9,49	0,47 \pm 0,041	8,72
R6 (F/E)	0,29 \pm 0,03	10,4	0,29 \pm 0,027	9,30	0,28 \pm 0,024	8,39
Rendimiento en pepita	27,61 \pm 3,29	12,1	27,17 \pm 5,35	20,7	27,63 \pm 6,42	23,3

Cuadro 8.4. Rango de variabilidad y coeficientes de variación interanual de los caracteres biométricos del fruto y de la pepita.

Caracteres estudiados	Rango de variabilidad	Media \pm DST	Coefficiente variación
Peso del fruto	2,01 - 7,57	4,31 \pm 0,56	13,05
Longitud del fruto (A)	25,65 - 41,90	33,59 \pm 1,78	5,31
Anchura del fruto (B)	18,81 - 29,79	24,04 \pm 1,31	5,45
Espesor del fruto (C)	13,73 - 18,91	16,29 \pm 0,91	5,61
Tamaño del fruto	6960,8 - 23386,7	13432,81 \pm 1794,23	13,35
Diámetro geométrico del fruto	19,03 - 28,50	23,56 \pm 1,02	4,34
Esfericidad del fruto	0,59 - 0,81	0,70 \pm 0,02	3,37
Superficie del fruto	1141,92 - 2561,07	1760,02 \pm 154,32	8,76
R1 (B/A)	0,55 - 0,87	0,72 \pm 0,04	5,63
R2 (C/A)	0,57 - 0,77	0,68 \pm 0,04	5,90
R3 (C/B)	0,37 - 0,64	0,49 \pm 0,02	6,02
Peso de la cáscara	1,22 - 5,88	3,17 \pm 0,54	17,04
Espesor de la cáscara	1,85 - 4,93	3,52 \pm 0,37	10,69
Peso de la pepita	0,71 - 1,73	1,14 \pm 0,18	16,44
Longitud de la pepita (D)	18,92 - 31,51	24,43 \pm 1,44	5,90
Anchura de la pepita (E)	11,80 - 17,86	14,45 \pm 0,88	6,14
Espesor de la pepita (F)	5,71 - 8,51	7,05 \pm 0,61	8,47
Tamaño de la pepita	1579,46 - 3399,77	2523,62 \pm 369,79	14,65
Diámetro geométrico de la pepita	11,58 - 15,43	13,50 \pm 0,63	5,06
Esfericidad de la pepita	0,47 - 0,67	0,55 \pm 0,02	4,35
Superficie de la pepita	424,02 - 750,20	577,65 \pm 57,12	9,88
R4 (E/D)	0,43 - 0,76	0,59 \pm 0,03	6,47
R5 (F/D)	0,39 - 0,62	0,49 \pm 0,04	9,90
R6 (F/E)	0,22 - 0,40	0,29 \pm 0,02	9,43
Rendimiento en pepita	19,89 - 40,05	27,47 \pm 5,19	17,44

El análisis de varianza (Cuadros 8.5, 8.6 y 8.7) mostró diferencias significativas entre los genotipos y entre los años de estudio para todos los caracteres físicos del fruto y de la pepita, salvo en el caso de tres variables, el rendimiento en pepita y los cocientes R3 y R6, en los que el efecto del año no ha sido significativo. Estos resultados coinciden con los ya reseñados, indicando que estos caracteres están en parte bajo control genético y se transmiten de forma cuantitativa (Arteaga y Socias i Company, 2005; Grasselly, 1972; Kester et al., 1977b), con una baja fluctuación interanual (Socias i Company, 1998).

Cuadro 8.5. Análisis de varianza y repetitividad de los caracteres biométricos del fruto.

Fuente de variación	GL	z PF	LF	AF	EspF	TF	DGF	ESF	SUPF
<u>Medios cuadrados</u>									
Genotipo	53	27,01**	413,7**	115,4**	44,7**	256134525**	90,2**	0,063**	1971919**
Año	2	1,14*	129,4**	311,4**	121,9**	508546350**	184,8**	0,011*	3983884**
Genotipo × Año	106	3,01**	43,8**	17,1**	7,8**	35547750**	12,9**	0,006**	274927**
Residual	1458	0,31	3,14	1,72	0,83	3219279	1,04	0,0005	23817
Repetitividad		0.90	0.94	0.93	0.92	0.94	0.92	0.95	0.94

*, **, ***: Significativo a P < 0,05, 0,01 o 0,001, respectivamente.

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 8.1.

Cuadro 8.6. Análisis de varianza y repetitividad de los caracteres biométricos de la pepita.

Fuente de variación	GL	z PP	LP	LRP	EPP	TP	DGP	ESP	SUPP	Rdt C
<u>Medios cuadrados</u>										
Genotipo	53	1,84**	233,5**	42,02**	12,8**	7743698**	25,3**	0,0446**	182816**	744,5**
Año	2	0,17*	36,8**	116,7**	3,57**	7457232**	27**	0,0049**	185445**	36,7ns
Genotipo × Año	106	0,24**	18,3**	5,85**	3,11**	1119271**	3,8**	0,0045**	26969**	93,4**
Residual	1458	0,03	2,08	0,78	0,38	136745	0,46	0,0005	3263,6	26,9
Repetitividad		0.94	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95

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

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 8.1.

Cuadro 8.7. Análisis de varianza y repetitividad de los caracteres físicos de la cáscara y de los cocientes de las dimensiones del fruto y de la pepita.

Fuente de variación	GL	z PQ	EPQ	R1	R2	R3	R4	R5	R6
<u>Medios cuadrados</u>									
Genotipo	53	18,01**	8,6**	0,12**	0,05**	0,087**	0,101**	0,10**	0,0484**
Año	2	0,95*	14,8**	0,07**	0,04*	0,015ns	0,071*	0,11**	0,0063ns
Genotipo × Año	106	2,11**	1,2**	0,01**	0,01**	0,011ns	0,009**	0,01**	0,0069ns
Residual	1458	0,29	0,14	0,001	0,001	0,0008	0,001	0,002	0,0007
Repetitividad		0.94	0.93	0.92	0.94	0.95	0.95	0.93	0.94

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

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 8.1.

En el caso del rendimiento en pepita, que es una forma de expresar cuantitativamente la dureza de la cáscara, el efecto del año climático no ha resultado significativo (Cuadro 8.6). Ello no coincide con los datos de la bibliografía (Dicenta et al., 1993b; Kester et al., 1977b), que indican su control poligénico

con una gran variación de un año a otro. Sin embargo, Grasselly (1972) señaló que este carácter era monogénico, con el carácter cáscara dura (rendimiento de 15-35%) dominante sobre cáscara blanda (rendimiento de 35-65%). Ambas hipótesis reconocen el control genético de este carácter y que las condiciones climáticas no deberían afectar su expresión de un año a otro, lo que podría justificar nuestros resultados.

Sin embargo, para explicar estas discrepancias se ha considerado que los análisis genéticos y las estimaciones de la transmisión de este carácter se hicieron con genotipos de cáscara blanda en su mayoría (Kester y Gradziel, 1996), mientras que en nuestro caso la mayoría de los genotipos son de cáscara dura, con un rendimiento en pepita del orden de 19-35%, excepto en unos pocos genotipos que presentaron valores superiores a 35%. Ello puede explicar que este carácter no presente una gran variación de un año a otro en este material vegetal, ya que su coeficiente de variación interanual (Cuadro 8.4) resultó inferior al coeficiente de variación entre genotipos (Cuadro 8.3). Además de las condiciones climáticas, la edad del árbol también influye sobre este carácter, ya que es frecuente que las almendras de 'Guara' tengan una cáscara más blanda en sus dos o tres primeros años que en los posteriores (Felipe, 2000).

Varios autores han señalado que no es siempre válido relacionar la dureza de la cáscara con el rendimiento en pepita (Barbera et al., 1988; Cavalletto et al., 1985), aunque la dureza de la cáscara depende de su densidad y, por lo tanto, de su peso (Felipe, 2000). Por ello se ha propuesto utilizar otras técnicas para evaluar este carácter, midiendo la resistencia de la cáscara a la ruptura (Barbera et al., 1988). Los resultados de la utilización de esta técnica permitieron clasificar algunas variedades según la resistencia que ofrece la cáscara a la ruptura (Barbera et al., 1988; Cavalletto et al., 1985) y también sugerir la localización del alelo dominante "cáscara dura" (Ballester, 1998) en el mapa genético del almendro (Joobeur et al., 1998). Este carácter se midió en los frutos de las cosechas de 2003 y 2004 y el análisis de varianza mostró una gran variabilidad entre los genotipos y los años (Cuadro 8.8).

Dada la importancia comercial del tamaño del fruto, y especialmente de la pepita, se debe resaltar que este carácter presenta una gran fluctuación de un año a otro, por lo que es primordial tener en cuenta los factores agronómicos en su evaluación. Este carácter está determinado por las dimensiones del fruto y de la pepita, que se establecen durante la primera fase del desarrollo del fruto en la primavera, cuando tiene lugar la multiplicación celular (Hawker y Buttrose, 1980), completándose en abril o mayo, según las zonas de cultivo. En este momento ya se establece el tamaño del fruto y de la pepita, por lo que luego sólo aumenta el volumen celular por la acumulación de sustancias nutritivas.

Cuadro 8.8. Análisis de varianza de la dureza de la cáscara (resistencia a la rotura).

Fuente de variación	GL	Cuadrados Medios	F-Test
Genotipo	1	0,653	68,62 ***
Año	30	1,163	122,24 ***
Año × Genotipo	30	0,051	5,42 ***
Residual	558	0,009	

***: significativo a $P < 0,0001$.

Cualquier anomalía fisiológica durante este período puede modificar tanto el peso como el tamaño final de la pepita (Hill et al., 1987). Por ello se puede suponer que el tamaño potencial de la pepita es constante a lo largo de los años, pues viene determinado genéticamente, pero su tamaño final está sujeto a la influencia de las condiciones ambientales y las técnicas culturales que determinan sus dimensiones y con ello su peso, ya que la anchura de la pepita es un buen indicador de su peso (Kester y Gradziel, 1996). Por ello los aspectos agronómicos, como el nivel de producción, la densidad de plantación, los cuidados culturales y las condiciones edáficas se deben tener en cuenta en la evaluación del nuevo material vegetal de los programas de mejora en función de su utilización en secano o regadío.

La significación de la interacción Genotipo × Año de todos los caracteres medidos en el fruto y la pepita, salvo en los cocientes R3 y R6, indica que los valores de estos caracteres cambian de magnitud de un año a otro, cambiando de rango los genotipos estudiados, lo que refleja la dificultad de establecer una clasificación clara de los genotipos para estos caracteres. En la bibliografía la clasificación se ha basado en intervalos de valores y no en los valores reales de cada genotipo (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980), por lo que nuestros resultados muestran la necesidad de estudiar detalladamente cada genotipo prometedor, con el fin de evaluar la evolución de los caracteres de mayor interés comercial, como la dureza de la cáscara y el peso de la pepita.

La ausencia de efecto del año en los valores de R3 y R6, que corresponden respectivamente a los cocientes “espesor/anchura” del fruto y de la pepita, muestra que aunque el espesor y la anchura puedan variar, la forma del fruto y de la pepita, definidas por estos cocientes, sí son estables (Arteaga y Socias i Company, 2005) y permiten una clasificación consistente de los genotipos en el almendro.

Sin embargo, a pesar de las variaciones interanuales, en el almendro se han establecido varios criterios de clasificación de las variedades basados en estos caracteres (Gülcan, 1985; Kester y Asay, 1975) al considerar que el efecto del año no los cambia considerablemente. La repetibilidad de los caracteres del fruto y de la pepita ha sido muy alta ($> 0,90$), indicando la posibilidad de utilizar los

valores obtenidos en el primer año como indicadores consistentes de los valores que se podrían obtener en años posteriores, aunque algunos caracteres, como la dureza de la cáscara, se deben evaluar durante varios años.

Debido a la variabilidad de las propiedades físicas del fruto según su posición en el árbol y según el vigor y el tipo de los soportes de la fructificación, se realizó un estudio comparativo entre los frutos procedentes de ramas del año (ramas mixtas o brindillas) y de ramilletes de mayo en 9 selecciones que presentan estos dos tipos de fructificación. El análisis de varianza (Cuadro 8.9) reveló diferencias significativas entre los frutos procedentes de ramilletes de mayo y los de ramos del año en cuanto a los pesos del fruto, de la pepita y de la cáscara, así como al tamaño y el diámetro geométrico del fruto y de la pepita, siendo en todos los casos los valores de los frutos procedentes de ramos mixtos superiores a los procedentes de ramilletes de mayo (Cuadro 8.10).

Estos resultados indican que existe una cierta variabilidad en algunos caracteres físicos del fruto en el mismo árbol, reflejando el efecto del vigor de los soportes de la fructificación y el efecto de la densidad de frutos sobre las características del fruto. Generalmente el número de frutos por ramillete de mayo, que no supera una longitud de 2 cm y un diámetro de 5 mm, es de 4 a 5 e incluso 6. Esta condensación en poco espacio provoca una competición entre los frutos del mismo ramillete para los nutrientes disponibles, causando una disminución en su peso y su tamaño.

Estos resultados indican la necesidad de tener en cuenta la posición de la fructificación en cada variedad para su caracterización e incluso para plantear los cuidados culturales precisos para cada una. Por otro lado, el análisis no mostró diferencias significativas entre los frutos de los dos tipos de procedencia en cuanto al rendimiento en pepita y al índice de esfericidad (Cuadro 8.9), por lo que a pesar de las diferentes dimensiones, tanto del fruto como de la pepita, el rendimiento en pepita y la forma del fruto y de la pepita son una constante independientemente del tipo de fructificación, que no influye en la valorización global de una variedad determinada ni en la uniformidad de su forma, lo que se puede tener en cuenta en el diseño de las máquinas de procesado de las almendras.

La elevada significación de las dimensiones del fruto y de la pepita y de las variables que determinan la forma refleja, al igual que en otras especies como el avellano (Özdemir y Akinci, 2004), la necesidad de tenerlas en cuenta en el momento de plantear el diseño de mecanismos específicos para el manejo de cada variedad en la recolección, el transporte, la separación, el almacenaje, etc.

Cuadro 8.9. Análisis de varianza de algunas características del fruto según el soporte de fructificación.

Fuente de variación	GL	zPF	PN	PQ	Rdc	TF	dgf	ESF	TN	DGP	ESP
Cuadrados medios											
Genotipo	8	35,4**	0,71**	27,1**	4,26**	251322604**	63,8**	2,41*	2082107**	5,6**	0,0164**
Tipo Fructificación	1	4,37**	0,50**	1,89**	16,5ns	91961703**	51,2**	5,02ns	2411925**	7,6**	0,00001ns
G×Tf	8	0,54*	0,05*	0,44*	11,9*	7232763ns	5,5ns	2,19ns	106425ns	0,3ns	0,0003 ns
Residual	179	0,25	0,02	0,17	4,6	4357127	4,6	2,4	81001	0,2	0,00004

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

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 8.1.

Cuadro 8.10. Comparación de medias entre las características del fruto según el soporte de fructificación.

Tipo de fructificación	zPF	PN	PQ	Rdte	TF	dgf	ESF	TN	DGP	ESP
Ramos del año	5,07 a	1,31 a	3,76 a	26,7 a	14568 a	24,7 a	1,03 a	2712 a	13,9 a	0,55 a
Ramilletes de mayo	4,76 b	1,20 b	3,56 b	26,1 a	14039 b	23,7 b	0,82 b	2481 b	13,4 b	0,55 a

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los tipos de fructificación según el test LSD ($p = 0,05$).

z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 8.1.

8.3.2 ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO Y DE LA PEPITA**8.3.2.1 Análisis en componentes principales de los caracteres biométricos**

Para identificar los genotipos más prometedores en cuanto a sus características pomológicas y para realizar una comparación entre los nuevos genotipos y sus parentales, se procedió a un Análisis en Componentes Principales sobre la media de los datos de las cosechas de 2002 y 2003.

La varianza explicada por los tres primeros ejes del PCA ha sido del 81,10% (Cuadro 8.11). Así 21 de las 24 variables pomológicas contribuyen a los tres primeros componentes que explican más del 80% de la variabilidad encontrada en esta población (Cuadro 8.11). Los otros tres caracteres, fuerza de ruptura de la cáscara, peso del tegumento y rendimiento al repelado contribuyen al eje 4, que explica solamente el 5,47% de la variabilidad en esta población, probablemente debido a que estos caracteres no presentan una gran variabilidad entre los genotipos estudiados. En este estudio se han retenido los tres primeros ejes del PCA debido al bajo valor del 4º eje, aunque en las interpretaciones de los resultados se incluyeron los comentarios sobre la disposición de los genitores sobre este eje para describir las características del tegumento y la resistencia de la cáscara a la ruptura.

El peso, la longitud, la anchura, el tamaño, la superficie y el diámetro geométrico del fruto, así como el peso y el espesor de la cáscara son los caracteres que contribuyen a la explicación del eje 1, que

explica el 49,92% de la variabilidad, lo que lo define como un eje de las características del fruto y de la cáscara. Las variables que contribuyen a la explicación del eje 2 son el espesor del fruto, los cocientes “anchura/longitud” del fruto y de la pepita y los índices de esfericidad del fruto y de la pepita, lo que caracteriza a este eje como el de la forma del fruto y de la pepita. El eje 3 se explica por el peso, la anchura, el diámetro geométrico y la superficie de la pepita, el rendimiento en pepita y el rendimiento al repelado (Cuadro 8.11), lo que lo define como un eje de las características de la pepita.

Cuadro 8.11. Varianza explicada por cada eje y contribución de cada variable en la explicación de los tres primeros ejes del ACP.

Componentes principales		Eje1	Eje2	Eje3	Eje4
<u>Variables</u>	<u>Varianza acumulada (%)</u>	49,92	70,06	81,10	86,57
Peso del fruto (g)		0,26	0,11	-0,07	0,01
Peso de la pepita (g)		0,18	-0,04	0,26	0,05
Rendimiento comercial (%)		-0,11	-0,19	0,38	0,01
Longitud del fruto (mm)		0,25	-0,20	-0,08	0,05
Anchura del fruto (mm)		0,25	0,16	-0,11	-0,04
Espesor del fruto (mm)		0,17	0,24	0,06	0,23
Anchura / longitud fruto		-0,06	0,42	0,01	-0,08
Tamaño del fruto (mm ³)		0,27	0,05	-0,05	0,10
Diámetro geométrico del fruto		0,28	0,06	-0,06	0,09
Índice de esfericidad del fruto		-0,07	0,42	0,08	0,05
Superficie del fruto (mm ²)		0,28	0,05	-0,06	0,10
Peso de la cáscara (g)		0,26	0,14	-0,15	0,00
Espesor de la cáscara (mm)		0,26	0,19	-0,21	0,07
Longitud de la pepita (mm)		0,19	-0,25	0,02	0,01
Anchura de la pepita (mm)		0,22	0,16	0,05	-0,17
Espesor pepita (mm)		0,03	0,05	0,55	0,06
Anchura / longitud pepita		-0,04	0,41	0,03	-0,24
Tamaño de la pepita (mm ³)		0,20	-0,05	0,26	-0,09
Diámetro geométrico de la pepita		0,21	-0,04	0,26	-0,09
Índice esfericidad de la pepita		-0,13	0,34	0,19	-0,09
Superficie de la pepita (mm ²)		0,20	-0,05	0,26	-0,09
Fuerza de rotura de la cáscara (kg/mm ²)		0,09	0,03	-0,16	0,54
Peso del tegumento (g)		0,21	-0,08	-0,02	-0,38
Rendimiento al repelado (%)		-0,03	0,11	0,28	0,54

Los resultados del ACP revelaron que las características más variables y que más diferencian los genotipos son las del fruto y de la cáscara, y no tanto los de la pepita. Los caracteres del fruto y de la pepita son considerados como los criterios más distintivos entre los genotipos del almendro, más que las características de la hoja o de los soportes de la fructificación (Lansari et al., 1994). En concreto, Kester (1965a), al estudiar la variabilidad genética de las características del fruto, concluyó que las muestras de almendras de distintas variedades pueden ser descritas por la relación “anchura/longitud”, el grosor y el peso de la pepita, por ser los caracteres más distintivos de la población en cuestión.

La visualización de los genotipos estudiados en un gráfico de tres dimensiones (Fig 8.1), según las coordenadas en cada eje, puede servir como base de discusión de las semejanzas entre los individuos de esta población. Los genotipos de un mismo cruzamiento se encuentran situados en ambos lados de cada eje del PCA, indicando la ausencia de agrupamientos según la procedencia genealógica y que la transmisión de estos caracteres es independiente de los parentales. Estas conclusiones podrían ser arriesgadas, ya que los genotipos estudiados han sufrido una previa selección en la primera etapa del programa y que los parentales fueron elegidos previamente por las buenas características de sus frutos, por su floración tardía o por su autocompatibilidad. Otros estudios del determinismo genético de estos caracteres han revelado que las combinaciones entre los parentales pueden influir en algunos caracteres del fruto como el peso de la semilla o la dureza de la cáscara (Dicenta, 1991).

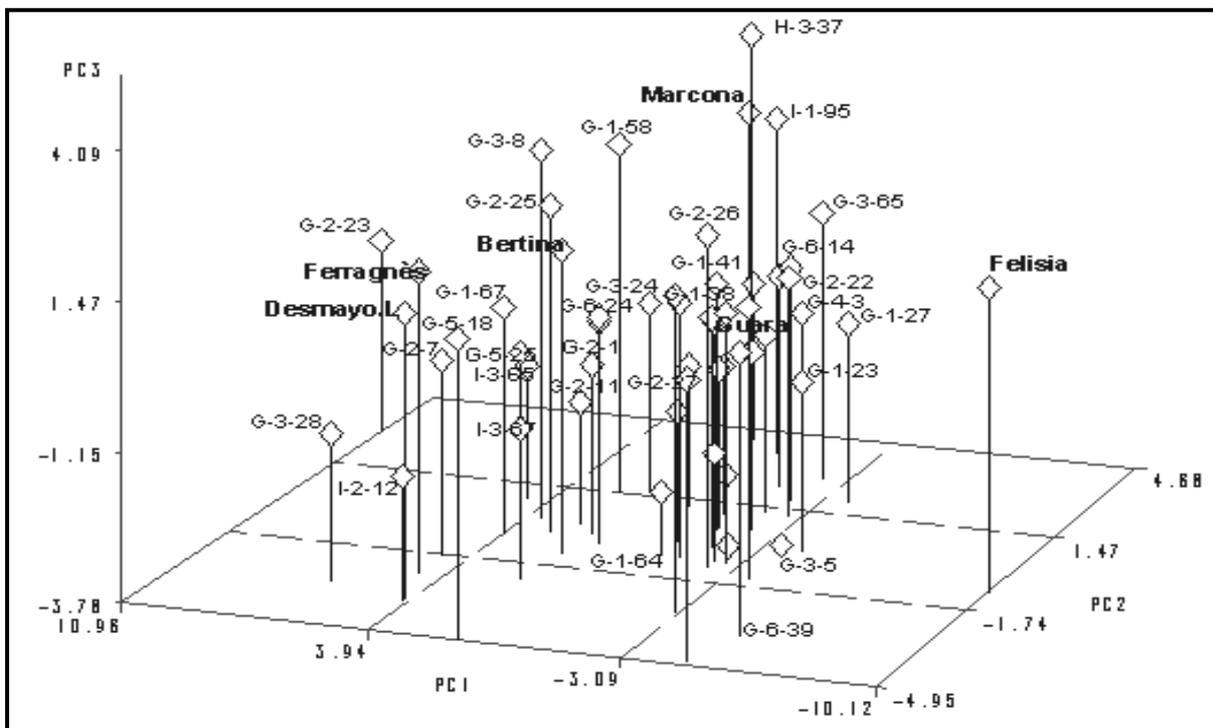


Fig 8.1. Distribución de los distintos genotipos según el valor de los componentes principales de sus características físicas del fruto y de la pepita.

El reparto de los genotipos en los tres ejes del PCA (Fig 8.1) y en el dendrograma (Fig 8.2) ha permitido identificar 4 grupos distintos que presentan caracteres homogéneos y 3 selecciones (G-2-23, G-3-28 y G-2-7) que presentan los valores más altos, en relación no sólo a la población sino también a los parentales, que son variedades comerciales y de alta consideración en el mercado. También se ha encontrado que las selecciones G-2-7 e I-3-65 son las que más se asemejan a 'Ferragnès', la selección I-2-12 a 'Desmayo Largueta' y la H-3-39 a 'Marcona'.

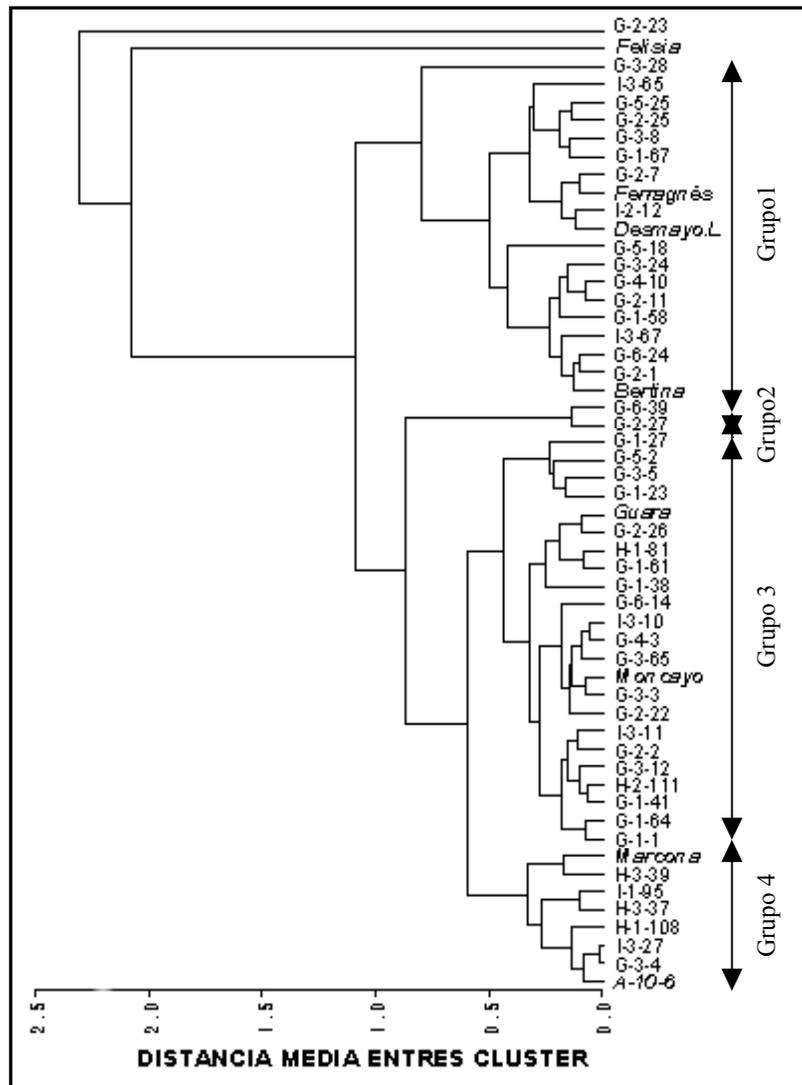


Fig 8.2. Dendrograma de las selecciones y los parentales en función de sus características físicas del fruto y de la pepita.

Grupo 1: Está constituido por 3 variedades, ‘Bertina’, ‘Desmayo Largueta’ y ‘Ferragnès’, y 16 selecciones, con la separación de G-3-28 del resto (Fig 8.2). Este grupo presenta valores altos de peso, longitud, anchura, tamaño, superficie y diámetro geométrico del fruto y de peso y espesor de la cáscara sobre el eje1; valores medios a bajos de espesor del fruto, cociente “anchura/longitud” de fruto y de pepita, índice de esfericidad de fruto y de pepita, con excepción de las selecciones G-3-24 y G-1-58, que presentan valores altos sobre el eje 2. Este grupo se caracteriza por peso, anchura, diámetro geométrico, superficie de la pepita y rendimiento en pepita bajos en comparación con el resto de la población estudiada, con excepción de las variedades ‘Bertina’, ‘Desmayo Largueta’ y ‘Ferragnès’ y las selecciones G-3-8, G-1-58 y G-5-25. También se caracterizan por un tegumento grueso, un rendimiento al repelado bajo y una resistencia a la rotura de mediana a baja, salvo las selecciones G-1-67, G-2-7, G-2-11 e I-3-65.

Grupo 2: Formado por las selecciones G-2-27 y G-6-39 (Fig 8.2), que se encuentran situadas en la parte distal negativa de los ejes 1 y 2 (Fig 8.1). Se caracterizan, en comparación con el resto de los genotipos estudiados, por valores muy bajos de peso, longitud, anchura, espesor, tamaño, superficie y diámetro geométrico del fruto, peso y espesor de la cáscara, cociente “anchura/longitud” de fruto y pepita e índice de esfericidad de fruto y pepita. Se caracterizan por valores de medios a altos de peso, anchura, diámetro geométrico y superficie de la pepita y rendimiento en pepita sobre el eje 3. La cáscara de la selección G-6-39 se caracteriza por una fuerte resistencia a la rotura y por un rendimiento al repelado alto, con un peso del tegumento bajo, todo lo contrario que la selección G-2-27.

Grupo 3: Constituido por las variedades ‘Guara’ y ‘Moncayo’ y 21 selecciones (Fig 8.1), que se caracterizan por valores de medios a bajos de peso, longitud, anchura, tamaño, superficie y diámetro geométrico del fruto y de peso y espesor de la cáscara sobre el eje 1. Sobre el eje 2 estos genotipos presentan valores medios del espesor del fruto, el cociente “anchura/longitud” e índice de esfericidad de fruto y pepita, salvo G-6-14, G-4-3 y G-1-27 que presentan valores altos de estos caracteres, mientras que G-1-38 presenta los valores más bajos del grupo 3 entre los caracteres que contribuyen en la explicación del eje 2. Las selecciones de este grupo muestran una resistencia mediana a la rotura de su cáscara y un rendimiento al repelado y un peso del tegumento medio. Sin embargo, las variedades ‘Guara’ y ‘Moncayo’ presentan una fuerte resistencia a la rotura de su cáscara, un alto rendimiento al repelado y un peso del tegumento bajo, todo lo contrario que G-1-38 y G-1-64.

Grupo 4: Formado por la variedad ‘Marcona’ y las selecciones H-3-39, I-1-95, H-3-37, H-1-108, I-3-27, G-3-4 y A-10-6 (Fig 8.2), que se caracterizan por valores medios de peso, longitud, anchura, tamaño, superficie y diámetro geométrico del fruto y peso y espesor de la cáscara sobre el eje 1, a excepción de la variedad ‘Marcona’, que presenta valores bastante altos. Sobre el eje 2, los genotipos de este grupo se caracterizan por unos valores muy altos de espesor del fruto, cociente “anchura/longitud” de fruto y pepita e índice de esfericidad de fruto y pepita. Sobre el eje 3, los genotipos de este grupo se encuentran posicionados tanto sobre la parte negativa como sobre la positiva (Fig 8.1), siendo las selecciones I-1-95 y H-3-37 y la variedad ‘Marcona’ las que presentan los valores más altos de peso, anchura, diámetro geométrico y superficie de la pepita y el rendimiento en pepita, mientras que H-1-108 presenta los valores más bajos y el resto de selecciones valores medios sobre el eje 3. La cáscara de H-3-39 muestra una fuerte resistencia a la rotura y un alto rendimiento al repelado, mientras que las selecciones G-3-4, H-3-37 y la variedad ‘Marcona’ presentan valores de medios a altos.

8.3.2.2 ANÁLISIS FACTORIAL DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES DE CARACTERES CUALITATIVOS

La aplicación de este tipo de análisis se suele realizar para estudiar la variabilidad de los caracteres cualitativos (cualitativos) dentro de una población determinada. En este estudio se aplicó este método para determinar las similitudes entre los frutos y las pepitas de las selecciones estudiadas entre sí y entre éstas y sus parentales, ya que estos genotipos se habían sometido a una previa selección basada en gran parte en los caracteres del fruto (buen aspecto, tamaño, sabor).

El porcentaje de la varianza explicada por cada eje se presenta en el Cuadro 8.12. El primer eje del AFC explica el 20,9% de la varianza total, mientras que los siguientes ejes disminuyen de forma progresiva a partir del 10,02%, lo que indica que este primer eje se separa claramente del resto.

Cuadro 8.12. Porcentaje de la inercia total explicada por cada eje.

Eje	% de la varianza total	Histograma de valores propios
1	20.9	
2	10.02	
3	7.38	
4	6.78	

De la contribución absoluta de cada variable en los tres primeros ejes (en porcentaje de la inercia total de la nube) ha permitido jerarquizar los caracteres responsables de la formación de cada eje (Cuadro 8.13). Los caracteres que más contribuyen en la formación de los primeros ejes y que permiten caracterizar y establecer las semejanzas entre los genotipos estudiados son: forma de la pepita, color del tegumento, puntuación del endocarpio, consistencia del endocarpio, presencia de capas dobles en la cáscara y superficie del tegumento.

La representación gráfica de la proyección de las coordenadas de los caracteres estudiados en los planos 1-2 y 1-3 (los ejes más significativos del análisis del AFC) se presentan en las figuras 8.3 y 8.5, y las de los distintos genotipos se presentan en las figuras 8.4 y 8.6.

En primer lugar destaca la separación del resto de los genotipos de la selección G-3-28, que se distingue por su tegumento muy rugoso. Así mismo, destacan las grandes semejanzas entre los genotipos G-2-2, G-2-25, G-3-3 y G-3-4, que se caracterizan por sus frutos y pepitas de forma acorazonada, con un mucrón del endocarpio muy pronunciado y por el color amarillo del tegumento.

Cuadro 8.13. Contribución de las variables en la formación de los tres primeros ejes (%).

Variables	Eje 1	Eje2	Eje3
FPL ^z	2,96	8,04	2,80
FPA	2,01	3,43	0,01
FPE	20,01	1,99	4,84
FPAc	2,49	2,01	1,84
FPR	6,97	10,56	4,92
Forma de pepita	34,45	26,06	14,43
CTA ^z	0,73	2,61	0,82
CTMC	7,96	0,19	2,60
CTMR	16,30	0,80	9,09
CTMO	7,83	1,07	1,26
Color del tegumento	32,84	4,68	13,78
PEE ^z	27,38	1,57	5,95
PEM	1,37	3,06	3,68
PEA	2,26	0,68	1,79
Puntuación del endocarpio	31,02	5,32	11,44
CEB ^z	1,59	0,43	0,59
CEM	18,88	1,89	3,46
CEA	8,42	7,66	2,15
Consistencia del endocarpio	28,90	9,99	6,21
MEI ^z	7,97	1,40	2,26
MES	10,82	6,05	12,75
MEMP	4,13	4,02	0,04
Forma del mucrón del endocarpio	22,93	11,48	15,07
Capas dobles de la cáscara	18,96	3,76	0,66
STL ^z	5,62	0,42	24,52
STDR	4,42	7,86	0,27
STMR	2,17	1,19	0,45
STFR	5,32	7,09	7,33
Superficie del tegumento	17,54	16,57	32,60
QEI ^z	1,12	3,97	16,32
QEPI	2,49	0,22	0,24
QEM	8,25	0,64	2,65
QEA	4,77	2,11	1,62
Quilla del endocarpio	16,64	6,96	20,85
FEL ^z	2,19	6,08	4,17
FEA	0,33	2,72	1,28
FEE	0,92	0,42	0,19
FEAc	3,55	1,81	3,35
FER	7,37	7,11	1,86
Forma del fruto	14,38	18,165906	10,86
SPeLA ^z	0,79	24,54	5,72
SPeD	0,36	0,19	0,53
SPeS	5,59	4,24	0,31
SPeAg	6,15	0,22	1,07
SPeMS	3,17	14,50	0,53
Sabor de la pepita	16,07	43,71	8,17
SEL ^z	1,78	1,37	0,17
SER	7,60	2,99	2,25
SEA	4,30	4,57	4,67
Superficie del endocarpio	13,69	8,94	7,11
GEF ^z	2,11	2,35	0,56
GEM	2,69	4,18	0,01
GEG	5,37	4,06	0,63
Grosor del endocarpio	10,18	10,59	1,21

Cuadro 8.13. Continuidad

Variables	Eje 1	Eje2	Eje3
TPG ^z	1,78	1,14	0,66
TPM	6,06	0,87	1,86
TPP	1,74	0,83	1,95
Tamaño de la pepita	9,59	2,86	4,47
Sección transversal de la pepita	3,42	0,98	0,09
Presencia de surcos pepita	2,10	0,18	4,65
Presencia del mucrón pepita	1,56	1,77	1,02
Sección transversal fruto	1,07	5,15	1,75
Tamaño puntuación pepita	0,39	6,49	8,98

^z Las abreviaturas correspondientes se presentan en el cuadro 8.2.

Al estudiar las semejanzas entre las selecciones y las variedades se encontró que las selecciones I-3-67 y G-6-39 y la variedad 'Desmayo Langueta' se caracterizan por la forma amigdaloides de frutos y pepitas. Las selecciones G-2-1, G-2-27, H-3-37 y la variedad 'Felisia' se caracterizan por frutos de tamaño medio, con un mucrón saliente, cáscara rugosa y de grosor fino, y pepitas pequeñas y de forma acorazonada a excepción de la selección H-3-37 que es de pepita redonda.

Así mismo destacó el sabor dulce de la pepita de las selecciones G-1-61 y H-1-81 y de la variedad 'Moncayo'. Por otra parte destaca que las selecciones G-4-3, H-3-37 y H-3-39 presentan la misma forma de fruto que la variedad 'Marcona', pero no la de la pepita, salvo la selección H-3-37. La selección G-1-27 presenta pepitas redondas como las de la variedad 'Marcona', pero no la del fruto.

También se han podido identificar algunos genotipos que presentan una capa doble del endocarpio, como las selecciones G-1-41, G-1-61, G-1-67, G-2-22, G-6-24, G-4-10, I-3-10 e I-3-65, a pesar de la consistencia de su cáscara. Este carácter es indeseable por los daños que pueden ocasionarse a la pepita al descascarar mecánicamente los frutos, ya que con este tipo de frutos es necesario rehacer esta operación dos o tres veces en función de las características de la cáscara de cada variedad.

El tegumento es un elemento a considerar en la evaluación de la calidad, especialmente en la elección por el productor de almendras con piel. El tegumento debe ser liso, sin surcos y de color atractivo, generalmente claro. En este estudio se han podido identificar 13 selecciones (G-1-23, G-1-58, G-1-64, G-2-11, G-2-22, G-2-26, G-3-24, G-3-4, G-5-18, H-2-22, I-1-95, I-2-12 e I-3-10) que presentan pepitas muy atractivas, sin surcos, con tegumento liso o/y ligeramente rugoso y de color claro.

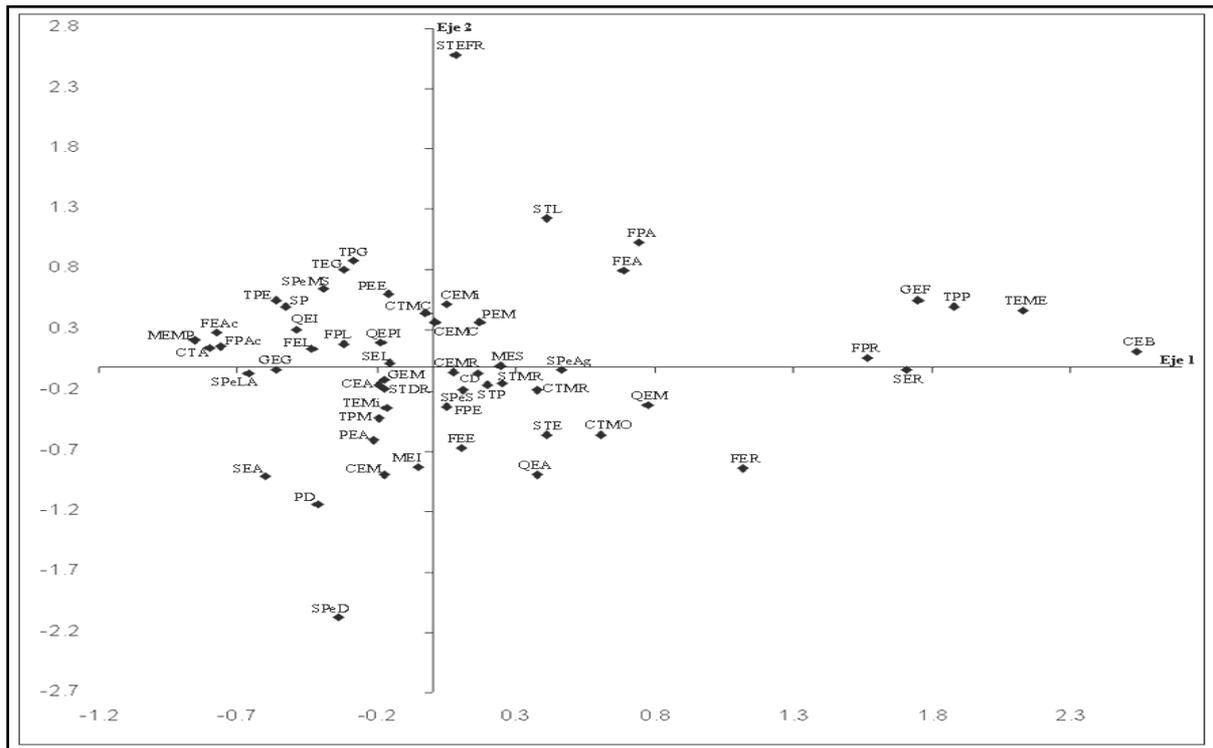


Fig 8.3. Variables ponderadas del fruto y de la pepita en el plano 1-2 del análisis factorial de correspondencias (AFCM).

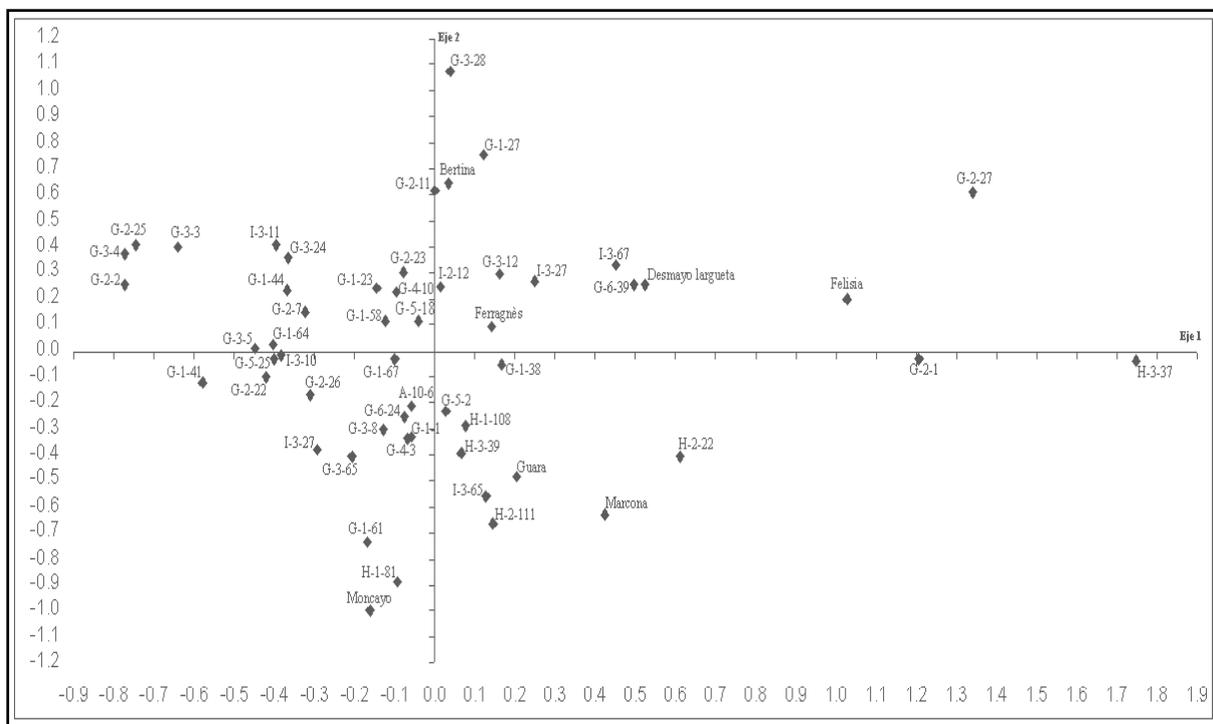


Fig 8.4. Genotipos en el plano de los ejes 1-2 del AFC.

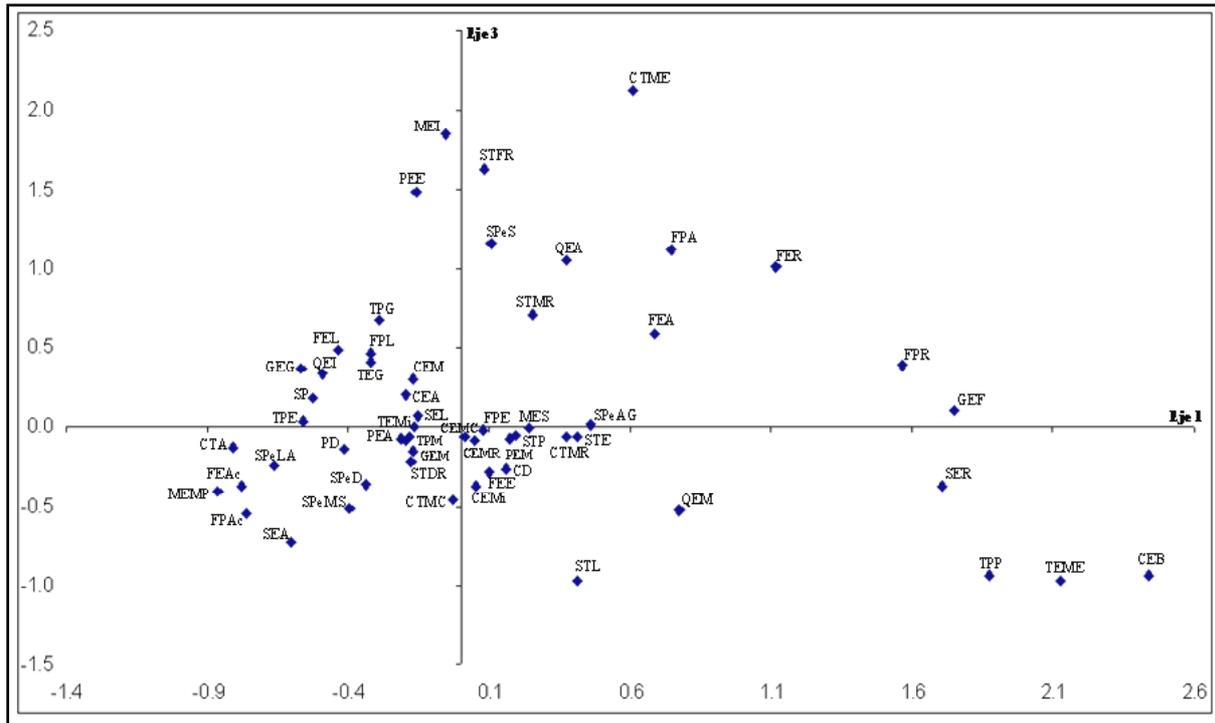


Fig 8.5. Variables ponderadas del fruto y de la pepita en el plano de los ejes 1-3 del AFC.

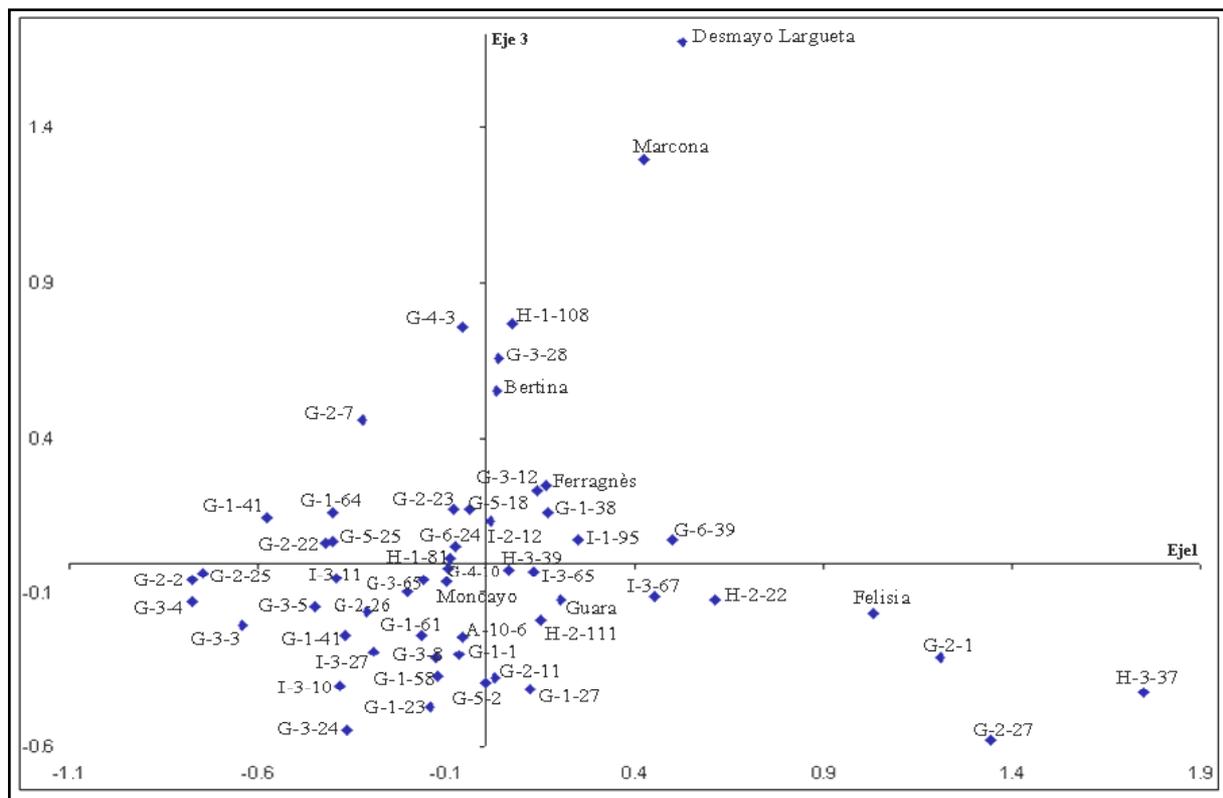


Fig 8.6. Genotipos en el plano de los ejes 1-3 del AFC.

8.4 CONCLUSIÓN

Estos resultados han confirmado la elevada variabilidad genotípica y ambiental de los caracteres biométricos del fruto y de la pepita del almendro. La variación interanual de algunos caracteres, como el peso de la pepita y la dureza de la cáscara, a pesar de su alto índice de repetibilidad, recalca el interés de los cuidados culturales y el tipo de cultivo (regadío o seco) en su expresión. Las selecciones G-1-1, G-1-23, G-1-27, G-1-61, G-3-4, G-4-3, G-5-18, G-6-14 y G-6-39 presentaron una cierta estabilidad interanual de los caracteres estudiados, como el peso de la pepita, la dureza de la cáscara y el rendimiento en pepita, lo que indica una posible flexibilidad y una buena aptitud a adaptarse a distintas condiciones climáticas, ya que a lo largo de este estudio tuvieron lugar condiciones climáticas extremas (sequía, altas temperaturas, etc.).

Además de la variabilidad entre genotipos y entre años, se ha observado también una cierta variabilidad de los caracteres del fruto y de la pepita en el mismo árbol dependiendo del tipo de soporte de la fructificación. No obstante, la ausencia de diferencias significativas del índice de esfericidad entre los dos tipos de ramificación indica que el soporte de la fructificación no influye en la uniformidad de las almendras y, por lo tanto, en su valorización global, ni tampoco en el diseño de la maquinaria.

El análisis en componentes principales ha permitido identificar algunas selecciones con grandes potencialidades de producir frutos de elevada calidad, similar o mejor que la de sus parentales. Las selecciones G-2-7, G-2-23, G-2-25, G-3-28, G-5-25, G-6-24, I-2-12, I-3-65 e I-3-67 producen frutos y pepitas de gran calibre, de aspecto atractivo y de sabor agradable. También se caracterizan por una cáscara muy dura que permite reducir las pérdidas de su calidad a lo largo del almacenaje y un rendimiento en pepita de medio a bajo. Las selecciones G-1-27, G-1-38, G-2-26, G-2-27, G-3-5 y G-6-39 presentan frutos de tamaño de medio a bajo con un elevado rendimiento en pepita comparable al de la variedad 'Felisia'.

Desde el punto de vista de la mejora, es imprescindible considerar las características de los parentales a elegir en función de los objetivos a alcanzar. En España las características de las pepitas de las variedades 'Marcona' y 'Desmayo Largueta' son objetivos preferentes tanto por el sector comercial como el industrial, ya que los consumidores prefieren este tipo de almendras. En este estudio se encontraron grandes semejanzas en cuanto a las características biométricas entre algunos genotipos y estas variedades, como la selección I-2-12 con 'Desmayo Largueta', o las selecciones G-3-4, H-3-37, H-3-39, I-1-95 e I-3-27 con 'Marcona'.

Los Análisis Factoriales de Correspondencia han revelado que los caracteres cualitativos que permiten distinguir e identificar los genotipos que se asemejan a las variedades comerciales, sobre todo a 'Marcona' y 'Desmayo Largueta', son la forma de la pepita, el color del tegumento, la puntuación y la consistencia del endocarpio, la presencia de capas dobles en la cáscara y la superficie del tegumento.

A la luz de estos resultados se puede concluir que los caracteres distintivos que se deben tener muy en cuenta en el momento de caracterizar pomológicamente las nuevas obtenciones son:

- **Caracteres biométricos:**
 - El peso, la longitud, la anchura, el tamaño, la superficie y el diámetro geométrico del fruto.
 - El peso de la pepita.
 - El peso y el espesor de la cáscara.

- **Caracteres cualitativos**
 - La forma de la pepita.
 - El color y la superficie del tegumento.
 - La puntuación y la consistencia del endocarpio.
 - La presencia de capas dobles de la cáscara.

Finalmente se han podido identificar 13 selecciones (G-1-23, G-1-58, G-1-64, G-2-11, G-2-22, G-2-26, G-3-24, G-3-4, G-5-18, H-2-22, I-1-95, I-2-12 e I-3-10) que presentan pepitas muy atractivas, sin surcos, con tegumento liso o/y ligeramente rugoso y de color claro. Así mismo algunos genotipos presentan las mismas características que las variedades 'Marcona' y 'Desmayo Largueta', de alta valoración en el mercado español.

Capitulo 9. La composición química de la pepita

9. LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PEPITA

9.1 INTRODUCCIÓN

La mayoría de los programas de mejora del almendro han limitado sus criterios de selección a las características agronómicas de la planta (floración tardía, autocompatibilidad...) y a las físicas (tamaño, peso..) y sensoriales (sabor) de la pepita (Dicenta et al., 2000; Kester y Gradziel, 1996; Socias i Company et al., 1998), sin prestar mucha atención a las características químicas de la pepita. Sólo unos pocos estudios que han mostrado que algunos componentes químicos de la pepita presentan una gran variabilidad y dependen del genotipo (Abdallah et al., 1998; Romojaro et al., 1988) y de otros factores como el ambiente (Abdallah et al., 1998).

En algunos frutales de consumo en fresco, como el albaricoquero (Gurrieri et al., 2001), el melocotonero (Wu et al., 2003), el olivo (Léon et al., 2004), el manzano (Janick et al., 1996) y el peral (Fischer y Mildenberger, 2002), los programas de mejora ya han dirigido sus esfuerzos de mejora hacia la creación de nuevas variedades con mayor calidad de fruto, resaltando el papel de los componentes químicos en el grado de aceptación comercial del producto y en la determinación de su uso.

Debido al aumento de las exigencias de la industria, del comercio y del consumidor en cuanto a la calidad de la almendra y de sus productos, así como a los problemas de producción que presentan las variedades tradicionales españolas, como 'Marcona' y 'Desmayo Largueta' (Socias i Company y Felipe, 2001), que constituyen la principal materia prima de la industria española de la almendra (Romero et al., 2002), los programas de mejora han empezado a introducir la calidad, en todos sus aspectos, como objetivo en un programa de mejora genética (Socias i Company et al., 1998).

La pepita es un producto de elevado valor nutritivo que se puede consumir de varias formas, tanto directamente como transformada en diversos productos, así como incorporada a otros alimentos o para extraer su aceite, utilizado en las industrias farmacéutica y cosmética (Felipe, 2000; Schirra, 1997). La mejor utilización de cada variedad depende de la composición de su pepita (Berger, 1969), por lo que el concepto de calidad en el almendro está supeditado a cada uno de los posibles destinos de la producción. El valor nutritivo de la almendra deriva principalmente de su elevado contenido en lípidos, que constituyen una fuente de calorías que no contribuyen a la formación de colesterol en el cuerpo, debido a su elevado nivel de ácidos grasos insaturados (Kafkas et al., 1995; Saura Caltixto et al., 1981), especialmente de los ácidos grasos mono-insaturados (Sabate y Hook, 1996).

La almendra también contiene una proporción elevada de proteínas, que constituyen más del 20% del contenido de la pepita (Souty et al., 1971), así como sales minerales, con el predominio del potasio y el fósforo (Saura Calixto y Cañellas, 1982). También contiene una elevada cantidad del α -tocoferol o vitamina E (Zacheo et al., 2000). Varios estudios han asociado esta vitamina a la disminución de los riesgos de cáncer y de enfermedades cardiovasculares (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996).

La composición química es también de importancia capital para la determinación de la estabilidad de la calidad y de la resistencia a la oxidación y al deterioro del sabor de la pepita. Este enfoque va desde la recolección hasta la utilización, teniendo en cuenta que el mayor reto del sector industrial es conseguir almendras que conserven sus cualidades durante largos períodos de almacenaje (Pearce y Abdel Samad, 1980).

En la almendra, la oxidación de la pepita produce un sabor rancio (Harris et al., 1972) como consecuencia de la reacción de los ácidos grasos poli-insaturados con el oxígeno. La degradación de los ácidos grasos a peróxidos genera la producción de varios compuestos, con algunos que afectan a la calidad nutricional de la pepita (Sung y Jeng, 1994). La oxidación del aceite se ve afectada por varios factores, como el porcentaje de ácidos grasos insaturados, la luz, los iones metálicos, el oxígeno, la temperatura y las enzimas (Gou et al., 2000; Zacheo et al., 2000). Para evaluar esta estabilidad, se han propuesto varios índices por determinaciones químicas, térmicas, espectroscópicas y cromatográficas (Berenguer-Navarro et al., 2002).

En este capítulo se estudia la variabilidad de la composición química de la pepita una vez repelada y su estabilidad interanual, con el fin de identificar los genotipos que presenten las mejores características de la pepita y verificar la posibilidad de considerar las características químicas de la pepita como nuevos criterios de selección en un programa de mejora.

9.2 MATERIALES Y METODOS

9.2.1 PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Este estudio se llevó a cabo entre los años 2002 y 2004. Se muestrearon al azar 50 frutos maduros alrededor de la zona media de la copa de cada genotipo. El fruto se consideró maduro cuando el mesocarpio estaba seco y se separaba totalmente del endocarpio (Felipe, 2000). Una muestra de 20 pepitas se escaldó con agua caliente (100°C) durante 5 minutos, se eliminó el tegumento y luego se

dejo secar a temperatura ambiente. Una vez secas las muestras, se trituraron hasta obtener una harina fina y se conservaron en la oscuridad a una temperatura de 4°C.

En el cuadro 9.1, se presentan los componentes químicos de la pepita considerados en este trabajo.

Cuadro 9.1. Componentes medidos en las pepitas y sus abreviaturas.

Componentes	abreviaturas
Nitrógeno total (%)	N
Proteína total (%)	Pro
Aceite (%)	-
% Aceite / % Proteína	R1
Ácido palmítico (%)	C:160
Ácido palmitoleico (%)	C:161
Ácido esteárico (%)	C:180
Ácido oleico (%)	C:181
Ácido linoleico (%)	C:182
% Oleico / % Linoleico	R2
% ácidos saturados/% ácidos insaturados	R3
Fibra bruta (%)	Fib
Ceniza (%)	Cen
Potasio	K
Calcio	Ca
Magnesio	Mg
Tocoferol total	TT
Alfa tocoferol (mg/kg aciete)	α-T
Gamma tocoferol (mg/kg aciete)	γ- T
Delta tocoferol (mg/kg aciete)	δ- T

9.2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS

9.2.3.1 CONTENIDO EN ACEITE Y ÁCIDOS GRASOS

La grasa se extrajo en un extractor Soxhlet de 6 unidades usando éter de petróleo de 40-60° como extractante. Se pesaron $3 \pm 0,0001$ g de cada muestra en cartuchos de celulosa tapados con algodón hidrófilo. Se añadió el éter de petróleo (40ml) y se colocaron los cartuchos en el cuerpo del aparato para proceder a la extracción de la fracción lipídica de las muestras. La extracción se realizó en dos fases: en la primera se sumergió la muestra en la solución extractante a ebullición durante 60 minutos; y en la segunda la extracción se generó por reflujo de los vapores del éter de petróleo durante 90 minutos, a una temperatura de 110°C. Tras la extracción se recuperó el éter. El aceite extraído se recuperó después de eliminar los restos del éter presente en el extracto graso. Los lípidos extraídos se almacenaron en frascos opacos con tapón a 4°C. Los resultados se han presentado como porcentaje del peso de grasa en relación al de muestra fresca. Las medidas se hicieron por triplicado.

Preparación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos

La ésterificación de los ácidos grasos se realizó siguiendo los Métodos Oficiales de Análisis (EEC, 1991), con algunas modificaciones (Alava et al., 1999). Los ésteres metílicos de las diferentes muestras (20-30 mg de aceite disueltos en hexano), en presencia de ácido heptadecanoico (C17:0, Sigma-Aldrich, Madrid, España) utilizado como patrón interno (10 mg/ml disuelto en tolueno), se realizaron utilizando una disolución recién preparada de ácido sulfúrico al 5% en volumen en metanol absoluto. Tras añadir 2 ml de la mezcla de metilación a cada muestra, ésta se incubó a 80°C durante 30 minutos en atmósfera de nitrógeno. Una vez a temperatura ambiente, se les añadió 3 ml de n-hexano, se agitaron enérgicamente durante 2 minutos y se centrifugaron a 1000 rpm durante 5 minutos (Jouan CR312). Se recuperó la fase superior de la solución (fase orgánica) y se repitió la extracción con otros 3 ml de hexano. Las trazas de agua en las muestras se eliminaron con sulfato sódico anhidro. Finalmente, las muestras se evaporaron hasta sequedad en corriente de nitrógeno y en campana extractora. Los ésteres metílicos obtenidos se guardaron a -20°C y en oscuridad hasta su posterior análisis.

Cromatografía de gases

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos se analizaron en un cromatógrafo gas-líquido Shimadzu GC-14a, equipado con un detector F.I.D. y una columna empaquetada de 2 m de longitud y 3,2 mm (1/8 de pulgada) de diámetro interno, rellena de SP 2330 (Supelco, USA) al 10% sobre Chromosorb W AW 100/200 como soporte. Se utilizó helio como gas portador (flujo 2 ml/minuto) y la temperatura de la columna se mantuvo a 185°C, la del inyector a 230 °C y la del detector a 295°C. La integración de los picos se realizó automáticamente con el software Ezchrom, compatible con el cromatógrafo Shimadzu GC-14a.

La cuantificación de los diversos picos obtenidos en el cromatograma se realizó comparando las áreas de los mismos con respecto al área del pico correspondiente al éster metílico del ácido heptadecanoico (17:0), que se utilizó como estándar interno. Los ésteres metílicos de los diferentes ácidos grasos se identificaron comparando los tiempos de retención cromatográficos referidos al éster metílico del ácido oleico (18:1), con patrones comerciales de ésteres metílicos de los diversos ácidos grasos: palmítico (C16:0), palmitoleico (C16:1), esteárico (C18:0), oleico (C18:1) y linoleico (C18:2) (Sigma-Aldrich S.A., Madrid). Los resultados se expresaron en porcentaje de cada ácido graso respecto al total de los ácidos grasos de cada muestra. Las determinaciones se hicieron por duplicado.

9.2.3.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN TOCOFEROL

Muestras de 0,25-0,30 g de aceite de almendra se saponificaron de acuerdo con una modificación del método oficial (DOCE L174/39, 13.7.2000) mediante la agitación de la muestra a 60°C durante 45 min con 20 ml de una solución 2M de KOH en etanol y 5 ml de una solución 0,1M de ácido ascórbico, utilizando un incubador 1000/Promasx 1200m (Heidolph, Kelheim, Alemania). La solución obtenida se filtró y se le añadieron 10 ml de NaCl saturado, y posteriormente se agitó vigorosamente durante 1 min para emulsionar con 10 ml de n-hexano con BHT (5 mg/l) y 100 µl del acetato de tocoferol (100 ppm), utilizado como patrón interno.

Una vez separadas perfectamente las dos fases, la fase orgánica, que contiene los tocoferoles, se recogió y se filtró con sulfato sódico anhidro (Na₂SO₄). La fase acuosa se reextrajo con 5 ml de n-hexano, y este nuevo extracto se combinó con el primero. Toda la solución resultante se evaporó en un Buchi rotovapor R-114 (Brinkmann Instruments, Westbury, NY, USA) a 50°C para eliminar el n-hexano por completo. El residuo se disolvió en 1 ml de metanol y se filtró en una membrana de nylon de 0,45 µm (Phenomenex, CA, USA). Este extracto final se guardó a una temperatura de 2-4°C en la oscuridad hasta el análisis. La determinación de los homólogos de tocoferol se realizó con un sistema de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC Waters Multisolvant) equipado con una bomba a pistón duplicada y un controlador Waters 600 E (Waters, Milford, USA). La detección de los tres homólogos de tocoferol se hizo mediante un detector PDA (photodiode array detector) (Waters 996) y un detector a fluorescencia (Waters 474).

Para el análisis se inyectaron 10 µl de muestra en el cromatógrafo. Se utilizó una columna Luna 3µ C8 (2) de 150 × 2,00 mm (Phenomenex) mantenida a 40°C, mientras que la fase móvil consistía en una mezcla de acetonitrilo:agua (95:5) a 40°C y un flujo de 0,4 ml/min. Las medidas de detección de los tocoferoles se realizaron a una longitud de onda de excitación de 295 nm y de 208 nm para el acetato de tocoferol (patrón interno). La identificación de los tocoferoles en las muestras de aceite se realizó comparando los picos de estos últimos con los de los tocoferoles estándares. Los resultados se han expresado en mg/kg de aceite.

9.2.3.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN NITRÓGENO PROTEICO

El contenido en proteína total se determinó aplicando el método de Dumas que consiste en la determinación de la proporción del nitrógeno total, que se multiplica por un coeficiente específico,

aplicando la siguiente formula: % Proteína = $Kc \times \% \text{ Nitrógeno}$ ($Kc=6,25$). Para ello se pesaron $0,2-0,25g \pm 0,0001$ de muestra en una cápsula metálica que se introdujo en el cuerpo de un aparato de análisis del tipo LECO FP-528 Protein/Nitrogen Analyser. La lectura de los resultados se realizó en un software CPU-CAR-02 para Windows, instalado en un ordenador conectado al aparato de análisis.

9.2.3.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN FIBRA BRUTA

El análisis se efectuó con muestras desengrasadas de acuerdo con los métodos de AOAC (1965). La fibra bruta se determinó por gravimetría según el método de Wendee que tiene como objetivo determinar el porcentaje de las sustancias orgánicas insolubles en un medio ácido o alcalino. Se pesaron $1g \pm 0.0001$ de muestra en un saco filtrado. Antes de empezar los análisis, se trataron las muestras con acetona durante 24 horas para desengrasar completamente las muestras. Las muestras se sometieron a una digestión en medio ácido (ácido sulfúrico) y alcalino (hidróxido de sodio) durante 30 minutos cada uno a una temperatura de 100°C en un extractor Ankom²²⁰ Fiber Analyser. Tras cada tratamiento se procedió al lavado de las muestras con agua destilada (3 veces). Una vez acabado el proceso de digestión, se procedió al secado de las muestras a 95°C durante 24 horas. El valor de fibra bruta se expresó como porcentaje de pérdida de peso y se calculó según la formula:

$$\% \text{ fibra bruta} = (P2 - C) * 100 / P1$$

Siendo :

P1: Peso de la muestra antes del tratamiento.

P2: Peso de la muestra secada en estufa.

C: Coeficiente de corrección (peso de testigo seco).

9.2.3.4 CONTENIDO EN CENIZAS Y MACRO-ELEMENTOS MINERALES (CA, K, MG)

El contenido en ceniza de cada muestra se determinó por calcinación en un horno mufla mediante un aumento lineal de la temperatura durante 2 horas hasta alcanzar $500^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, temperatura que se mantuvo durante 6-8 horas. El contenido en ceniza se expresó como porcentaje de peso seco en relación al peso de la muestra.

La determinación de los macro-elementos minerales (Ca, K, Mg) se realizó según los métodos oficiales de análisis (MOA, 1994). Una vez obtenidas las cenizas se redisuelven los elementos minerales por tratamiento del residuo con una mezcla de HCl: HNO₃ en la proporción 5:1 (v:v). El calcio, el potasio y el magnesio se determinaron por absorción atómica en un espectrofotómetro de absorción atómica de Perkin-Elmer. Este método permite la determinación de elementos a través de la

luz de una determinada longitud de onda que es retenida al atravesar una llama en la que se atomiza un elemento en concreto. Para la determinación de Ca, K y Mg se atomizó la sustancia correspondiente a cada muestra en llama de acetileno como combustible y el aire como gas portante (oxidante). La absorción espectral de estos elementos se midió a una longitud de onda de 766,5 nm y las lecturas obtenidas se compararon con las de la curva de patrón de cada elemento a distintas concentraciones. Los patrones utilizados en este estudio son distribuidos por Sigma-Aldrich, S.A., Madrid.

9.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.4.1 VARIABILIDAD DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS ESTUDIADOS

En este apartado se presentan los resultados de las cosechas de los años 2002 y 2003 para todos los componentes químicos considerados en este estudio (Cuadro 9.2 y 9.3), con excepción del contenido en tocoferoles, para el cual se presentan los resultados de las cosechas de 2003 y 2004 (Cuadro 9.7).

9.4.1.1 Contenido en aceite

El aceite es el mayor componente químico de la pepita, con una media interanual del 57,73% de la materia seca y un coeficiente de variación de 1,81%, seguido por el contenido en proteína, que presenta un contenido medio del 20,95% de la materia seca. El contenido en aceite varía entre 40,6% y 67,5% de la materia seca, en el conjunto de la población estudiada, con un coeficiente de variación que no supera el 3%, lo que refleja la gran similitud en el contenido en aceite de estos genotipos. Estos resultados coinciden con los de otras variedades europeas de almendro (Aslantaş et al., 2001; Barbera et al., 1994; Romojaro et al., 1977; Saura Calixto et al., 1988; Souty et al., 1971). Sin embargo, en las variedades californianas el contenido es menor, con un rango entre 36% y 53% (Abdallah et al., 1998). Ello indica el papel importante de la procedencia en este carácter (Abdallah et al., 1998; Barbera et al., 1994), con las variedades de origen europeo con un contenido mayor en aceite que las californianas.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los genotipos, pero no entre los dos años de estudio (Cuadro 9.4), por lo que el factor más determinante de este carácter es genético, como ya se ha mencionado (Romojaro et al., 1988; Saura Calixto et al., 1981). Sin embargo, otros autores han encontrado variaciones anuales en el contenido en materia grasa (Abdallah et al., 1998; Barbera et al., 1994; Kafkas et al., 1995), probablemente debido a las diferentes condiciones climáticas del año.

Cuadro 9.2. Composición química de la pepita (aceite, proteína, ácidos grasos, fibra, ceniza y elementos minerales) en el año 2002.

Selección	Aceite	^z PRO	R1	C:160	C:161	C:180	C:181	C:182	R2	R3	Fib	Cen	K	Ca	Mg
G-1-1	61,42	13,97	4,40	5,60	0,50	2,35	75,30	15,70	4,80	11,53	8,47	3,16	0,92	0,24	0,23
G-1-23	62,28	15,03	4,15	5,45	0,50	2,25	73,90	16,60	4,46	11,85	6,76	3,36	0,84	0,26	0,23
G-1-27	58,70	15,17	3,87	5,85	0,40	1,95	71,10	19,35	3,68	11,65	5,80	3,09	0,73	0,34	0,26
G-1-38	56,93	22,87	2,50	5,85	0,55	1,95	72,80	18,95	3,85	11,84	5,87	3,43	0,86	0,36	0,24
G-1-41	67,50	12,86	5,29	5,65	0,45	2,00	74,35	16,80	4,44	12,00	6,82	3,23	0,93	0,30	0,21
G-1-58	57,24	20,08	2,85	6,10	0,55	1,65	75,45	15,50	4,87	11,81	7,15	3,44	0,85	0,30	0,24
G-1-61	61,33	14,96	4,11	6,45	0,50	1,95	74,70	16,90	4,44	10,98	7,12	2,94	0,77	0,29	0,22
G-1-64	58,85	17,10	3,46	6,20	0,35	2,10	74,00	17,10	4,36	11,02	4,62	3,49	1,03	0,24	0,22
G-1-67	54,17	22,43	2,42	6,35	0,55	1,55	69,80	20,55	3,42	11,51	7,99	2,95	0,74	0,28	0,29
G-2-1	60,93	13,74	4,44	6,35	0,45	1,90	67,45	24,10	2,80	11,17	6,10	3,50	0,98	0,20	0,24
G-2-11	58,60	21,79	2,69	6,45	0,55	1,60	68,90	21,75	3,17	11,34	6,61	3,10	0,75	0,31	0,22
G-2-2	58,94	20,37	2,89	5,85	0,55	2,00	72,95	18,80	3,89	11,76	7,06	2,95	0,79	0,25	0,25
G-2-22	55,10	22,00	2,50	6,10	0,50	1,65	75,75	15,55	4,87	11,85	7,45	3,22	0,84	0,25	0,23
G-2-23	53,52	25,83	2,07	5,80	0,70	1,40	72,05	18,75	3,85	12,71	6,11	3,28	0,83	0,30	0,25
G-2-25	60,25	18,87	3,19	5,45	0,50	2,25	75,55	16,00	4,74	11,96	5,46	3,24	0,91	0,30	0,24
G-2-26	59,02	18,07	3,29	6,15	0,50	1,80	72,40	18,75	3,87	11,53	6,86	3,31	0,78	0,27	0,25
G-2-27	55,70	13,71	4,07	6,80	0,65	1,70	70,10	16,75	4,20	10,31	7,24	2,79	0,66	0,30	0,22
G-2-7	58,79	19,12	3,07	6,45	0,55	1,70	69,70	21,10	3,30	11,21	5,66	3,36	0,88	0,30	0,26
G-3-12	62,68	21,69	2,89	6,15	0,50	1,80	71,05	20,10	3,54	11,53	4,45	2,81	0,72	0,20	0,25
G-3-24	55,42	21,96	2,53	6,25	0,65	1,35	71,40	20,60	3,47	12,19	7,50	3,18	0,77	0,27	0,23
G-3-28	65,05	14,79	4,40	6,15	0,50	2,00	71,20	19,55	3,64	11,20	6,44	3,11	0,88	0,27	0,25
G-3-3	55,64	19,30	2,88	6,20	0,75	2,10	71,95	18,25	3,95	10,96	4,49	3,18	0,93	0,26	0,21
G-3-4	57,54	17,98	3,20	5,75	0,45	1,65	66,95	23,00	2,91	12,23	4,99	3,31	0,88	0,31	0,25
G-3-5	58,61	20,85	2,82	5,65	0,45	2,30	74,95	16,50	4,56	11,56	4,67	3,41	0,88	0,29	0,27
G-3-65	56,21	24,81	2,27	5,95	0,55	1,95	73,50	17,35	4,24	11,57	4,94	3,15	0,81	0,28	0,25
G-3-8	53,57	27,16	1,97	6,15	0,55	1,65	76,60	15,50	4,98	12,04	6,29	4,10	1,10	0,34	0,28
G-4-10	61,56	15,99	3,85	5,75	0,45	2,05	75,35	15,25	4,97	11,72	6,64	3,08	0,86	0,24	0,21
G-4-3	61,84	16,09	3,85	6,45	0,60	1,50	68,85	21,95	3,14	11,52	7,10	3,29	0,89	0,31	0,24
G-5-18	51,76	23,88	2,17	6,45	0,50	1,95	71,10	19,20	3,72	10,81	6,98	3,10	0,72	0,34	0,23
G-5-2	54,06	22,15	2,45	5,85	0,40	2,30	73,95	16,95	4,36	11,20	5,93	3,66	0,91	0,33	0,25
G-5-25	59,03	20,66	2,86	5,90	0,55	1,80	73,20	17,05	4,31	11,79	6,45	3,00	0,76	0,19	0,23
G-6-14	56,94	20,18	2,82	5,35	0,40	1,45	75,10	14,85	5,06	13,34	7,43	3,30	0,88	0,31	0,22
G-6-24	58,49	21,90	2,67	6,60	0,60	2,00	69,65	20,25	3,44	10,52	6,42	2,95	0,84	0,24	0,25
G-6-39	57,29	22,34	2,57	5,60	0,50	1,55	76,35	14,90	5,14	12,84	6,23	3,15	0,72	0,34	0,24
H-1-108	54,58	28,36	1,92	5,95	0,50	1,85	71,15	20,15	3,54	11,77	4,65	3,19	0,62	0,13	0,20
H-1-81	55,85	20,13	2,78	5,35	0,50	1,95	76,35	15,00	5,09	12,61	6,20	3,24	0,80	0,21	0,26
H-2-111	58,14	24,95	2,33	5,80	0,55	1,75	75,95	15,10	5,04	12,14	3,53	3,24	0,76	0,24	0,27
H-3-37	60,25	19,84	3,04	5,45	0,55	1,70	76,05	15,20	5,00	12,84	5,80	3,22	0,73	0,19	0,26
H-3-39	59,99	22,01	2,73	5,90	0,50	1,70	75,60	17,05	4,43	12,26	4,72	2,99	0,69	0,22	0,26
I-1-95	57,00	21,47	2,66	6,40	0,50	2,00	73,05	17,55	4,18	10,85	6,47	3,33	0,86	0,26	0,27
I-2-12	56,95	25,06	2,27	6,00	0,50	1,95	70,90	19,45	3,65	11,45	5,86	3,21	0,89	0,27	0,25
I-3-10	56,81	22,24	2,55	6,50	0,50	2,10	71,80	18,30	3,92	10,54	6,82	3,42	0,82	0,36	0,24
I-3-11	54,91	22,10	2,49	6,10	0,60	1,90	74,75	16,80	4,45	11,52	6,15	3,23	0,81	0,29	0,23
I-3-27	56,18	21,12	2,66	5,65	0,55	2,25	78,00	12,15	6,42	11,49	6,26	3,26	0,85	0,27	0,26
I-3-65	50,68	28,06	1,81	6,50	0,45	1,45	70,55	18,45	3,82	11,25	6,50	3,11	0,83	0,25	0,24
I-3-67	56,88	23,08	2,46	5,55	0,50	2,35	73,90	17,65	4,21	11,66	6,62	3,20	0,85	0,26	0,25
Parentales															
A-10-6	55,24	27,13	2,04	6,27	0,60	2,30	70,25	19,40	3,62	10,54	4,99	3,39	0,93	0,22	0,30
Bertina	56,56	25,29	2,24	6,25	0,50	2,30	69,10	21,05	3,28	10,61	4,61	3,34	0,80	0,38	0,29
D.Largueta	58,87	24,52	2,40	6,05	0,40	1,80	72,20	18,40	3,93	11,59	4,46	3,33	0,88	0,22	0,27
Felisia	56,32	27,01	2,09	6,45	0,65	1,95	68,05	22,10	3,08	10,81	4,26	3,06	0,93	0,24	0,24
Guara	54,33	29,31	1,85	6,65	0,40	2,75	63,10	25,70	2,46	9,50	4,34	3,32	0,95	0,27	0,28
Ferragnès	57,53	25,44	2,26	6,60	0,50	1,70	70,20	20,10	3,49	10,94	4,93	3,45	0,89	0,27	0,27
Marcona	59,69	23,84	2,50	6,30	0,50	1,75	71,30	19,65	3,63	11,36	4,63	3,06	0,75	0,20	0,28
Moncayo	56,93	24,97	2,28	5,85	0,50	2,00	73,95	16,35	4,52	11,57	4,09	3,20	0,82	0,31	0,26

^z Las abreviaturas correspondientes en cuadro 9.1.

Cuadro 9.3. Composición química de la pepita (aceite, proteína, ácidos grasos, fibra, ceniza y elementos minerales) en el año 2003.

Selección	Aceite	^z PRO	R1	C:160	C:161	C:180	C:181	C:182	R2	R3	Fib	Cen	K	Ca	Mg
G-1-1	60,84	16,35	3,72	6,00	0,45	2,50	75,30	15,35	4,92	10,76	4,99	3,71	0,97	0,24	0,25
G-1-23	60,94	20,81	2,93	4,95	0,30	2,05	75,70	16,60	4,59	13,23	6,63	3,55	0,84	0,26	0,25
G-1-27	58,68	17,61	3,33	6,05	0,35	2,00	71,90	19,30	3,73	11,37	6,27	3,29	0,80	0,36	0,27
G-1-38	47,80	28,63	1,67	6,70	0,65	1,60	69,90	20,55	3,40	10,98	6,25	3,94	0,89	0,35	0,28
G-1-41	57,43	17,57	3,27	5,20	0,40	1,70	77,40	14,80	5,23	13,42	7,31	4,11	1,26	0,37	0,22
G-1-58	56,01	22,75	2,46	6,25	0,55	1,55	75,45	15,80	4,78	11,77	4,46	3,37	0,84	0,30	0,24
G-1-61	59,46	16,36	3,63	5,90	0,45	1,60	73,60	18,90	3,91	12,43	7,02	3,29	0,85	0,31	0,25
G-1-64	59,23	15,71	3,77	6,25	0,30	1,95	70,95	19,45	3,65	11,06	5,96	3,35	0,93	0,27	0,22
G-1-67	57,51	22,26	2,58	6,10	0,50	1,70	71,45	19,60	3,67	11,77	6,62	3,14	0,78	0,24	0,22
G-2-1	56,42	14,30	3,95	5,65	0,35	1,75	66,90	24,85	2,70	12,51	4,93	3,51	1,04	0,28	0,25
G-2-11	57,34	23,01	2,49	6,45	0,55	1,25	70,25	20,80	3,38	11,90	5,51	3,16	0,69	0,29	0,22
G-2-2	58,35	20,19	2,89	5,50	0,50	2,20	71,75	19,60	3,66	12,15	6,64	3,02	0,83	0,23	0,23
G-2-22	56,35	22,02	2,56	6,15	0,50	1,25	75,75	15,55	4,87	12,41	5,22	3,25	0,77	0,19	0,19
G-2-23	58,64	21,56	2,72	5,65	0,65	1,40	73,40	18,45	3,98	13,14	6,31	3,39	0,82	0,27	0,22
G-2-25	57,93	20,03	2,89	5,75	0,50	1,95	74,30	17,05	4,36	11,95	5,62	3,10	0,81	0,27	0,23
G-2-26	64,96	12,91	5,03	5,80	0,50	1,85	74,50	16,55	4,50	11,97	6,87	2,73	0,67	0,25	0,28
G-2-27	58,31	21,09	2,77	7,00	0,70	1,50	74,40	15,90	4,68	10,71	3,32	2,97	0,65	0,29	0,23
G-2-7	59,25	18,02	3,29	6,55	0,60	1,65	68,15	22,35	3,05	11,11	6,97	3,33	0,91	0,27	0,23
G-3-12	61,50	14,23	4,32	6,25	0,45	2,05	69,25	21,60	3,21	11,00	6,78	3,41	0,86	0,29	0,27
G-3-24	60,01	18,16	3,31	6,05	0,55	1,45	73,05	18,45	3,96	12,28	8,57	3,15	0,84	0,25	0,26
G-3-28	54,22	13,77	3,94	6,45	0,60	1,75	71,50	18,45	3,88	11,04	6,43	3,33	0,92	0,22	0,23
G-3-3	53,45	19,36	2,76	6,25	0,70	2,15	70,50	19,30	3,65	10,77	6,55	3,72	1,09	0,35	0,22
G-3-4	55,69	17,92	3,11	5,60	0,45	1,65	65,65	25,20	2,61	12,72	5,08	3,34	0,76	0,38	0,25
G-3-5	60,63	16,09	3,77	5,85	0,55	2,45	78,70	12,00	6,56	10,99	6,20	3,30	0,84	0,24	0,22
G-3-65	40,26	25,26	1,59	6,00	0,55	1,90	73,00	18,10	4,04	11,63	6,52	3,22	0,76	0,27	0,25
G-3-8	53,02	23,87	2,22	6,20	0,55	1,40	71,40	19,80	3,61	12,07	4,35	4,01	1,00	0,32	0,26
G-4-10	58,72	17,26	3,40	5,35	0,35	1,90	78,10	13,75	5,68	12,72	6,83	3,35	0,93	0,22	0,23
G-4-3	54,23	22,48	2,41	6,55	0,60	1,15	68,15	23,05	2,96	11,93	4,43	3,56	0,83	0,29	0,27
G-5-18	64,13	14,83	4,32	6,15	0,50	1,75	72,45	18,55	3,91	11,58	4,84	3,11	0,72	0,32	0,25
G-5-2	53,50	26,34	2,03	6,10	0,50	1,70	76,95	14,25	5,41	11,77	4,53	3,76	0,97	0,21	0,25
G-5-25	60,07	16,57	3,62	5,95	0,50	1,65	71,45	19,35	3,69	12,01	4,26	3,12	0,82	0,23	0,24
G-6-14	58,40	18,07	3,23	5,45	0,40	1,45	76,70	15,65	4,90	13,45	5,95	3,23	0,85	0,27	0,23
G-6-24	56,21	14,60	3,85	6,65	0,55	2,35	69,15	20,40	3,39	10,01	4,68	3,15	0,91	0,20	0,23
G-6-39	60,05	22,43	2,68	5,50	0,45	1,50	77,20	15,00	5,17	13,31	5,89	3,03	0,69	0,25	0,25
H-1-108	51,35	29,30	1,75	5,90	0,50	2,05	69,90	20,60	3,39	11,45	4,87	3,64	0,82	0,16	0,31
H-1-81	62,55	19,47	3,21	5,70	0,50	2,00	76,90	14,40	5,34	11,92	6,10	3,26	0,80	0,23	0,23
H-2-111	59,66	23,06	2,59	6,00	0,60	1,80	76,50	14,45	5,30	11,74	4,89	3,52	0,72	0,23	0,30
H-3-37	63,19	20,67	3,06	6,00	0,60	1,70	77,40	13,95	5,55	11,94	3,72	3,12	0,74	0,19	0,23
H-3-39	61,53	16,86	3,65	5,45	0,45	2,15	76,45	15,15	5,05	12,11	5,39	3,47	0,88	0,18	0,25
I-1-95	63,41	17,97	3,53	6,55	0,50	1,65	71,05	19,15	3,71	11,06	5,53	2,97	0,67	0,25	0,24
I-2-12	60,78	20,33	2,99	5,85	0,45	1,80	72,10	19,35	3,75	11,32	5,06	3,46	0,81	0,28	0,25
I-3-10	56,86	21,36	2,66	6,65	0,50	2,05	71,25	18,50	3,85	10,37	6,59	3,14	0,73	0,28	0,24
I-3-11	59,09	13,61	4,34	6,30	0,55	1,85	75,10	15,90	4,73	11,24	5,32	2,85	0,71	0,23	0,20
I-3-27	58,55	16,55	3,54	5,75	0,60	2,70	77,95	12,50	6,24	10,78	5,05	3,50	0,89	0,29	0,23
I-3-65	52,97	22,04	2,40	6,55	0,50	1,65	71,00	19,20	3,70	11,06	5,58	3,17	0,81	0,25	0,24
I-3-67	58,88	16,66	3,53	6,05	0,50	2,40	71,70	18,95	3,80	10,88	6,30	3,22	0,82	0,22	0,24
Parentales															
A-10-6	56,49	26,39	2,14	5,30	0,45	2,15	76,85	15,35	5,01	12,45	4,80	3,48	0,81	0,19	0,28
Bertina	56,26	24,11	2,33	5,80	0,35	2,00	70,05	21,20	3,31	11,85	6,15	3,51	0,85	0,23	0,31
D. Largueta	55,62	26,81	2,07	6,75	0,35	2,40	72,40	18,60	3,89	11,34	5,02	3,45	0,79	0,23	0,30
Felisia	58,22	24,00	2,43	5,35	0,55	1,55	75,50	16,65	4,53	13,63	6,23	3,13	0,77	0,18	0,23
Ferragnès	60,29	17,16	3,51	5,55	0,40	2,10	75,45	16,15	4,70	12,03	6,27	3,47	0,82	0,26	0,26
Guara	55,81	28,50	1,96	7,10	0,40	1,75	63,40	27,00	2,35	10,26	4,82	3,24	0,75	0,22	0,27
Marcona	58,04	28,88	2,01	6,30	0,65	2,05	70,55	20,15	3,51	10,96	4,15	3,11	0,75	0,18	0,28
Moncayo	57,55	25,01	2,30	5,60	0,40	2,00	75,70	15,90	4,77	12,16	5,35	3,23	0,83	0,18	0,26

^z Las abreviaturas correspondientes en cuadro 9.1.

La comparación de los coeficientes de variación entre genotipos (Cuadro 9.5) y entre años (Cuadro 9.6) ha mostrado que la variación entre genotipos es mayor que la variación interanual, lo que indica la constancia de la composición, como muestran 'Guara' o 'Marcona'. La significación de la interacción "genotipo" × "año" indica que si bien los genotipos cambian de rango de un año a otro, también lo hace la magnitud de los valores entre ambos años. Las variedades 'Ferragnès' y 'Desmayo Largueta' y las selecciones G-1-38, G-2-23, G-2-26, G-4-3, G-3-28 e I-3-11 han presentado una variación significativa entre ambos años. Sin embargo, las variedades 'Marcona', 'Guara', 'Bertina' y 'Moncayo' y las selecciones G-1-27, I-3-10, G-5-25 y G-6-14 presentaron valores consistentes en ambos años (Cuadro 9.2). Por lo tanto, la estabilidad de este carácter de un año a otro depende también de cada genotipo. En este trabajo se ha estudiado una población de 55 genotipos, mientras que en la mayoría de los otros estudios el número de genotipos no superaba los 20, lo que indica que el tamaño de muestra utilizado por distintos autores podría explicar algunas de las discrepancias encontradas.

9.4.1.2 Variabilidad del perfil en ácidos grasos

Se ha descrito que la fracción lipídica de la pepita está formada por ocho ácidos grasos minoritarios (García-López et al., 1996; Saura Calixto et al., 1988) y cinco mayoritarios (oleico, linoleico, palmítico, palmitoleico y esteárico), que constituyen más del 95% del total según las variedades (Abdallah et al., 1998; García-López et al., 1996). Dada la importancia de estos últimos ácidos grasos desde el punto de vista cuantitativo en la composición de la pepita, se optó por estudiar sólo la variabilidad de éstos.

En el perfil de los ácidos grasos mayoritarios destaca que la proporción de los ácidos grasos insaturados es más del 90% del total de los ácidos grasos. Además, los ácidos grasos monoinsaturados se encuentran en una proporción elevada en comparación con los ácidos grasos poliinsaturados (Cuadro 9.5 y F 9.1), como ya se había encontrado en otras variedades del almendro (Abdallah et al., 1998; Kester et al., 1993; Saura Calixto et al., 1988). De una forma general se ha observado que la variabilidad del contenido en ácidos grasos mayoritarios entre los genotipos ha sido elevada en comparación con el contenido en aceite debido al hecho que este último presenta un coeficiente de variación muy inferior a los que presentan los ácidos grasos a la excepción del ácido oleico (Cuadro 9.5).

Los ácidos palmitoleico y esteárico presentan la mayor variabilidad, con un coeficiente de variación superior a 10%, seguido por los ácidos linoleico y palmítico con un coeficiente de variación del orden de 4% a 7 % y por último el ácido oleico con un coeficiente de variación inferior a 2 % (Cuadro 9.5).

Cuadro 9.4. Análisis de varianza del aceite y de los ácidos grasos.

Fuente de variación	GL	% Aceite	z C160	C161	C180	C181	C182	R2	R3
<u>Medios cuadrados</u>									
Genotipo	53	31,51***	0,55 ***	0,025 ***	0,30 ***	35,2 ***	30,15 ***	2,39 ***	1,8***
Año	1	0,07 ns	0,06 ns	0,022 *	0,18 *	14,3 **	1,30 ns	0,65 **	2,7ns
Gen × Año	53	21,63***	0,15 ns	0,004 ns	0,07 ***	5,2 ***	3,25 ***	0,33 ***	0,5ns
Residual	108	1,10	0,11	0,003	0,035	1,26	0,74	0,06	0,47
Repetabilidad		0,8	0,64	0,77	0,76	0,92	0,94	0,94	0,58

ns, *, **, ***: No significativo o significativo a $P < 0,05$, $0,001$ y $0,0001$.

^z Las abreviaturas correspondientes en cuadro 9.1.

Cuadro 9.5. Elementos estadísticos de cada variable en cada año del estudio.

Año	2002			2003		
	Rango de variabilidad	Media ± DST	CV(%)	Rango de variabilidad	Media ± DST	CV(%)
% Aceite	50,6-67,5	57,75±3,11	1,86	40,2-64,9	57,71±4,03	2,33
% Proteína bruta	12,8-29,3	21,21±4,18	3,94	12,9-29,3	20,26±3,97	2,57
Nitrógeno	2,25-4,69	3,39±0,66	3,94	2,37-4,69	3,31±0,69	2,57
R1 ^z	1,81-5,29	2,86±0,77	5,49	1,59-4,11	2,92±0,72	4,88
Ac. palmítico	5,35-6,8	6,04±0,36	4,23	4,95-7,1	6,01±0,55	6,96
Ac. palmitoleico	0,35-0,75	0,51±0,07	10,35	0,3-0,7	0,49±0,10	12,4
Ac. Esteárico	1,35-2,75	1,09±0,28	10,06	1,15-2,7	1,84±0,35	10,15
Ac. oleico	63,1-78,1	72,47±2,93	1,56	63,4-78,7	72,9±3,49	1,58
Ac. linoleico	12,5-25,7	18,25±2,61	5,09	12-27	18,1±3,17	4,33
R2 ^z	2,45-6,42	4,07±0,73	4,35	2,35-6,56	4,18±0,90	5,42
R3 ^z	9,5-13,3	11,52±0,68	6,82	10,01-13,6	11,7±0,84	7,10
Fibra bruta	3,53-8,47	5,96±1,18	9,08	3,31-8,56	5,66±1,08	10,15
Ceniza	2,79-4,10	3,22±0,21	3,87	2,72-4,11	3,32±0,29	4,11
Potasio	0,62-1,10	0,83±0,09	4,53	0,65-1,25	0,82±0,11	6,56
Calcio	0,13-0,38	0,27±0,05	8,64	0,15-0,38	0,25±0,05	12,45
Magnesio	0,19-0,29	0,24±0,02	8,52	0,18-0,31	0,24±0,02	8,10

^z Las abreviaturas correspondientes en cuadro 9.1.

Cuadro 9.6. Elementos estadísticos de cada variable en ambos años del estudio.

Componentes	Rango de variabilidad	Media ± DST	Coefficiente de Variación
% Aceite	48,23 - 62,46	57,73 ± 3,69	1,81
% Proteína bruta	14,02 - 28,33	20,95 ± 4,08	3,35
Nitrógeno	2,24 - 4,61	3,35 ± 0,65	3,35
R1 ^z	1,83 - 4,27	2,89 ± 0,74	4,17
Ac. palmítico	5,2 - 6,9	6,03 ± 0,44	5,37
Ac. palmitoleico	0,32 - 0,72	0,5 ± 0,09	11,69
Ac. esteárico	1,32 - 2,47	1,87 ± 0,33	10,14
Ac. oleico	63,25 - 77,97	72,73 ± 3,36	1,54
Ac. linoleico	12,32 - 26,35	18,17 ± 2,93	4,73
R2 ^z	2,40 - 6,32	4,13 ± 0,84	6,13
R3 ^z	9,8 - 13,4	11,63 ± 0,91	5,91
Fibra bruta	4,20 - 8,03	5,81 ± 1,14	9,61
Ceniza	2,88 - 4,05	3,27 ± 0,26	4,55
Potasio	0,65 - 1,09	0,83 ± 0,10	4,96
Calcio	0,14 - 0,35	0,26 ± 0,05	13,61
Magnesio	0,21 - 0,28	0,24 ± 0,02	8,32

^z Las abreviaturas correspondientes en cuadro 9.1.

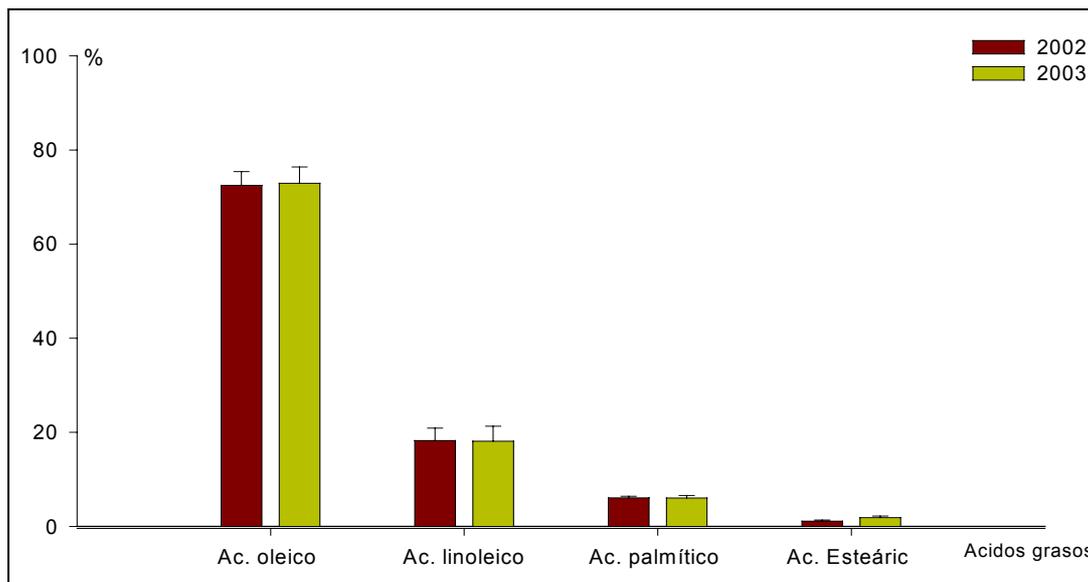


Fig 9.1. Valores de los ácidos grasos de la población estudiada en los dos años.

Así mismo se ha observado que existe variabilidad entre los dos años de estudio, mayor para los ácidos palmítico y esteárico, con un coeficiente de variación interanual del 11,69% y 10,14% respectivamente. Los genotipos estudiados presentan un perfil similar en cuanto al contenido en ácido oleico, ya que su coeficiente de variación resultó bajo (Cuadro 9.5).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos estudiados en cuanto a los ácidos grasos y a los cocientes R2 y R3 (Cuadro 9.4), confirmando que el contenido en ácidos grasos depende del genotipo. No obstante, también existen diferencias significativas entre los años para el contenido en ácido oleico y en menor grado de los ácidos palmítico y esteárico (Cuadro 9.4), lo que indica que el factor año es determinante en la composición de la pepita para estos componentes, todo lo contrario que los ácidos palmítico y linoleico. Abdallah et al. (1998) encontraron que el factor año fue significativo para todos los ácidos grasos mayoritarios, salvo el ácido palmítico en 21 variedades de origen californiano, lo que no coincide con nuestros resultados. Estas diferencias se deben probablemente a las diferencias en las condiciones climáticas en las que se llevaron a cabo los ensayos, al tamaño de la población estudiada (en nuestro caso 55 genotipos) o a las características intrínsecas del material vegetal estudiado. Las mismas discrepancias se han encontrado en otras especies como el olivo (Léon et al., 2004; Tovar et al., 2002).

De todas formas, nuestros resultados sugieren que el contenido en los ácidos palmítico y linoleico dependen en primer lugar del genotipo, y que el oleico, esteárico y palmítico dependen del genotipo

y también de las condiciones del año. El contenido en los ácidos grasos palmítico y linoleico pueden ser una característica varietal y se puede utilizar para discriminar entre los genotipos, como propusieron García-López et al. (1996) y Grane-Teruel et al. (2001). La significación de la interacción “genotipo” × “año” para los ácidos grasos esteárico, oleico y linoleico (Cuadro 9.4), indica que los genotipos cambian no solamente en la magnitud de sus valores sino también en su rango de clasificación. Sin embargo, como para los ácidos grasos palmítico y palmitoleico, esta interacción no ha sido significativa y se puede establecer una clasificación de los genotipos, considerando aquellos que se caracterizan por tener de forma constante contenidos elevados que otras en cuanto a estos ácidos grasos.

En cuanto al cociente R2 (% ácido oleico/% ácido linoleico), los análisis estadísticos han mostrado diferencias significativas entre los genotipos, los años y su interacción (Cuadro 9.4). Sin embargo, en el caso del cociente R3 (% ácidos saturados/% ácidos insaturados), las diferencias entre genotipos son significativas, pero no las diferencias entre los años ni la interacción “genotipo” × “año” (Cuadro 9.4).

Por otra parte, el coeficiente de variación del cociente R2 entre los genotipos ha sido del mismo orden que el coeficiente de variación entre los años (Cuadro 9.5), confirmando que el factor año tiene la misma importancia que el factor genético en la determinación de este carácter. En el caso del cociente R3, el coeficiente de variación entre genotipos ha sido superior al coeficiente de variación entre años, por lo que el factor genético es más decisivo en la determinación de este carácter.

La ausencia de significación para la interacción “genotipo” × “año” del cociente R3 (Cuadro 9.4), indica que las variedades no cambian de rango de un año a otro, todo lo contrario que para el cociente R2. lo que indica que el cociente R3 es una característica varietal y se puede utilizar como criterio de identificación de las variedades de almendro.

9.4.1.3 Variabilidad de la concentración en tocoferoles

Las heladas registradas durante el mes de marzo de 2004 causaron la pérdida de la cosecha de más de la mitad de la población estudiada, por lo que se presentan los resultados del año 2003 para estudiar la variabilidad del contenido en tocoferoles de todos los genotipos, y después los de los 32 genotipos que tuvieron cosecha los dos años para estudiar el efecto del año sobre estos caracteres (Cuadro 9.7). La cuantificación de los tres homólogos de tocoferol, α , γ y δ , mostró que el α -tocoferol es el más importante, seguido por los otros dos homólogos (Fig 9.2).

Cuadro 9.7. Composición de los distintos isómeros de tocoferol en cada genotipo (mg/kg aciete).

Selección	α -tocoferol		γ -tocoferol		δ -tocoferol		Total tocoferol	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
G-1-1	221,1a	192,6a	18,1a	8,1b	16,6a	7,2b	255,7a	207,9a
G-1-23	270,1a	234,4a	20,3a	14,6b	17,2a	6,3b	307,6a	255,4b
G-1-27	342,7a	236,3b	16,8a	11,9b	17,6a	3,1b	377,1a	251,3b
G-1-38	276,9	-	26,3	-	16,6	-	319,9	-
G-1-41	187,3a	150,7a	18,7a	11,9b	18,4a	1,8b	224,4a	164,5b
G-1-44	242,9a	199,8a	17,2a	15,1a	17,1a	3,2b	277,3a	218,2a
G-1-58	425,5a	177,4b	20,3a	6,9b	17,3a	2,7b	463,2a	187,1b
G-1-61	249,1a	191,7b	23,6a	6,1b	16,7a	11,2b	289,3a	209,0b
G-1-64	457,5	-	18,1	-	19,1	-	494,7	-
G-1-67	302,6a	318,2a	16,2a	12,2b	14,6a	2,7b	333,5a	333,1a
G-2-1	284,7a	248,1a	16,3a	20,5b	18,8a	2,3b	319,8a	270,8a
G-2-2	278,4a	303,6a	12,9a	27,1b	14,1a	5,2b	305,4a	335,8a
G-2-7	350,4	-	15,8	-	18,5	-	384,8	-
G-2-11	322,8	-	18	-	16,5	-	357,3	-
G-2-22	346,6a	181,9b	18,7a	9,3b	17,4a	7,8b	382,8a	199,1b
G-2-23	345,8	-	21	-	17,1	-	384	-
G-2-25	201,9a	201,1a	17,4a	9,1b	15,1a	7,2b	234,4a	217,3a
G-2-26	347,7a	225,4b	24,7a	9,4b	16,7a	9,4b	389,2a	244,2b
G-2-27	314,3	-	18,9	-	19,4	-	352,6	-
G-3-3	284,9a	156,4b	19,1a	7,9b	16,2a	1,6b	320,3a	166,1b
G-3-4	463,9a	296,2b	17a	22,1b	21,3a	1,2b	502,2a	319,6b
G-3-5	261,8a	232,7a	17,8a	18,2a	16,6a	3,2b	296,3a	254,1a
G-3-8	336,5a	272,4b	20,7a	18,3a	18,7a	2,6b	375,9a	293,3b
G-3-12	348,5a	228,9b	24,3a	9,2b	17,6a	13,6b	390,4a	251,7b
G-3-24	427,8	-	27,6	-	18,7	-	474,2	-
G-3-28	355,8a	239,2b	20,9a	13,6b	18a	6,5b	394,7a	259,4b
G-3-65	308,1	-	18,1	-	16,2	-	342,4	-
G-4-3	347,5a	274,3b	15,9a	16,3a	18,5a	1,2b	382a	291,9b
G-4-10	457,1a	224,9b	17,2a	10,7b	18a	5,4b	492,3a	241,1b
G-5-18	278,6	-	16,5	-	15,2	-	310,4	-
G-5-25	245,1a	214,7a	18,3a	13,1b	19,6a	4,2b	283,1a	232,1a
G-6-14	318,7a	169,1b	19,2a	8,8b	17,4a	1,7b	355,4a	179,7b
G-6-24	337,0	-	18,5	-	18,5	-	374,1	-
G-6-39	235,3	-	20,1	-	16	-	271,3	-
I-3-10	343,2a	252,8b	20,6a	15,8b	19,1a	10,2b	382,9a	278,9b
I-3-11	380,6a	244,2b	21,9a	14,9b	22,4a	5,2b	425a	264,4b
I-3-27	297,8a	147,2b	16,9a	11,1b	17,5a	1,3b	332,2a	159,6b
H-1-81	326a	232,2b	21a	8,4b	18,9a	6b	366a	246,6b
H-1-108	248,5	-	21,6	-	15,3	-	285,4	-
H-2-22	258,6	-	12,8	-	12,3	-	283,8	-
H-2-111	344,2	-	22,6	-	17,1	-	383,9	-
H-3-37	324,2	-	16,8	-	16,9	-	358	-
H-3-39	317,6	-	16,4	-	21,4	-	355,4	-
I-1-95	303,3	-	18,6	-	17,3	-	339,3	-
I-2-12	419,6	-	17,8	-	18,8	-	456,2	-
G-5-2	490,3a	300,8b	19,5	17,7	21,2a	3,5b	531,1a	321,1b
I-3-65	332,3	-	17,6	-	15,9	-	365,8	-
I-3-67	368,4	-	20,3	-	18,3	-	407,1	-
Marcona	463,3	-	18,5	-	18,7	-	500,6	-
Moncayo	412,5a	275,0b	18,8a	19,6a	21,2a	4,3b	452,5a	298,9b
A-10-6	328,1a	204,3b	14,2a	6,7b	14,2a	6,2b	356,6a	217,2b
Bertina	241,6a	172,3b	15a	10,2b	16,6a	0,6b	273,2a	183,1b
Desmayo Largueta	304,3	-	15,3	-	16,6	-	336,25	-
Felisia	250,6a	217,6a	18,2a	16,6a	17,3a	1,2b	286,2a	235,5a
Ferragnès	377,5	-	18,7	-	18,4	-	414,6	-
Guara	385,4	-	15,7	-	17,6	-	418,8	-

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los dos años según el test LSD ($p = 0,05$).

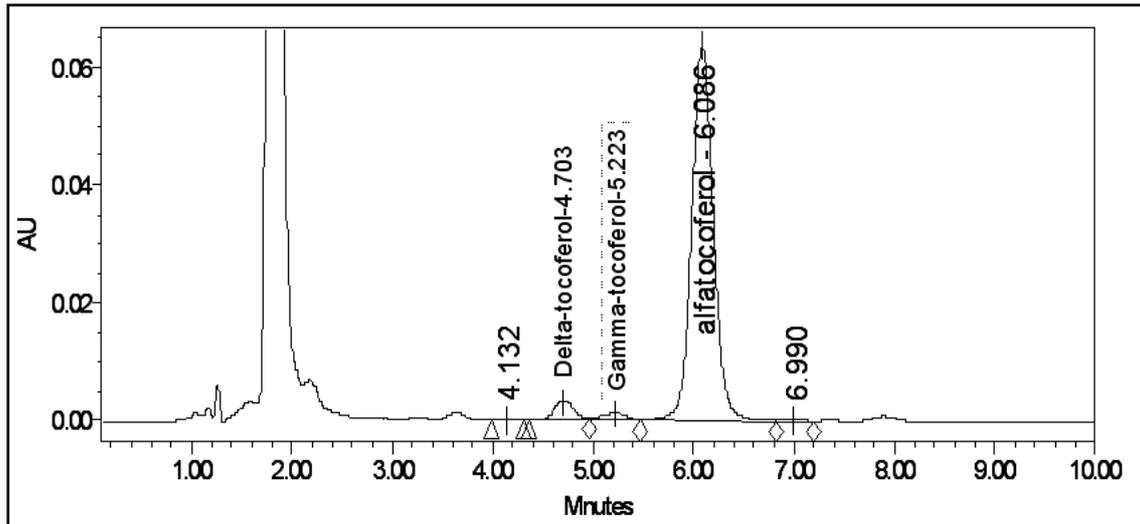


Fig 9.2. Cromatograma de HPLC de α -, γ -, δ -tocoferol de una muestra de aceite.

La variabilidad observada en 2003 fue muy grande para todos los homólogos de tocoferol. La concentración en α -tocoferol osciló entre 187,4 (G-1-41) y 490,3 mg/kg (G-5-2) para las selecciones, mientras que entre 241,6 ('Bertina') y 463,6mg/kg ('Marcona') para los parentales. El γ -tocoferol osciló entre 12,8 (H-2-22) y 27,6 mg/kg (G-3-24) para las selecciones y entre 14,2 (A-10-6) y 18,8 mg/kg ('Moncayo') para los parentales. En δ -tocoferol osciló entre 12,3 (H-2-22) y 22,5 mg/kg (I-3-11) para las selecciones y entre 14,3 (A-10-6) y 21,2 mg/kg ('Moncayo') para los parentales (Cuadro 9.7).

El análisis de varianza del año 2003 mostró que hay diferencias significativas entre los genotipos para los tres homólogos (Cuadro 9.8), con una gran variabilidad, como ya se había indicado para otras variedades de almendro, aunque el número de variedades estudiadas previamente fue muy bajo: 5 por Basson (1989) y 4 por Zacheo et al. (2000) y García-Pascual et al. (2003).

Es especialmente interesante considerar la familia 'Felisia' x 'Bertina', cuyo elevado número de individuos permite observar que la concentración en los tres homólogos de tocoferol sigue una variación continua con una gran variabilidad. Los valores obtenidos en este trabajo fueron ligeramente inferiores a los indicados por estos autores, debido probablemente a las diferencias en los métodos analíticos aplicados o a las divergencias en las condiciones del ambiente y del cultivo, como se ha indicado para otros componentes de la pepita, como su composición en ácidos grasos (Schirra y Nieddu, 1992).

Cuadro 9.8. Análisis de varianza de las composiciones en los diferentes homólogos de tocoferol en el año 2003.

Fuente de variación	Gl	α -tocoferol	γ -tocoferol	δ -tocoferol
<u>Medios Cuadrados</u>				
Genotipo	55	9774,01 ***	17,55 ***	2,89 ***
Residual	56	1769,93 ***	3,31 ***	7,20 ***

***: significativo a una probabilidad de $P < 0,0001$.

Por otra parte, el análisis de varianza con los datos de los años 2003 y 2004 para 32 genotipos ha mostrado diferencias significativas entre los genotipos, entre los años y para la interacción entre ambos (Cuadro 9.9), por lo que la composición de la pepita en tocoferoles no depende solamente del genotipo sino también de las condiciones del año.

La significación de la interacción "genotipo" \times "año" indica además que los valores cambian de magnitud de un año a otro. No obstante, al estudiar esta interacción para cada genotipo, los valores del contenido en γ -tocoferol de las variedades 'Felisia' y 'Moncayo' y las selecciones G-1-44, G-3-5, G-4-3 y G-5-2 no han sido significativamente diferentes entre ambos años. Lo mismo ocurre con el contenido en α -tocoferol de la variedad 'Felisia' y las selecciones G-1-1, G-1-23, G-1-41, G-1-44, G-1-67, G-2-1, G-2-2 y G-2-25. Ello indica que el contenido en tocoferol, sobre todo en los homólogos α y γ , depende del genotipo y que su variación interanual depende de las características de cada uno.

Cuadro 9.9. Análisis de varianza de los tocoferoles de 32 genotipos en los años 2003 y 2004.

Fuente de variación	Gl	α -tocoferol	δ -tocoferol	γ -tocoferol
<u>Medios Cuadrados</u>				
Genotipo	31	11021,49 ***	16,74 ***	43,47 ***
Año	1	276698,25 ***	5475,54 ***	971,79 ***
Genotipo \times Año	31	4632,38 ***	16,18 ***	42,13 ***
Residual	64	630,18	1,31	1,52

***: significativo a una probabilidad de $P < 0,0001$.

La separación de medias (test LSD) ha mostrado que los valores de los distintos homólogos de tocoferoles del año 2003 han sido significativamente mayores que en 2004 (Fig 9.3). En la bibliografía se ha mencionado que en algunas especies el contenido en tocoferol podría depender de las condiciones climáticas, especialmente de las altas temperaturas (Kamal-Eldin y Andersson, 1997; von Marquard, 1990; Zubr y Matthäus, 2002).

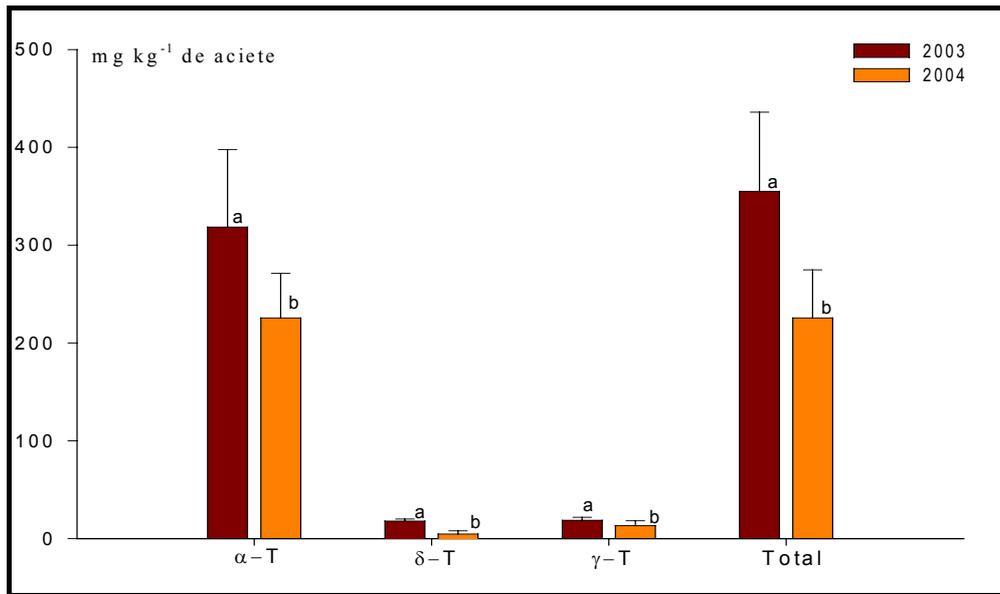


Fig 9.3. Valores medios de los años 2003 y 2004 de α -, γ -, δ -tocoferol y tocoferol total de 32 genotipos.

En girasol se observó que un aumento de las temperaturas durante el desarrollo de la pepita resultó en un considerable aumento de los tres homólogos de tocoferol (Beringer y Saxena, 1968). Goffman y Becker (2001) encontraron diferencias significativas en el contenido en tocoferol de las semillas de 87 genotipos de *Brassica napus* procedentes de plantas plantadas en el campo y en el invernadero, sugiriendo que las diferencias observadas entre las plantas de distinto ambiente eran debidas a las altas temperaturas registradas en el invernadero. Maranz y Wiesman (2004) estudiaron el efecto del clima sobre el contenido en tocoferol en las semillas de *Vitellaria paradoxa* Gaetner y encontraron que el contenido, sobretodo del α -tocoferol, aumentó considerablemente cuando se pasaba de climas fríos o templados a climas calorosos. En el olivo, las altas temperaturas y el estrés hídrico causaron un aumento considerable del contenido en α -tocopherol en el aceite de la variedad 'Les Garrigues' (Romero et al., 2003).

Las temperaturas registradas desde el mes de abril hasta el mes de agosto del año 2003 fueron extremas y muy altas en comparación con las registradas en el mismo período del año 2004 (Cuadro 9.10). Por ello, las diferencias entre ambos años en cuanto al contenido en tocoferol pueden deberse a las altas diferencias climáticas entre ambos años, especialmente a las altas temperaturas. No obstante, la estabilidad de los contenidos en α - y γ -tocoferol de algunos genotipos demostró que la estabilidad de estos caracteres depende de cada genotipo, ya que en algunas especies, como el algodón, *Gossypium hirsutum* L., se encontró una gran constancia en el contenido en α -tocoferol para los cultivares estudiados a través de los años y de las localidades (Smith y Creelman, 2001).

Cuadro 9.10. Temperatura y lluvia registrados durante el período del desarrollo del fruto de los dos años del estudio.

Año	Mes	Temperatura (°C)			Lluvia (mm)
		Max	Min	Media	
2003	Abril	20,3	7,1	13,7	40,5
	Mayo	24,6	11,0	17,8	78,3
	Junio	33,3	17,7	25,6	21,9
	Julio	33,1	17,8	25,4	0,2
	Agosto	34,3	17,6	25,9	8,5
2004	Abril	17,7	5,7	11,7	53,0
	Mayo	22,7	9,7	16,2	44,6
	Junio	30,9	15,4	23,1	15,8
	Julio	31,2	16,9	24,0	30,2
	Agosto	31,3	16,7	24,0	14,3

Las diferencias significativas para el contenido en los tres homólogos de tocoferol entre los genotipos demuestran que este contenido puede depender del genotipo y se puede considerar como una característica varietal, como ya se ha expuesto anteriormente para la composición en ácidos grasos en estas mismas selecciones. El elevado contenido en α -tocoferol en 'Marcona' y los contenidos medios-altos para los otros homólogos, pueden haber sido un factor decisivo, aunque ignorado hasta ahora, de su valoración en el mercado español para la fabricación de muchos productos de almendra, especialmente el turrón. Igualmente los elevados contenidos de algunas selecciones, como G-5-2, G-3-4 y G-1-64, que son igualmente de floración extremadamente tardía (Socias i Company et al., 2003) podrían ser un motivo de su apreciación como futuras variedades. Por otro lado, los contenidos en α -, δ - y γ -tocoferol en la mayoría de las selecciones han sido claramente superiores a la media de los parentales para cada homólogo, lo que sugiere que se ha podido ejercer una selección previa en este sentido y por ello la posibilidad de mejorar y seleccionar para valores altos en estos componentes químicos en las futuras nuevas variedades de almendro.

9.4.1.4 Contenido en proteína y en nitrógeno total

El contenido en proteína presentó una gran variación, con un rango de oscilación en ambos años desde el 12,8% al 29,3% de materia seca (Cuadro 9.5). La comparación de estos resultados con los de otros autores resulta difícil y problemática, debido a los diferentes métodos analíticos y especialmente a los diferentes factores, de 5,18 a 6,25, para la conversión del nitrógeno en proteína. Para hacer la comparación más fiable y contrastar estos resultados con los de otros autores, se ha optado por comparar los contenidos en nitrógeno total como recomienda Saura-Calixto et al. (1988), evitando así interpretaciones erróneas en relación a la riqueza proteica dada por diferentes autores.

Los rangos de variación anual del contenido en nitrógeno total se presentan en el Cuadro 9.5, con una media de 3,35% de la materia seca. Estos resultados no coinciden con los de otros autores que obtuvieron valores más altos, como Souty et al. (1971) con 4,4% de la materia seca, Barbera et al. (1994) 4,62%, Aslantaş et al. (2001) 4,23% y Romojaro et al. (1977) 4,28%. Sin embargo, los resultados de Riquelme et al. (1982), Saura Calixto et al. (1988) y Casares (1952), con 3,6%, 3% y 3,69% respectivamente, coinciden con nuestros resultados. El rango en que se encuentra el valor del nitrógeno y por consecuencia del contenido en proteína es amplio.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los genotipos, como era de esperar, entre los años y para la interacción entre estos dos factores para el contenido en nitrógeno y en proteína total (Cuadro 9.11). Ello indica que el contenido en proteína de la almendra depende del genotipo estudiado pero que el factor año también juega un papel importante, lo que coincide con los resultados en otras variedades de almendro (Aslantaş et al., 2001; Barbera et al., 1994; Romojaro et al., 1977; Saura Calixto et al., 1988; Schirra y Nieddu, 1992; Souty et al, 1971).

Cuadro 9.11. Análisis de varianza del contenido en nitrógeno, proteína, fibra, ceniza y elementos minerales.

Fuente de variación	GL	z N	Pro	R1	Fib	Cen	K	Mg	Ca
<u>Cuadrados medios</u>									
Genotipo	53	1,31***	51,2***	1,54***	2,54***	0,17***	0,030***	1,31 10 ⁻² ***	0,008**
Año	1	0,37***	14,4***	0,15*	4,78***	0,54***	0,002NS	8,16 10 ⁻³ NS	0,021**
Sel × Año	53	0,38***	15,1***	0,68***	2,05***	0,06***	0,009***	8,14 10 ⁻³ **	0,002**
Residual	108	0,012	0,46	0,01	0,31	0,02	0,001	4,1 10 ⁻⁴	0,009
Repetitividad		0,95	0,95	0,94	0,22	0,69	0,90	0,84	0,73

NS, *, **, ***: No significativo o significativo a $P < 0,05$, $0,001$ y $0,0001$.

z Las abreviaturas correspondientes en cuadro 9.1.

La significación de la interacción "genotipo" × "año" refleja que la magnitud de los valores y el rango de clasificación de los genotipos cambian de un año a otro, lo que hace muy difícil la evaluación del contenido proteico de una variedad por la gran variación interanual que presenta este carácter. En efecto, sólo 14 genotipos de toda la población estudiada ('Moncayo', A-10-6, G-1-67, G-2-1, G-2-2, G-2-22, G-2-7, G-3-3, G-3-65, G-6-39, H-1-108, H-1-81, H-3-37 e I-3-10) han presentado valores consistentes en ambos años de estudio. Dada la importancia del cociente R1 (aceite/proteína) en la industria confitera (Alessandroni, 1980), se ha estudiado la variabilidad de este cociente. Los resultados mostraron una gran variabilidad de este carácter en cada año de estudio, con un coeficiente de variación entre genotipos del orden de 5,49% en 2002 y 4,88% en 2003 (Cuadro 9.5). La media

interanual de toda la población estudiada es de 2,89% con un coeficiente de variación de 4,17% (Cuadro 9.6).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos estudiados, los años de estudio y la interacción "genotipo" × "año" (Cuadro 9.11), lo que indica que este cociente está bajo control genético, pero modificado por las condiciones climáticas del año. Sin embargo, los coeficientes de variación entre los genotipos fueron mayores que la variación interanual, mostrando una mayor influencia varietal, por lo que este carácter puede considerarse una característica varietal. La interacción "genotipo" × "año" se ha manifestado por la variación del valor para un mismo genotipo de un año a otro, excepto en el caso de las variedades 'Moncayo', 'Guara', 'Bertina' y 'Felisia' y en las selecciones G-1-67, G-2-11, G-2-2, G-2-22, G-2-7, G-6-39, H-3-37, I-3-10 y H-1-108.

9.4.1.5 Contenido en ceniza y macro-elementos minerales (K, CA Y MG)

El valor del contenido en ceniza osciló entre 2,72 y 4,11% de materia seca en los dos años (Cuadro 9.5). El valor medio interanual fue de 3,27%, con un coeficiente de variación de 4,55%. Estos resultados coinciden con los de Romojaro et al. (1977) con 3,45%, Souty et al. (1971) con 3,1% y Saura Calixto et al (1988) con 3,17%. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos, los años y para la interacción "genotipo" × "año" (Cuadro 9.11), lo que muestra que este carácter depende del genotipo y de las condiciones climáticas. Los coeficientes de variación fueron del 3,87% en 2002, 4,11% en 2003 (Cuadro 9.5) y 4,55% entre ambos años (Cuadro 9.6). Como estos coeficientes fueron similares, el efecto genotípico no es un factor decisivo para el contenido en ceniza frente a los factores climáticos.

Saura Calixto et al. (1988) ya mencionaron que este carácter presenta una gran variación según el año y la procedencia, y que estas variaciones eran mayores que las que observaron entre genotipos, por lo que no se puede considerar que ciertas variedades de almendro se caractericen por tener contenidos más o menos elevados que otras. En cualquier caso, el contenido en ceniza de las pepitas de nuestro trabajo parece ser lo suficientemente elevado para poder considerar la almendra como una importante fuente de elementos minerales desde el punto de vista nutricional, ya que la mayoría de estos genotipos superan el 3 % de materia seca establecido por Saura Calixto et al. (1988).

También se determinó el contenido en algunos macroelementos para averiguar su variabilidad en la población estudiada. En la bibliografía el potasio se considera el elemento mayoritario en el almendro

(Saura Calixto et al., 1988). El contenido en K fue elevado en esta población, con un rango de variabilidad del 0,62‰ al 1,10‰ de materia seca en 2002, y del 0,65‰ al 1,15‰ en 2003, con un coeficiente de variación de 4,35% y 6,65% respectivamente, lo que refleja la gran variabilidad que existe en esta población para el contenido en potasio.

Los contenidos en calcio y magnesio presentan valores cuantitativos sensiblemente inferiores a los del potasio y próximos entre sí, de manera que en algunos genotipos el contenido en uno es mayor que el del otro, y en otros genotipos ocurre lo contrario. En cualquier caso, en términos medios el contenido en calcio es superior al contenido en magnesio (Cuadro 9.5). Al estudiar su rango de variabilidad y los coeficientes de variación entre genotipos (Cuadro 9.5), los contenidos en Ca y Mg presentan una mayor variabilidad genotípica que el contenido en K. Los mismos resultados se han señalado para otras variedades de almendro (Saura-Calixto y Cañellas, 1982; Souty et al., 1971).

El análisis de varianza (Cuadro 9.11) mostró diferencias significativas entre los genotipos y la interacción "genotipo" × "año" para los tres macro-nutrientes estudiados, mientras que el factor año es significativo sólo para el contenido en calcio, lo que indica que el contenido en K y Mg están bajo control genético. Sin embargo, en el caso del Ca, el factor año es determinante. La significación de la interacción "genotipo × año" indica que la magnitud y la clasificación de los genotipos cambian ampliamente de un año a otro, lo que refleja la dificultad de considerar que ciertas variedades del almendro se caractericen por tener de una forma sistemática contenidos elevados que otras.

9.4.1.6 Contenido en fibra bruta

La fibra bruta está compuesta básicamente por celulosa, lignina y hemicelulosa. Su contenido presenta una gran variabilidad entre los genotipos (Cuadro 9.3). La media interanual es de 5,81 % de materia seca con un coeficiente de variación de 9,81%. Estos resultados coinciden con los de Mateos Otero y Castañer Gamero (1993), aunque en la bibliografía (Romojaro et al., 1988; Saura Calixto et al., 1988) se han señalado valores inferiores a los encontrados en este estudio.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las selecciones estudiadas, los años y la interacción "genotipo" × "año" (Cuadro 9.11), lo que confirma la gran variabilidad de este carácter entre los genotipos y los años.

9.4.2 REPETIBILIDAD DE LOS CARACTERES

El estudio de la repetibilidad de los resultados para los dos años de estudio mostró valores bajos para el contenido en fibra (0,22), valores intermedios para el contenido en ceniza, en Ca, en los ácidos grasos palmítico, esteárico y palmetoleico y en el cociente R3 (0,58-0,77), y valores elevados para el contenido en aceite, en proteína, en N, en K, en Mg, en los ácidos grasos oleico y linoleico y en el cociente R2 (0,84-0,95). La alta repetibilidad obtenida para algunos caracteres indica que los valores obtenidos en el primer año de evaluación son suficientes para caracterizar un genotipo, mientras que para el resto de las variables los valores del primer año no son suficientes para considerarlos un indicador de los valores del genotipo.

No se ha estudiado la repetibilidad de los tres homólogos de tocoferol debido a la alta variación interanual observada (Fig 9.3). En otras especies, como el olivo (Léon et al., 2004), se ha encontrado una gran estabilidad interanual de algunos caracteres, como el contenido en aceite (3 años de estudio), sin embargo, en la misma especie Lavee (1990) encontró que algunos caracteres son estables y repetitivos solamente durante 2 o 3 años, mostrando después una gran variabilidad. Por ello, consideramos que estos resultados son orientativos porque son de un material vegetal que se había sometido anteriormente a un proceso de selección para otros caracteres de interés agronómico y sólo durante dos años. Para validar estos resultados es necesario ampliar el número de genotipos y los años de estudio.

9.4.3 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS MULTIVARIANTE A LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PEPITA

Este tipo de análisis permite identificar aquellas variables que más contribuyen a la explicación de la variabilidad total observada en la población estudiada. Así mismo, permite determinar las semejanzas entre los genotipos para la composición química de la pepita.

9.4.3.1 Estudio de la variabilidad de los caracteres químicos

Los resultados han sido similares para los dos años de estudio en cuanto a las variables aceite, proteína, ácidos grasos, fibra bruta, ceniza y minerales. La varianza explicada por los tres primeros ejes del PCA ha sido 28,46%, 18,69% y 14,57% en el 2002 y 26,98%, 18,17% y 15,45% en el 2003, lo que significa, respectivamente, una acumulación de 61,72% y del 60, 61% de la varianza total (Cuadro 9.12).

En ambos años el primer eje está determinado positivamente por el ácido oleico y los cocientes R2 (ácido oleico/ácido linoleico) y R3 (ácidos saturados/ácidos insaturados) y negativamente por los ácidos linoleico y palmítico (Cuadro 9.12). El segundo eje está positivamente determinado por los contenidos en proteína y magnesio y negativamente por el contenido en aceite y el cociente R1 (% aceite/% proteína). El tercer eje está determinado positivamente por el contenido en ceniza, en potasio y en calcio y negativamente por el ácido palmitoleico (Cuadro 9.12). Hay que subrayar que el ácido esteárico contribuyó positivamente a la explicación del eje 3 en 2002, aunque no en 2003. Así mismo se ha observado que el contenido en fibra bruta ha contribuido de distinta forma en la explicación del eje 3 en cada año (Cuadro 9.12).

A la vista de estos resultados se puede concluir que el contenido en ácidos grasos mayoritarios (oleico, linoleico y palmítico) y los cocientes R2 y R3 son los caracteres que contribuyen mayoritariamente a la explicación de la variabilidad fenotípica encontrada en esta población.

Cuadro 9.12. Varianza y contribución de las variables estudiadas en la explicación de los tres componentes principales en el año 2002 y 2003.

Años	2002			2003		
	Eje 1	Eje2	Eje3	Eje 1	Eje2	Eje3
Componentes principales						
Variables	Varianza acumulada (%)			Varianza acumulada (%)		
	28,46	47,16	61,72	26,98	45,16	60,61
% aceite	0,195	-0,403	0,155	0,286	-0,311	-0,098
Ac. palmítico	-0,368	-0,154	-0,095	-0,337	-0,186	-0,255
Ac. palmitoleico	-0,067	0,034	-0,355	-0,103	0,011	-0,287
Ac. esteárico	-0,043	-0,031	0,449	0,123	-0,034	-0,009
Ac. oleico	0,423	0,230	0,011	0,433	0,242	-0,127
Ac. linoleico	-0,408	-0,228	0,004	-0,417	-0,211	0,181
% proteína	-0,260	0,460	-0,094	-0,248	0,480	-0,169
R1 (% aceite/% proteína bruta)	0,232	-0,493	0,145	0,254	-0,493	0,099
R2 (% oleico/% linoleico)	0,409	0,238	0,031	0,419	0,218	-0,162
R3 (% saturados/% insaturados)	0,337	0,163	-0,181	0,316	0,223	0,230
% fibra	0,182	-0,194	-0,283	0,119	-0,118	0,328
% ceniza	-0,005	0,248	0,460	-0,069	0,231	0,415
Calcio	-0,015	0,043	0,163	-0,090	-0,135	0,374
Magnesio	-0,186	0,256	0,177	-0,193	0,220	0,016
Potasio	-0,036	0,027	0,532	0,043	0,113	0,504

^z Las abreviaturas correspondientes en cuadro 9.1.

9.4.3.2 Similitud entre los genotipos y sus parentales

Para realizar este estudio se aplicó un análisis de componentes principales con los datos de la composición de la cosecha de 2003. La varianza explicada por los tres primeros ejes fue de 25,15, 18,58 y 14,78 %, lo que representa un total acumulado de 58,51 % de la varianza total (Cuadro 9.13).

El primer eje está determinado positivamente por el contenido en aceite, el ácido oleico y los cocientes R2 (ácido oleico/ácido linoleico) y R3 (ácidos saturados/ácidos insaturados) y negativamente por los ácidos linoleico y palmítico (Cuadro 9.13). El segundo eje, está determinado positivamente por el contenido en α -tocoferol, γ -tocoferol, tocoferol total y el ácido palmítico. El tercer eje está determinado positivamente por el contenido en ceniza, en magnesio y en proteína y negativamente por el contenido en aceite y el cociente R1 (% aceite/% proteína). El cuarto eje está determinado positivamente por el contenido en cenizas, en potasio y en calcio y negativamente por el ácido palmitoleico (Cuadro 9.13).

Cuadro 9.13. Contribución de las características químicas de la pepita del año 2003 a los 4 primeros componentes principales.

Componentes Principales		Eje 1	Eje2	Eje3	Eje4
Variables	Varianza acumulada (%)	25,12	18,58	14,78	12,31
% Proteína		-0,198	-0,030	0,520	-0,170
% Aceite		0,257	0,025	-0,342	-0,113
R1 (% Aceite / % Proteína)		0,207	0,047	-0,527	0,095
Ac. Palmítico		-0,295	0,238	-0,084	-0,205
Ac. Palmitoleico		-0,068	0,116	0,058	-0,200
Ac. Estearico		0,112	-0,097	-0,061	-0,052
Ac. Oleico		0,440	-0,071	0,188	-0,054
Ac. Linoleico		-0,432	0,037	-0,169	0,093
R2 (Ac. Oleico / Ac. Linoleico)		0,435	-0,035	0,174	-0,065
R3 (Ac. saturados / Ac. insaturados)		0,241	-0,184	0,142	0,184
α -Tocoferol		0,004	0,518	0,098	0,105
δ -Tocoferol		0,016	0,151	-0,012	0,108
γ -Tocoferol		0,037	0,361	-0,062	0,268
Tocoferol total		0,005	0,523	0,094	0,114
% Ceniza		-0,066	-0,138	0,292	0,496
Potasio		0,020	-0,123	0,044	0,563
Calcio		-0,120	-0,058	-0,164	0,373
Magnesio		-0,181	-0,067	0,220	-0,042

La representación de los genotipos en los tres primeros ejes del PCA (Fig 9.4) permite identificar aquellos que presentan los valores altos o bajos según su disposición sobre cada eje del PCA. Los genotipos que se posicionan sobre la parte positiva extrema del eje 1 presentan valores muy altos en ácido oleico y los índices R2 y R3 y valores bajos en ácidos linoleico y palmítico, como es el caso de los genotipos: G-3-5, G-4-10 e I-3-27, todo lo contrario de las selecciones G-1-38, G-3-4, G-4-3 y H-1-108 y la variedad 'Guara'.

Sobre el eje 2 destacan los valores altos en tocoferol de las selecciones G-5-2 e I-3-11 y los valores medios a bajos de G-1-44 y G-2-25 y la variedad 'Bertina'. Sobre el eje 3 destaca los valores

menores de toda la población en aceite y el índice R1 de las selecciones A-10-6, G-1-38, G-3-65, G-5-2, H-1-108 y la variedad 'Moncayo' y los valores mayores de las selecciones G-2-1, G-2-26, G-3-12, G-5-18 y G-6-24. Por otro lado el reparto de las selecciones y los parentales en los tres primeros eje del PCA, muestra que las selecciones estudiadas no se agrupan según su origen genealógico.

Al establecer el dendrograma (Fig 9.5) con las coordenadas de los genotipos de acuerdo con el análisis de los componentes principales, con una disimilaridad entre 0,75 y 1, se generaron 4 grupos distintos con dos genotipos aislados de todos los demás, la variedad 'Guara' y la selección G-5-2, que se separaron pronto del resto de los genotipos estudiados (Fig 9.4 y 9.5).

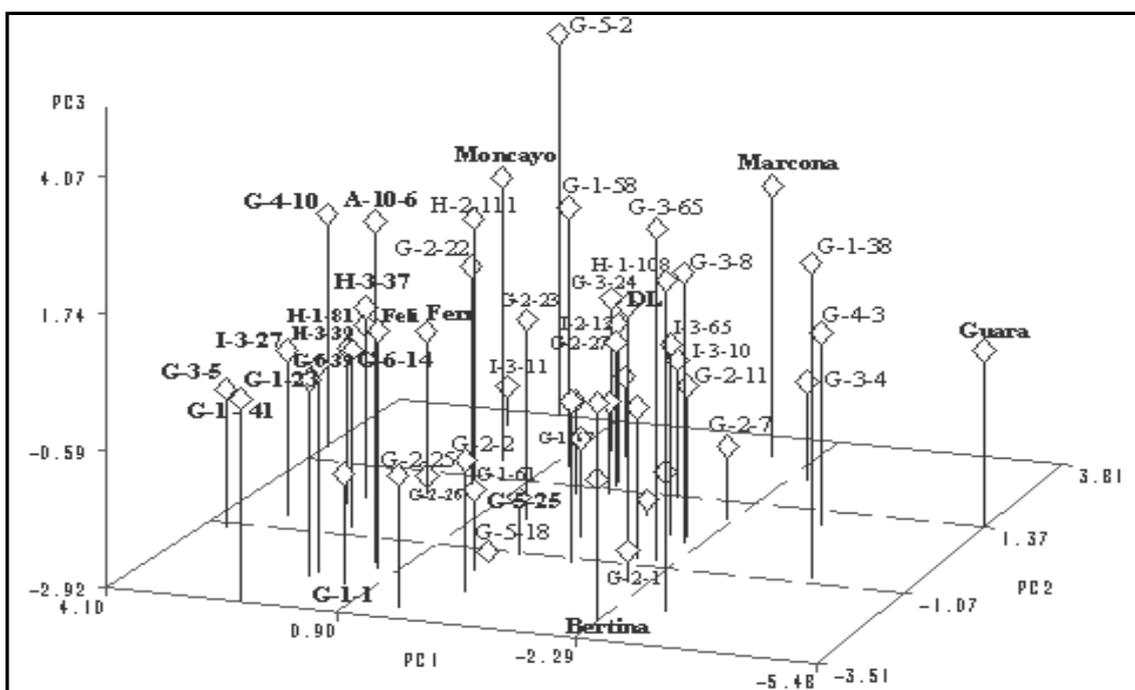


Fig 9.4. Distribución de los distintos genotipos según el valor de los componentes principales de su composición.

La variedad 'Guara' se caracteriza por unos valores altos de los ácidos linoleico y palmítico, valores muy bajos del ácido oleico y los índices R2 y R3 sobre el eje 1; valores altos del contenido en tocoferol sobre el eje 2, y valores medios en proteína, ceniza y magnesio y valores bajos del contenido en aceite y el cociente R1 (% aceite/% proteína), del contenido en ceniza, potasio y calcio y en ácido esteárico y bajos en ácido palmitoleico sobre el eje 3. La selección G-5-2 se caracteriza por unos valores altos del ácido oleico, del contenido en tocoferol, los índices R2, R3, magnesio, proteína y ceniza; valores muy bajos de los ácidos linoleico y palmítico, del porcentaje en aceite y el índice R1. Esta selección presenta valores altos en calcio y potasio.

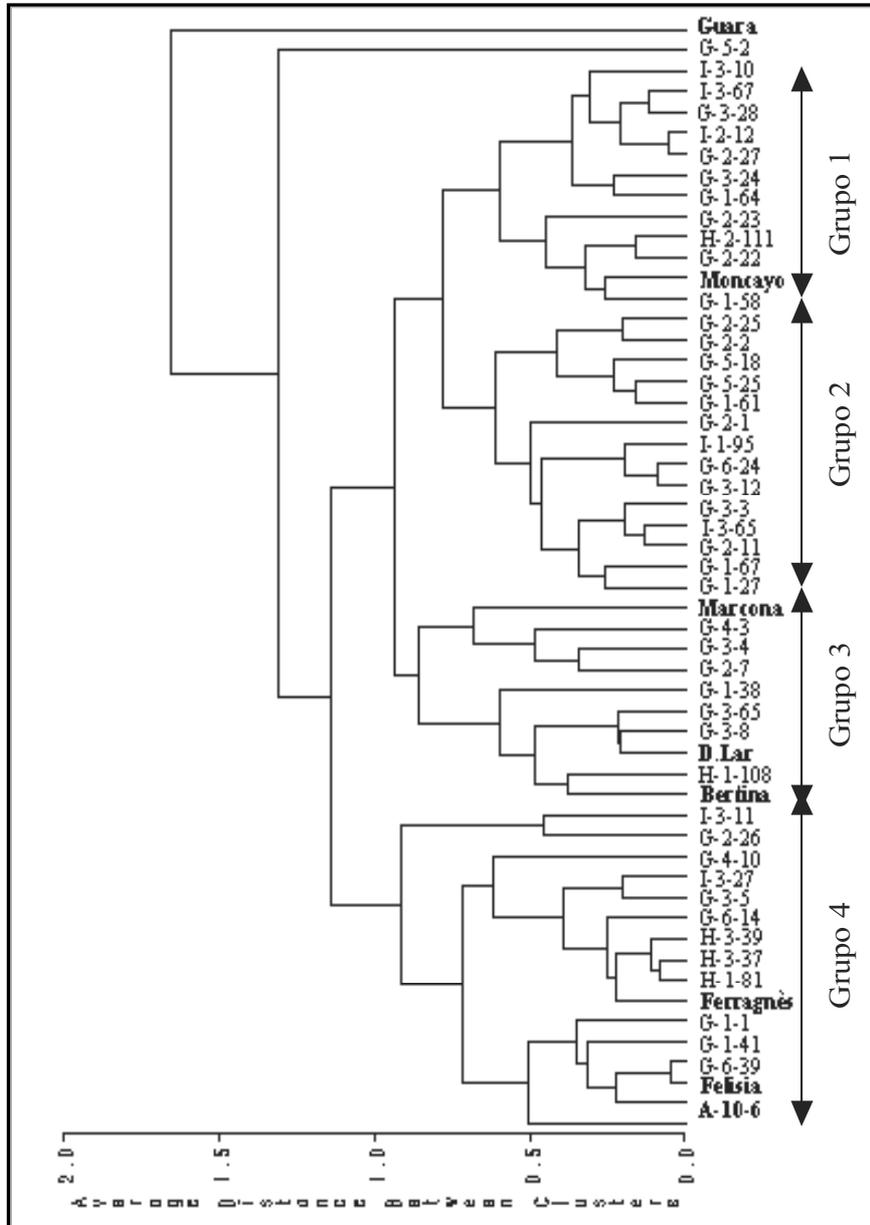


Fig 9.5. Dendrograma los genotipos en función de los componentes químicos de la pepita.

El grupo 1 está formado por 12 selecciones: *I-3-10*; *I-3-67*; *G-3-28*; *I-2-12*; *G-2-27*; *G-3-24*; *G-1-64*; *G-2-23*; *H-2-111*; *G-2-22*; *G-1-58* y la variedad '*Moncayo*' (Fig 9.5), que se posicionan sobre la parte mediana positiva del eje1 (Fig 9.4). Estos genotipos presentan valores medios del ácido oleico y de los índices R2 y R3 y valores bajos de los ácidos linoleico y palmítico sobre el eje 1 (Fig 9.4). La mayoría presenta valores de medios a altos de las variables que contribuyen en la explicación del eje 2, salvo la selección G-5-18, que presenta valores bajos en α - y γ -tocoferol y el tocoferol total. Sobre el eje 3 destaca la posición de las selecciones G-1-58, G-2-22, H-2-111 y la variedad '*Moncayo*' (Fig 9.4), que se caracterizan por valores altos en proteína, ceniza y magnesio y valores muy bajos del porcentaje en

aceite y el cociente R1, mientras que el resto de las selecciones presenta valores altos en aceite y R1 y bajos en proteína. Los genotipos de este grupo presentan valores medios a altos en ceniza, potasio y calcio. En este grupo resalta la gran similitud en la composición de los ácidos grasos entre la variedad 'Moncayo' y la selección G-1-58.

El grupo 2 está formado por 13 selecciones: **G-1-27; G-1-67; G-2-11; I-3-65; G-3-3; G-3-12; G-6-24; I-1-95; G-2-1; G-1-61; G-5-25; G-5-18; G-2-2 y G-2-25** (Fig 9.5). Estos genotipos se caracterizan por valores medios a altos del ácido oleico y de los índices R2, R3 y valores altos en ácidos linoleico y palmítico sobre el eje 1 (Fig 9.4). Sobre el eje 2 destacan las selecciones G-1-61, G-2-1, G-2-2 y G-5-25 (Fig 9.4) que se caracterizan por valores muy bajos en tocoferol, mientras que el resto de las selecciones presenta valores medios. Sobre el eje 3 los genotipos de este grupo se caracterizan por valores altos en contenido en aceite y el índice R1 y valores muy bajos en proteína y magnesio. De este grupo se destacan los valores altos en ceniza, potasio y calcio de las selecciones G-3-3 y G-3-12.

El grupo 3 está constituido por 7 selecciones: **G-4-3; G-3-4; G-2-7; G-1-38; G-3-65; G-3-8 y H-1-108** y las variedades '**Bertina**', '**Desmayo Largueta**' y '**Marcona**' (Fig 9.5). Este grupo se caracteriza por valores muy bajos de las variables que contribuyen positivamente a la explicación del eje 1 (Fig 9.4). Las selecciones G-1-38 y G-4-3 presentan los valores más bajo del ácido oleico y de los índices R2 y R3 y los valores más altos de los ácidos linoleico y palmítico de este grupo. Sobre el eje 2 destacan la selección H-1-108 y las variedades 'Felisia' y 'Desmayo Largueta', los valores más bajos del tocoferol. Resalta que la variedad 'Marcona' y la selección G-4-3 presenten valores muy altos en cuanto a estas variables. Sobre el eje 3 los genotipos de este grupo presentan valores muy altos en proteína y magnesio y valores muy bajos en aceite y el índice R1. Las selecciones de este grupo presentan valores medios a bajos en ceniza, potasio y calcio. Destacan los valores altos de las selecciones G-1-38, G-3-4 y G-3-8 y los valores muy bajos de las variedades 'Bertina', 'Desmayo Largueta' y 'Marcona'. Destaca la gran similitud en cuanto a la composición química de la pepita en general entre la variedad 'Bertina' y la selección H-1-108 y entre la variedad 'Desmayo Largueta' y la selección G-3-8, teniendo en cuenta que no existe ninguna relación genealógica entre estos genotipos.

El grupo 4 está constituido los genotipos: **G-1-23; G-6-39; G-1-41; G-1-1; H-1-81; H-3-37; H-3-39; G-6-14; G-3-5; I-3-27; G-4-10; G-2-26; I-3-10**, y '**A-10-6**' y las variedades '**Ferragnès**' y '**Felisia**' (Fig 9.5) que se caracterizan por los valores altos del contenido en ácido oleico, y los índices R2 y R3 y muy bajos en ácido linoleico. Destacan las selecciones G-3-5, G-4-10 y I-3-27 por sus valores más altos de ácido oleico de toda la población. Sobre el eje 2 destacan las selecciones G-1-1, G-1-23, G-1-41 y G-6-

39 y la variedad 'Felisia', con los valores más bajos del tocoferol. Resalta que la selección I-3-11 presente valores muy altos en cuanto a estas variables. Sobre el eje 3 estos genotipos se caracterizan por valores medios en contenido en aceite, proteína, el índice R1, ceniza y magnesio, salvo las selecciones G-2-26 y I-3-11 que presentan valores bajos en proteína, ceniza y magnesio, y altos en aceite y el índice R1. Las selecciones de este grupo se caracterizan por unos valores medios a bajos en ceniza, potasio y calcio, con la excepción de las selecciones G-1-23, G-1-41 y G-4-10 que presentan valores muy altos en cuanto a estas variables.

9.5 CONCLUSIONES

Estos resultados han demostrado la variación continua de los valores de los distintos componentes químicos entre los genotipos estudiados, lo que confirma la variabilidad ya señalada para algunos de los componentes químicos de la pepita de almendra (Abdallah et al., 1998; Aslantaş et al., 2001; Barbera et al., 1994; Cordeiro et al., 2001; Saura Calixto et al., 1981).

Sin embargo la escasez de estudios sobre la composición en tocoferol del aceite de la almendra dificultó la interpretación de nuestros resultados. La variación continua del contenido de los tres homólogos del tocoferol sugiere que estos caracteres podrían estar bajo control poligénico. En el almendro no se conoce el determinismo genético ni el modo de transmisión de estos componentes, pero en otras especies, como la colza *Brassica napus* L. (Goffman y Becker, 2001), el maíz *Zea mays* L. (RocheFord et al., 2002), *Arabidopsis thaliana* (Shintani y DellaPena, 1998), el contenido total de tocoferol y su composición se encuentran bajo el control de unos pocos genes de efecto aditivo.

El análisis multivariante indica que el perfil en ácidos grasos, sobre todo en oleico, linoleico y palmítico, y los cocientes R2 (% oleico/% linoleico) y R3 (ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados) son los componentes químicos que presentan la mayor variabilidad de la composición química de la pepita, seguidos por los tocoferoles. Por lo tanto los compuestos del aceite de la pepita son los que contribuyen mayoritariamente en la explicación de la variabilidad fenotípica encontrada en esta población. Ello indica que el perfil químico del aceite de la pepita es una buena herramienta de caracterización e identificación de las variedades de almendro.

La ausencia de agrupamiento de las selecciones según su origen genealógico indica que la transmisión de las características químicas de la pepita se realiza independientemente de los parentales. Por lo tanto, el perfil químico de la pepita no se puede utilizar como herramienta de

predicción de la genealogía de las variedades en el almendro como se había recomendado anteriormente (García López et al. 1996).

A la vista de estos resultados destacan los valores altos de los genotipos del grupo 4 y las selecciones G-2-22, G-5-2, H-2-111 y la variedad 'Moncayo' en ácido oleico y los índices R2 y R3 y los valores bajos en ácido linoleico. Ello muestra que la pepita de estos genotipos presentan un elevado valor nutritivo, ya que la fracción lipídica de la almendra constituye una fuente de calorías que no contribuyen a la formación de colesterol, debido a su elevado nivel de ácidos grasos insaturados (Kafkas et al. 1995) y sobre todo de los mono-insaturados.

En la bibliografía se han propuesto diversos criterios para evaluar la resistencia de la pepita al enranciamiento y para establecer una clasificación de las variedades de almendro en relación a este problema. Kester et al (1993) indicaron que las variedades que presentan un elevado cociente "ácido oleico/ácido linoleico" son más resistentes al enranciamiento. En otras especies, como el avellano, se propuso el cociente "ácidos grasos saturados/ácidos grasos insaturados" como criterio de evaluación de la resistencia de las avellanas al enranciamiento (Özdemir et al., 2001). Se puede pues deducir que las selecciones del grupo 4 y algunas selecciones como G-2-22, G-5-2 y H-2-111 y la variedad 'Moncayo' presentan una composición de la fracción lipídica que les permite una mejor resistencia al enranciamiento que el resto de la población.

Sin embargo la variedad 'Guara', que presenta una composición opuesta a la definida por estos criterios, presenta una elevada resistencia a la oxidación y al enranciamiento (Berenguer-Navarro et al., 2002). Ello indica que la resistencia del aceite al enranciamiento no depende sólo de su perfil en ácidos grasos, sino también de su composición en antioxidantes naturales, como el tocoferol. Esta variedad presenta valores altos en los tres homólogos de tocoferol, sobre todo en γ -tocopherol, lo que le confiere una elevada resistencia al enranciamiento. Los mismos comentarios se aplican a la variedad 'Marcona'. Ello confirma que la riqueza del aceite del almendro en tocoferol le confiere una resistencia elevada ante los procesos oxidativos, como se había determinado en otras variedades (Rizzolo et al. 1994; Senesi et al. 1996).

En el almendro, la presencia de un elevado porcentaje en α -tocopherol es prioritaria porque este homólogo ejerce una actividad biológica diez veces superior a la del γ -tocopherol (Pongracz et al., 1995). Se ha observado en el almendro que dos años después de la recolección el γ -tocopherol desaparece totalmente de la pepita mientras que el α -tocopherol disminuye hasta un 90% (Zacheo et al., 2000). Por

estas razones, las actuales investigaciones relativas al beneficio nutricional del α - y el γ -tocoferol deben tenerse en cuenta en el momento de desarrollar nuevas estrategias de mejora del almendro para modificar el nivel de estos importantes, como ya se ha recomendado en otras especies como el maíz (Rochefford et al, 2002), ya que estos resultados muestran que la selección para un elevado contenido en tocoferol es un objetivo plenamente posible en un plan de mejora del almendro. Por lo tanto a la hora de evaluar la estabilidad oxidativa de una variedad de almendro es recomendable determinar no sólo su perfil en ácidos grasos sino también su composición en antioxidantes naturales como los tocoferoles.

La utilización del aceite de almendra en productos farmacológicos, cosméticos y dietéticos (Schirra, 1997) requiere la determinación de la posible duración del almacenaje de la pepita y del aceite sin el deterioro de su calidad mediante el estudio de la estabilidad y la resistencia al enranciamiento de los ácidos grasos. Cuanto mayores son los índices R2 y R3, y el contenido en tocoferol, tanto más resistente es el aceite a las alteraciones oxidativas. Las selecciones G-1-58, G-1-64, G-2-22, G-3-24, G-5-2, H-2-111, I-3-67 y las variedades 'Guara', 'Marcona' y 'Moncayo', con elevados índices R2, R3 y contenido en tocoferol, presentan almendras más estables y menos sensibles al enranciamiento y a las deterioraciones oxidativas, por lo que se pueden almacenar durante mucho tiempo.

Los altos niveles en α -tocoferol, la vitamina-E, de estas selecciones, permite utilizarlas como fuente de alto valor nutritivo en la dieta humana, ya que varios estudios han asociado esta vitamina a la disminución de los riesgos de cáncer y de enfermedades cardiovasculares (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996). Los elevados valores en estos componentes en algunas selecciones, en comparación con los valores encontrados en sus parentales, confirman la posibilidad de mejorar la calidad tecnológica y alimenticia de la pepita en las descendencias, aumentando así las posibilidades de crear nuevo material vegetal con una larga vida útil poscosecha y un buen comportamiento en los procesos de transformación a que se somete la pepita en el sector industrial.

El contenido en materia grasa es un elemento muy importante para determinar la futura utilización de la almendra. Así el contenido graso tiene que ser bajo para obtener una harina fina. Para fabricar leche de almendra, utilizada en productos dietéticos, la cantidad de lípidos tiene que ser reducida para hacerla absolutamente similar a la leche de vaca en cuanto al contenido en calorías (Cotta Ramusino et al., 1961). En tal caso, las selecciones que presentan un contenido bajo en lípidos, como G-3-8, G-5-2, G-3-65, G-1-38, G-1-58 y H-1-108, son las más adecuadas. Además estas selecciones presentan valores elevados en sales minerales y pueden ser consideradas fuentes importantes de Ca y Mg.

Por otra parte, el índice R1 (% proteína/% grasa) es importante para la industria de la confitería, especialmente para la producción de mazapán, puesto que influye en la absorción de agua por la pasta de almendra y cuanto más alto es el contenido en lípidos, menor es la absorción de agua (Alessandrini, 1980). Las selecciones que presentan un índice R1 elevado podrían ser las más apropiadas para la fabricación de mazapán o pasta de almendra, como G-2-1, G-2-7, G-2-25, G-1-61, G-1-64, G-6-24, G-3-12, G-3-4, G-3-28, G-5-18, G-5-25, I-1-95 y I-3-11. Estas selecciones pueden considerarse alternativas a la variedad 'Marcona', debido a sus características agronómicas (floración tardía, autocompatibilidad, etc.). Las selecciones que presentan un índice R1 bajo podrían ser las más adaptadas para su utilización como complemento de pienso, después de extraer el aceite, debido a su alto contenido proteico (Longhi, 1952).

El mercado español valora solamente las variedades tradicionales 'Marcona' y 'Desmayo Largueta'. Como estas variedades son de floración precoz y semi-precoz, las heladas tardías pueden causar hasta un 90% de pérdidas en su producción (Felipe, 1988). Estas pérdidas pueden provocar un aumento importante del precio de la materia prima y de los productos derivados de la almendra, así como una inestabilidad en el mercado. Por ello uno de los objetivos de la mejora es la selección de nuevo material vegetal que presente las mismas características físicas y químicas que las variedades 'Marcona' y 'Desmayo Largueta', pero con otros caracteres de interés agronómico.

'Marcona' suele utilizarse como materia prima para fabricar turrón y mazapán, ya que la mayoría de los consumidores prefieren mazapanes preparados con 'Marcona' o 'Desmayo Largueta' (Abellán et al., 1995; Romero et al., 2002). El uso de nuevas selecciones de floración tardía que presenten un perfil de composición química de la pepita similar a la de 'Marcona' representa una solución para escapar del riesgo de pérdidas por heladas y asegurar la disponibilidad y un precio razonable en el mercado, como G-3-8, G-3-65 o 'Bertina'.

La gran variabilidad encontrada en la población estudiada en cuanto a los caracteres relativos a la composición química de la pepita, la mejora lograda en las descendencias en comparación con sus parentales y las alternativas que pueden ofrecer estas nuevas selecciones a las variedades tradicionales son una razón evidente para justificar un programa de mejora del almendro con otras perspectivas y objetivos, como son la mejora de la calidad tecnológica y alimenticia de la almendra a través de las características químicas de la pepita.

Capitulo 10. Características físicas y antioxidantes del tegumento

10. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ANTIOXIDANTES DEL TEGUMENTO

10.1 INTRODUCCIÓN

La película exterior de la pepita está compuesta por el tegumento, que difiere en color, aspecto de la superficie externa y espesor según las variedades. El peso y el grosor del tegumento son variables y ello tiene importancia comercial e industrial (Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980), ya que el repelado de una pepita con tegumento grueso puede causar una pérdida entre el 5% y 10% de su peso (Berger, 1969; Felipe, 2000). Sin embargo, para algunos procesos industriales como la almendra tostada, un tegumento grueso de la piel facilita su desprendimiento, como sucede con la variedad 'Desmayo Largueta' (Felipe, 2000), lo que le confiere una especial calidad comercial.

Así mismo es importante tener en cuenta el papel que podría jugar el tegumento en la protección de la pepita. La facilidad de enranciamiento de una almendra es distinta según sea almacenada con o sin cáscara e igualmente es distinta para una almendra descascarada según esté o no pelada (Guadagni et al., 1978; Rizzolo et al., 1994). La protección que ofrece el tegumento se debe a sus características físicas y químicas, y de un modo especial a su naturaleza y composición. En la bibliografía se citan pocos estudios relacionados con la determinación de las propiedades antioxidantes del tegumento, si bien este tema ha empezado a adquirir importancia estos últimos años por el interés de la industria en conseguir antioxidantes naturales en lugar de antioxidantes sintéticos y por la tendencia actual de los consumidores hacia los alimentos que no lleven aditivos sintéticos (Krings y Berger, 2001).

Los tegumentos se pueden utilizar como complemento en la preparación de piensos para animales (Schirra, 1997). Recientemente, varios estudios han mostrado que el tegumento está compuesto por varios componentes químicos de elevado valor nutritivo (Sánchez-Vizcaíno y Moreno, 1978; Saura-Calixto et al., 1988), terapéutico (Frison y Sporns, 2002) y antioxidante (Sang et al., 2002). La determinación de la actividad antioxidante de extractos vegetales se basa generalmente en la medida de la capacidad de eliminación de radicales libres y en la determinación del contenido de polifenoles totales. Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios biosintetizados por las plantas y su actividad antioxidante se atribuye a la inhibición de enzimas pro-oxidantes como la lipo-oxigenasa (Decker, 1998).

En la bibliografía se han encontrado pocas referencias del almendro en relación a la actividad antioxidante del tegumento (Berenguer-Navarro y Prats, 2003; Sang et al., 2002). Sólo en elementos vegetativos se han realizado algunos estudios, como la variabilidad del contenido de compuestos fenólicos en ramas de algunas variedades de almendro (Misirli et al., 1994).

El objetivo de este capítulo fue el estudio de la variabilidad física y de la capacidad antioxidante del tegumento de 52 genotipos del almendro, determinando el contenido de polifenoles totales y su actividad anti-radicalaria.

10.2 MÉTODOLÓGIA

10.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Para determinar las características del tegumento se consideraron 3 variables: peso de la pepita, peso del tegumento y rendimiento de la pepita al repelado. Para ello se cogieron 20 almendras por genotipo y se escaldaron en agua a una temperatura de 100°C. Después de separar los tegumentos se dejaron secar y se pesaron.

10.2.2 CONTENIDO EN POLIFENOLES

El contenido de polifenoles totales de los tegumentos se ha estimado por ensayos colorimétricos aplicando el procedimiento descrito por Folin y Ciocalteu (descrito en Foster y Etter, 1972). Para ello se cogieron 5 pepitas enteras al azar, se les añadieron 50 ml de agua destilada con unas gotas del ácido sulfúrico y se dejaron en agitación durante 12 horas. Una vez obtenido el extracto, 1 ml del mismo se diluyó en 60 ml de agua destilada y se le añadieron 5 ml del reactivo de Folin y Ciocalteu. Después de la homogenización de la solución se adicionaron 15 ml de una solución de carbonato de sodio al 20% y se dejó reposar durante 2 horas a una temperatura de 75°C. Se midió la densidad óptica de cada muestra a una absorbancia de 765 nm mediante un espectrofotómetro. La estimación del total de compuestos polifenólicos se llevó a cabo por calibración, utilizando una solución estándar del ácido gálico (529,2mg/ml H₂O). Los resultados se expresaron como equivalente de ácido gálico como mg de ácido gálico/g de tegumento.

10.2.3 CAPACIDAD ANTIRADICALARIA

Uno de los métodos más aplicados por su simplicidad y la velocidad de los análisis es el del DPPH (1,1-difenil-2-picril hidracilo) (Antolovich et al., 2002), siguiendo el método de Brand-Williams et al.

(1995). Para ello se cogieron 4 muestras aleatorias de cada selección, de 1, 2, 3 y 4 pepitas enteras, sucesivamente, se les añadieron 50 ml de etanol (95%) y se dejaron en agitación durante 12 horas. Luego se cogió 0.5 ml del extracto de cada muestra y se le adicionaron 4 ml de la solución de DPPH (0,18 mg/ml etanol), preparada diariamente. A continuación se dejó reposar 30 minutos a una temperatura de 30°C. Las medidas de absorbancia de las muestras y del estándar se efectuaron a 515 nm mediante espectrofotómetro. Los resultados del índice de absorbancia se representaron gráficamente en función de la cantidad de tegumento (mg) de cada muestra, y luego se calculó la cantidad de muestra necesaria para reducir la absorbancia al 50%, que se llamó I(A_{50%}).

10.3 RESULTADOS

10.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL TEGUMENTO

El peso del tegumento presentó una variabilidad importante con una media anual de 0,061 g en 2002 y 0,057 g en 2003. Los coeficientes de variación entre los genotipos fueron del mismo orden que el coeficiente de variación interanual (Cuadro 10.1). El rendimiento al repelado presentó una variabilidad muy inferior a la del peso del tegumento, con un coeficiente de variación inferior al 1% en ambos años (Cuadro 10.3). Destacó la selección G-6-14 por su elevado rendimiento al repelado, por lo que representó solamente un 4% de merma del peso de la pepita, mientras que la selección G-4-3 presentó un rendimiento al repelado del 93%, con una pérdida del 7% del peso de la pepita. Entre las variedades, 'Felisia' destacó por su elevado rendimiento al repelado y su bajo porcentaje de merma al repelado, todo lo contrario que 'Desmayo Largueta', lo que concuerda con su comportamiento en el tostado.

Cuadro 10.1. Análisis de los datos de las características del tegumento.

Variables	Media ± Sdt		Coeficiente de variación		Coeficiente variación interanual
	2002	2003	2002	2003	
Peso tegumento	0,061±0,002	0,057±0,006	3,91	7,34	8,27
Rendimiento al repelado	94,52±0,22	95,26±0,48	0,23	0,51	0,41
Merma	5,47±,021	4,73±0,48	4,03	6,27	7,78

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos y los años de estudio y la interacción entre ambos en cuanto al peso del tegumento y el rendimiento al repelado (Cuadro 10.2). Ello sugiere que estos caracteres están parcialmente bajo control genético pero su expresión se modifica según las condiciones del año. Por otra parte, la correlación entre caracteres determinados

por el coeficiente de Pearson, mostró que no existe ninguna correlación entre el peso de la pepita y el peso del tegumento, mientras que existe una correlación negativa y significativa entre el peso del tegumento y el rendimiento al repelado (-0,54, $P < 0,0001$).

Cuadro 10.2. Análisis de la varianza del peso del tegumento y el rendimiento al repelado.

Fuente de variación	GL	Peso del tegumento	Rendimiento al repelado
Cuadrados medios			
Genotipo	53	0,0009 ***	3,18 ***
Año	1	0,001 ***	25,48 ***
Genotipo × Año	53	0,0002 **	1,61 **
Residual	216	0,00002	0,157

, *: Significativo a una probabilidad inferior a 0,001 y 0,0001.

10.3.2 VARIABILIDAD DEL CONTENIDO EN POLIFENOLES TOTALES

La variabilidad del contenido en poli-fenoles totales fue muy grande, lo que coincide con los resultados de Berenguer-Navarro y Prats (2003) en otras variedades. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las selecciones y familias estudiadas (Cuadro 10.3). Los valores oscilan, para las selecciones, entre 222,7 (G-2-23) y 238 (H-3-37) mg ácido gálico/g de tegumento, y para las variedades entre 24,7 ('Marcona') y 146,9 ('Ferragnès') mg ácido gálico/g (Cuadro 10.4). En todo caso, 7 de las 48 selecciones tienen valores más altos que las variedades. Estos resultados indican que el contenido en polifenoles totales del tegumento depende de cada genotipo.

Cuadro 10.3. Análisis de varianza del contenido en polifenoles en las selecciones y los parentales.

Fuente de variación	GL	medios Cuadrados	F- test
Familia	4	57,45 ***	204,67
Familia (genotipo)	39	53,21 ***	189,58
Residual	44	0,28	

***: Significativo a una probabilidad inferior a 0,0001.

Debido al elevado número de selecciones de la familia 'Bertina' × 'Felisia' se realizó un análisis restringido de los resultados para estos individuos, que mostraron una gran variabilidad en cuanto al contenido en polifenoles totales. Los valores oscilaron entre 222,7 (G-2-23) y 421 (G-3-3) mg ácido gálico/g. También, se ha observado que 10 selecciones de las 34 procedentes de este cruzamiento tienen valores más altos que los de 'Bertina' (115,8 mg ácido gálico/g) y que 20 selecciones superan el contenido de polifenoles totales de 'Felisia' (64,9 mg ácido gálico/g). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las selecciones, confirmando que el contenido en polifenoles presenta una gran variabilidad (Cuadro 10.5).

Cuadro 10.4. Valores del contenido en poli fenoles del índice I(A_{50%}) de cada genotipo.

Selección	I(A _{50%})	Polifenoles GAE (mg/g)
G-6-24	0,457	153,9
G-1-38	0,500	159,3
G-2-22	0,531	135,6
G-2-25	0,553	104,3
Ferragnès	0,568	146,9
G-1-64	0,598	56,8
Guara	0,599	104,9
I-3-10	0,608	45,2
G-2-23	0,625	227,2
G-6-39	0,645	137,4
G-4-10	0,646	48,5
G-1-58	0,713	49,1
G-1-27	0,827	52,1
I-3-65	0,841	90,8
G-2-26	0,944	62,4
G-1-1	0,990	72,2
G-3-8	1,028	218,9
G-4-3	1,064	100,8
I-3-27	1,087	77,7
G-1-44	1,132	111,9
A-10-6	1,193	126,2
I-3-11	1,215	85,7
G-3-5	1,252	149,4
Moncayo	1,319	51,2
G-1-67	1,327	55,9
I-2-12	1,350	122,9
G-2-7	1,400	93,8
G-5-2	1,458	128
G-1-23	1,514	43,7
G-3-28	1,536	203,6
G-5-25	1,552	106,5
G-1-41	1,599	116,1
G-2-11	1,629	85,1
G-3-65	1,680	51,4
I-1-95	1,687	70,3
Felisia	1,689	64,9
G-6-14	1,765	146,7
H-1-81	1,852	53,7
I-3-67	1,896	153,1
Desmayo Largueta	1,946	93,1
H-3-39	1,946	45,9
H-2-22	1,954	118,2
G-1-61	1,970	77,9
G-3-24	2,106	53,5
G-3-3	2,106	42,3
Bertina	2,161	115,8
G-5-18	2,429	44,9
G-3-4	2,475	161,1
H-1-108	2,475	3,37
H-3-37	2,493	23,8
G-2-1	2,560	194,4
G-2-27	2,644	99,1
Marcona	2,761	24,7
G-3-12	2,805	59,4
G-2-2	3,067	44,8

Cuadro 10.5. Análisis de varianza del contenido en polifenoles totales de la familia 'Felisia' x 'Bertina'.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Selección	35	55,33 ***
Residual	36	0,28

***: Significativo a una probabilidad inferior a 0,0001.

10.3.3 ACTIVIDAD ANTI-RADICALARIA

La representación gráfica de los valores de absorbancia relativa de los extractos de todos los genotipos se ajusta bien a curvas de tipo polinomial de segundo grado (Fig 10.1). El eje de abscisas representa los mg de tegumento contenidos en la alícuota de extracto que se utiliza en la determinación fotométrica. La cantidad de tegumento (mg) que determina una reducción del 50% se ha determinado matemáticamente de las ecuaciones que corresponden a las curvas de los valores de absorbancia/peso de tegumento de cada genotipo. Los individuos con un $I(A_{50\%})$ bajo presentan una capacidad antiradicalaria muy fuerte, mientras que las de un $I(A_{50\%})$ alto poseen una actividad antiradicalaria baja.

Los resultados se presentan en el Cuadro 10.4, en el que se ve que el tegumento de la selección G-6-24 presenta la mayor capacidad antiradicalaria porque tiene el $I(A_{50\%})$ más bajo, mientras que la selección G-2-2 tiene la menor capacidad de toda la población, pues requiere 3,067 mg de tegumento para reducir la absorbancia inicial del estándar al 50%. Por otro lado, las selecciones G-6-24, G-1-38, G-2-22 y G-2-25 presentan una actividad antiradicalaria más alta que la de las variedades. El tegumento de 'Ferragnès' posee la mayor actividad antiradicalaria entre las variedades, seguida por 'Guara' y 'Moncayo', mientras que 'Bertina' y 'Marcona' presentan la menor capacidad antiradicalaria con los valores más altos de $I(A_{50\%})$.

10.4 DISCUSIÓN

En el almendro, todo el interés de los estudios sobre la calidad comercial, nutricional e industrial se han centrado en los aspectos de la pepita, sin prestar mucha atención a las características de otros componentes, como el tegumento, salvo en cuestiones de aspecto externo de la pepita como el color. Las características del tegumento no se han tenido nunca en cuenta debido a su bajo o nulo valor en el mercado, ya que en los procesos industriales es un producto de deshecho. Sin embargo, la repercusión que pueden tener sus características sobre el valor productivo, comercial y tecnológico de la pepita incita a estudiar este producto con el fin de concretar posibles nuevas aplicaciones y clarificar el papel que puede jugar el tegumento en la protección de la calidad de la almendra.

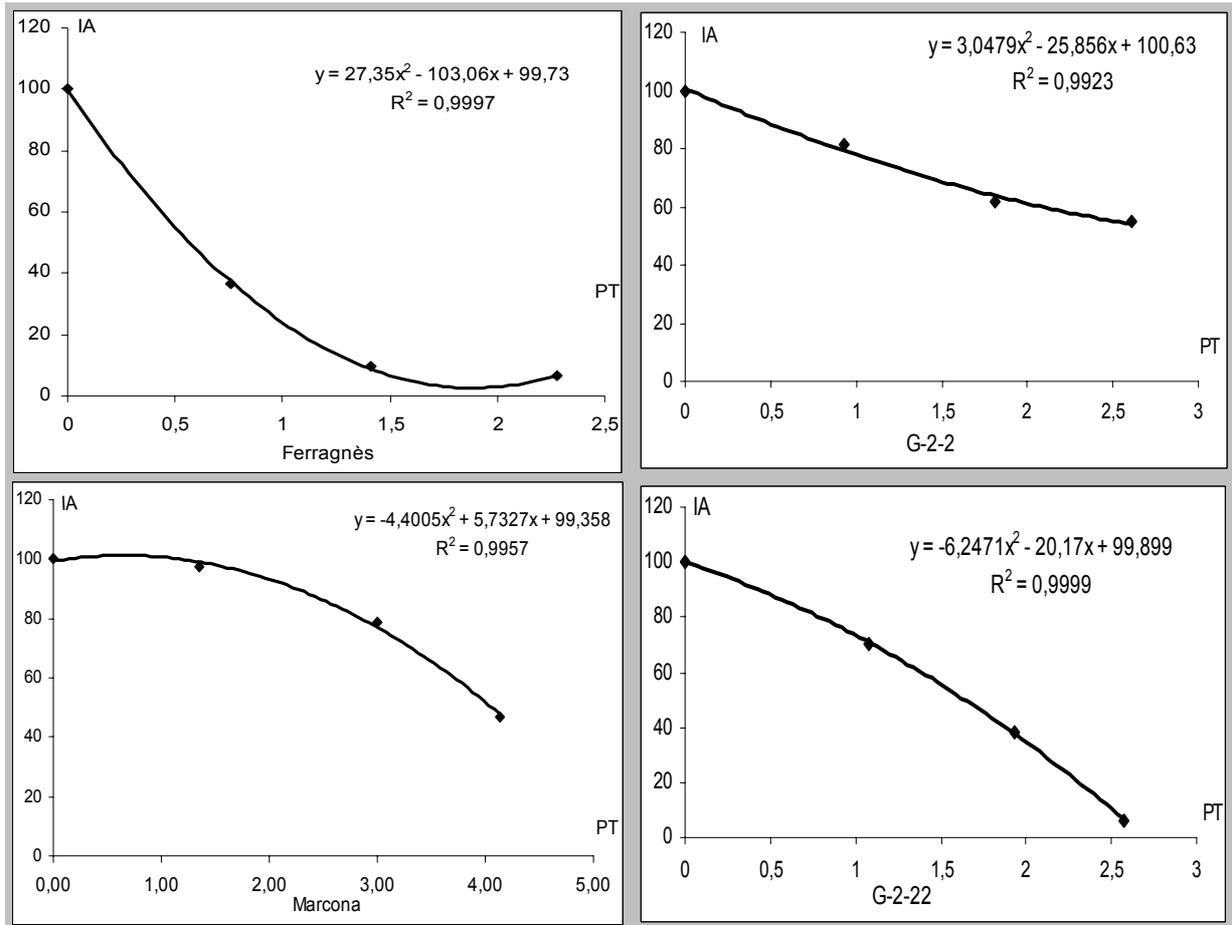


Fig 10.1. Representación del índice de absorbancia en función del peso del tegumento.

Se prefiere en general que el tegumento sea delgado, para que sean mínimas las mermas de peso en el repelado, que pueden llegar hasta un 10% del peso de la pepita (Felipe, 2000), ya que lógicamente cuanto más elevado es el peso del tegumento menor es el rendimiento al repelado. El análisis estadístico ha mostrado que este carácter presenta una gran variabilidad, con efecto significativo del año, lo que indica que este carácter depende de cada variedad y también de las condiciones del año, como ya había sugerido Felipe (2000). La gran variabilidad de este carácter puede servir para seleccionar las variedades según su destino comercial. En efecto, para algunos casos concretos, los tegumentos gruesos pueden tener también interés, como en 'Desmayo Largueta', ya que tras su tostado resulta más fácil el desprendimiento del tegumento grueso. Sin embargo, se prefiere fino cuando se produce el repelado en la empresa con el fin de evitar grandes pérdidas.

El tegumento presenta otro interés, por la posible protección contra la oxidación de la pepita, ya que la facilidad al enranciamiento de una almendra descascarada depende de si está pelada o no (Guadagni et al., 1978; Rizzolo et al., 1994). Se ha observado una gran variabilidad en la capacidad

anti-radicalaria y el contenido en polifenoles totales de los tegumentos de esta población. La elevada capacidad anti-radicalaria de los tegumentos de algunos genotipos y por lo tanto de la protección que ofrecen contra la oxidación de la pepita depende de las características químicas del tegumento de cada genotipo. Las diferencias entre los genotipos del cruzamiento 'Bertina' × 'Felisia' muestra que la variabilidad observada en el conjunto de las selecciones no se debe solamente a las diferencias presentes entre los parentales, sino también a las características genéticas de cada genotipo, como ya se había sugerido en otras variedades de almendro (Berenguer-Navarro y Prats, 2003) y de olivo (Paz Aguilera et al., 2005; Vinha et al., 2005).

Estos resultados indican que la capacidad antioxidante del tegumento de la almendra se puede considerar como una característica varietal, aunque es necesario proseguir los estudios durante varios años y en varias localidades para determinar su estabilidad. También es recomendable realizar estudios genéticos para determinar su heredabilidad y su forma de transmisión a las descendencias para su posible utilización en un proceso de selección en el futuro. Por otro lado, el contenido en compuestos fenólicos totales se ha asociado con la actividad antioxidante en diferentes plantas (Kim et al., 2003; Yu y Zhou, 2004; Soong y Barlow, 2004), por lo cual un contenido elevado en compuestos fenólicos podría sugerir en principio una buena capacidad antioxidante (Cheung et al., 2003). Por ello, los genotipos con un elevado contenido en polifenoles totales en los tegumentos podrían ofrecer una mayor protección a la pepita y una buena capacidad antioxidante. Sin embargo, destaca el bajo contenido en este componente y la baja capacidad anti-radicalaria de los tegumentos de 'Marcona' o 'Desmayo Largueta', que se caracterizan por su buena resistencia al enranciamiento durante largos períodos de almacenaje (García-Pascual et al., 2003). Ello indica que existen otros factores, químicos y físicos, que contribuyen a la protección de la pepita contra el enranciamiento, como los tocoferoles (García-Pascual et al., 2003) o la proporción de ácidos grasos insaturados (Kester et al., 1993).

10.5 CONCLUSIÓN

La gran riqueza del tegumento en compuestos fenólicos, su fuerte capacidad antioxidante (Sang et al., 2002), y su elevado valor nutritivo (Saura-Calixto et al., 1988), sugiere que el tegumento se podría utilizar como una fuente de compuestos y sustancias como suplemento antioxidante biológico para prevenir la oxidación lipídica en la industria alimentaria. Estos resultados son preliminares y requieren una profundización para mejorar el conocimiento de las características antioxidantes, nutricionales y tecnológicas de este producto. Así mismo se debe estudiar el modo de transmisión de las características químicas del tegumento para incorporarlas en el futuro como posibles objetivos de mejora genética del almendro, con una orientación especial al sector industrial y alimenticio.

Capitulo 11. Crecimiento de los tubos polínicos,
cuajado y características físicas y químicas de la
pepita según el tipo de polinización

11. CRECIMIENTO DE LOS TUBOS POLÍNICOS, CUAJADO Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA PEPITA SEGÚN EL TIPO DE POLINIZACIÓN

11.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación de la autocompatibilidad es esencial para asegurar la obtención de variedades que resuelvan los problemas relacionados con su polinización (Socias i Company, 1990) y puedan suministrar una cosecha comercial en condiciones de plantaciones mono-varietales. Para ello se han utilizado diversos métodos de evaluación, como el crecimiento de los tubos polínicos y el cuajado después de polinizaciones artificiales (Socias i Company y Felipe, 1987), el embolsado de ramas (Grasselly y Olivier, 1984) o incluso el aislamiento de árboles enteros, con o sin abejas (Godini et al., 1994; Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2004). A lo largo de esta evaluación se ha visto que algunas selecciones presentan un crecimiento deficiente de los tubos polínicos del propio polen (Ben Njima y Socias i Company, 1995; Alonso y Socias i Company 2005), que producen frutos de menor calidad (Grasselly y Olivier, 1981) o que requieren el aporte de abejas para una mejor polinización y un mejor rendimiento (Torre Grossa et al., 1994).

A pesar de todos estos estudios, se han realizado pocos trabajos para determinar el comportamiento agronómico de los nuevos materiales desde el punto de vista de la autocompatibilidad (Socias i Company et al., 2004), porque la mayoría de los ensayos se refieren sobre todo al éxito de la autopolinización y a la eficiencia de los tubos polínicos del propio polen en llegar al ovario y fecundar el óvulo (Alonso y Socias i Company, 2005 a y b; Ben Njima y Socias i Company, 1995; Godini, 1981; Oukabli et al., 2000; Socias i Company y Alonso, 2004; Socias i Company et al., 1976; Vasilakakis y Prolingis, 1984). También se ha intentado determinar el efecto de la autopolinización y de la polinización cruzada en el cuajado o en las características físicas del fruto (Dicenta et al., 2002; Legave et al., 1997; Socias i Company y Felipe, 1992; Torre Grossa et al., 1994). Estos estudios se refieren a un número reducido de genotipos, generalmente una sola variedad, aunque algunos de ellos estudiaron 6 (Dicenta et al., 2002) o 10 genotipos como mucho (Socias i Company et al., 2004).

Ningún estudio ha pretendido determinar si la autopolinización de los almendros auto-compatibles puede afectar a la composición química de la pepita, en particular el contenido en aceite y proteína, que determina el posible uso industrial de la pepita (Alessandroni, 1980), o el de los diferentes ácidos grasos del aceite de la pepita, que repercuten en su calidad industrial y en su resistencia al enranciamiento (Kester et al., 1993).

El objetivo principal de este capítulo ha sido el de comparar en 35 genotipos autocompatibles, el efecto que la autopolinización y la polinización cruzada tienen sobre el crecimiento y la llegada de los tubos polínicos a la base del pistilo y sobre el cuajado. Además, en 18 de ellos, se han considerado las características físicas del fruto y de la pepita y las características químicas de la pepita.

11.2 MATERIAL Y MÉTODOS

11.2.1 ESTUDIO DE LA DINÁMICA DEL CRECIMIENTO DE LOS TUBOS POLÍNICOS

La eficiencia de los tubos polínicos procedentes del propio polen para alcanzar la base del pistilo se comparó con la de los procedentes de un polen extraño. Para ello se determinó el número de tubos polínicos y se estudió la dinámica de su crecimiento en dos tratamientos:

- Autopolinización manual (T1).
- Polinización cruzada con el polen de la variedad 'Cavaliera' (T2).

Para cada selección se recogieron yemas en estado 'D' (Felipe, 1977) y se llevaron al laboratorio en bolsas de plástico. Se emascularon 100 yemas y se pusieron en bandejas con una malla de forma que el pedúnculo quede en contacto con el agua de las bandejas. Las anteras de cada muestra se recuperaron en pequeñas bandejas de papel debidamente etiquetadas, y se dejaron a temperatura ambiente durante 24 horas para su dehiscencia. El mismo procedimiento se siguió para obtener polen de la variedad 'Cavaliera'. A las 48 horas, se procedió a la polinización manual de un grupo de 50 estigmas con el propio polen de cada selección y otros 50 con el polen de la variedad autoincompatible 'Cavaliera'.

Después de la polinización las bandejas se colocaron en una cámara a una temperatura de 12 °C. De cada tratamiento se recogieron 10 pistilos a distintos tiempos, 24, 48, 72, 96 y 120 horas después de la polinización, y se fijaron en la solución FAA (formaldehído-ácido acético-etanol 70%, 1:1:18). Luego se lavaron con agua y se introdujeron en una solución de sulfito sódico al 5% y se pasaron por autoclave a 1,2 kg/cm² de presión durante 12 minutos. Las muestras se conservaron en esta solución hasta su preparación para las observaciones en el microscopio.

Para la observación microscópica los pistilos se tiñeron en una solución de azul de anilina durante tres horas, siguiendo la técnica de Linskens y Esser (1957). Después de la tinción se eliminó la pilosidad de los pistilos dejando sólo el tejido transmisor para facilitar la observación (Socias i Company, 1979). Finalmente, se montaron los estilos sobre un portaobjetos y se aplastaron para su

observación al microscopio de fluorescencia de tipo Leitz Ortholux II con sistema de luz ultravioleta utilizando como fuente luminosa una lámpara de mercurio Osram HBO 200 W/4. El crecimiento de los tubos polínicos se ha expresado como el porcentaje del estilo recorrido por el tubo polínico más largo, siguiendo el criterio establecido por Lewis (1942). En cuanto al número de tubos polínicos en la base del pistilo se contaron en la muestra de cuatro días después de la polinización.

11.2.2 CUAJADO DE FRUTOS

Para estudiar el efecto del tipo de polen sobre el cuajado se siguió la metodología descrita por Socias i Company y Felipe (1992). Se estudiaron 36 selecciones durante 3 años (2003, 2004 y 2005). Para cada selección se determinó el porcentaje de cuajado tras dos tipos de polinización dirigidos y dos de polinización libre:

- Tratamiento 1 (T1): Polinización libre (Testigo).
- Tratamiento 2 (T2): Polinización libre de un número reducido de flores (Testigo D).
- Tratamiento 3 (T3): Autopolinización manual.
- Tratamiento 4 (T4): Polinización cruzada manual con el polen de la variedad autoincompatible 'Cavaliera'.

Se eligieron dos ramas para cada tipo de polinización y selección con un mínimo de 200 yemas de flor. En cada rama se contaron todas las yemas de flor, en el estado fenológico 'C' (Felipe, 1977). En las ramas utilizadas para las polinizaciones artificiales, se eliminaron todas las flores abiertas y las yemas atrasadas y se emascularon las yemas en estado 'D' (Felipe, 1977) (Fig 11.1). En las ramas testigo el número de yemas inicial se quedó intacto, mientras que en las del testigo 'D' se dejaron sólo las yemas en estado D, como si se fueran a emascular. Transcurridas 48 horas se procedió a la polinización manual con el polen correspondiente a cada tratamiento.

En el mes de junio se contó el número de frutos en cada rama. El cuajado se determinó por el cociente entre el número de frutos y el número de yemas inicial en el caso del testigo, de las yemas que quedaron en el caso del testigo 'D' y del número de yemas polinizadas en el caso de los tratamientos 'T3' y 'T4'.

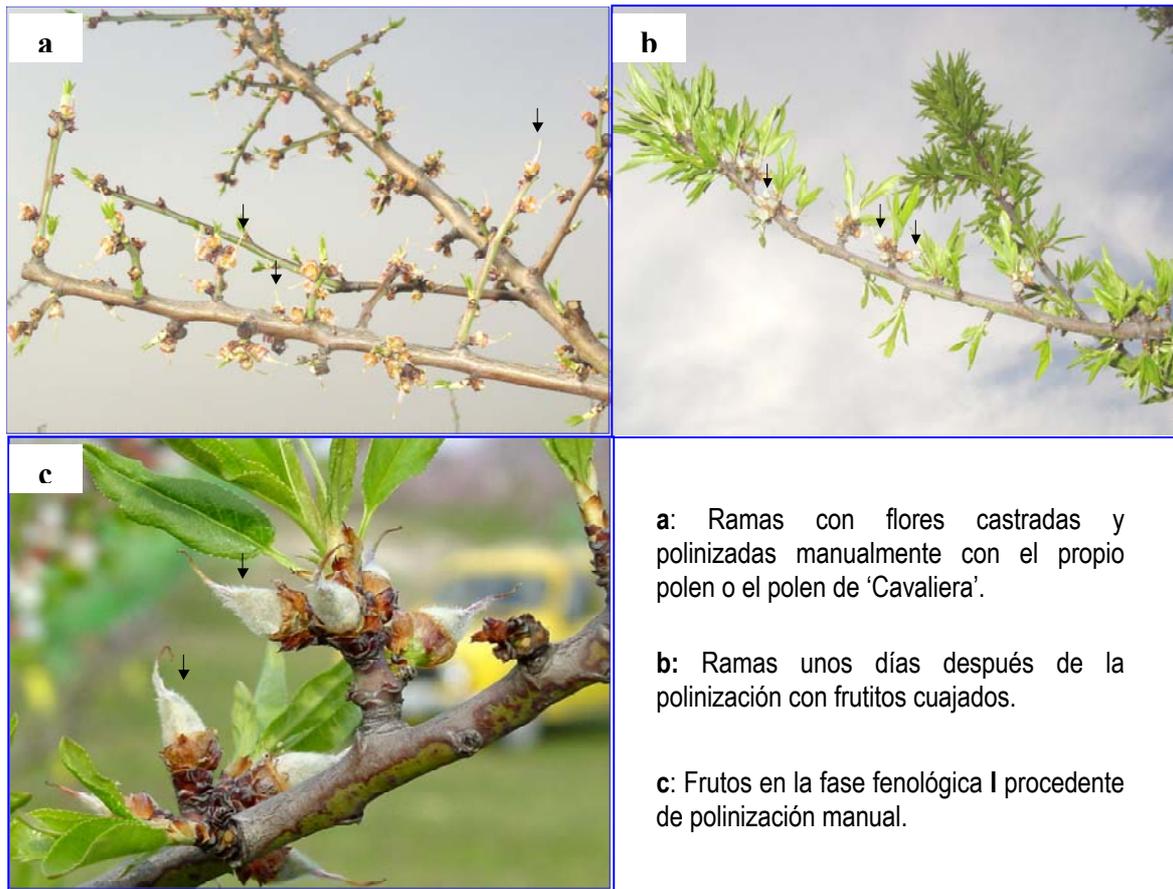


Fig 11.1. Fructificación en el campo después de polinizaciones controladas.

11.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL FRUTO

De cada tratamiento se recogió una muestra de 20 frutos maduros para proceder a su estudio posterior. Se determinaron las características físicas cuantitativas de cada muestra siguiendo la metodología descrita en el capítulo 8. Para la composición química de la pepita se determinó el contenido en grasa, proteína, fibra bruta, ceniza, macro-elementos minerales y el perfil en ácidos grasos mayoritarios siguiendo la metodología descrita en el capítulo 9.

11.3 RESULTADOS

11.3.1 COMPARACIÓN DE LA DINÁMICA DEL CRECIMIENTO DE LOS TUBOS POLÍNICOS.

La observación microscópica del crecimiento de los tubos polínicos ha confirmado su autocompatibilidad previamente determinada tanto desde el punto de vista fisiológico en los estados previos de selección, como genético mediante la electroforesis de las RNAsas estilares (Kodad, 2002) (Cuadro 11.1).

Cuadro 11.1. Composición alélica de los genotipos estudiados y sus parentales.

Selección	Familia	Genotipo de los padres	Genotipo obtenido
G-1-1	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-1-23	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-1-38	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-1-41	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-1-58	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-1-61	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-1-64	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-2-11	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-2-1	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-2-2	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-2-22	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-2-23	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-2-25	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-2-27	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-2-7	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-3-28	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-3-3	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-3-4	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-3-5	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-3-65	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-3-8	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-4-3	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-5-18	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-5-25	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-6-14	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-6-24	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
G-6-39	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
I-3-10	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S6Sf
I-3-11	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
I-3-27	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
G-4-10	I	Felisia (S8Sf) × Bertina (S11S6)	S11Sf
H-3-37	III	A-10-6 (S3Sf) × Marcona (S11S12)	S12Sf
H-3-39	III	A-10-6 (S3Sf) × Marcona (S11S12)	S11Sf
I-1-95	IV	Guara (S1Sf) × Ferragnès (S1S3)	S3Sf
I-2-12	IV	Guara (S1Sf) × Ferragnès (S1S3)	S3Sf

En todas las selecciones, los tubos polínicos procedentes de la auto-polinización han alcanzado la base del estilo después de 4 días, al igual que los procedentes de la polinización cruzada. El crecimiento de los tubos de todas las selecciones sigue dos tipos de patrones (Fig 11.2). Las selecciones G-1-1, G-2-1, G-4-10, G-6-24, G-6-39, I-2-12 y I-3-67 (Cuadro 11.2) siguen el patrón 1, en el cual los tubos polínicos del polen extraño crecen a una velocidad más alta que los del propio polen.

El resto de las selecciones (Cuadro 11.2) siguen el patrón 2, en el cual los tubos polínicos del propio polen crecen a una velocidad más alta que los tubos polínicos del polen extraño (Fig 11.2).

En términos generales, para cada tiempo de muestreo, los tubos polínicos procedentes del polen extraño atraviesan una porción de estilo ligeramente más elevada que los tubos polínicos procedentes del propio polen (Fig 11.3). Sin embargo, la elevada significación de la interacción Genotipo × Tratamiento a las 24 y 48 horas después de la polinización (Cuadro 11.3), indica que la dinámica del crecimiento de los tubos polínicos procedentes de cada tratamiento cambian de rango en función de las características del estilo en el que crecen.

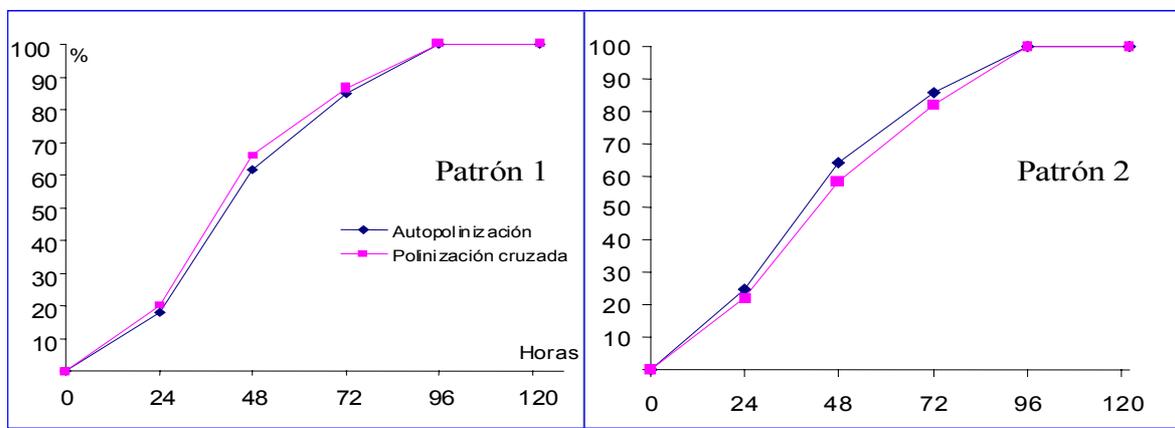


Fig 11.2. Dinámica del crecimiento de los tubos polínicos a distintos tiempos después de la polinización cruzada y la auto-polinización artificial en el laboratorio de dos selecciones.

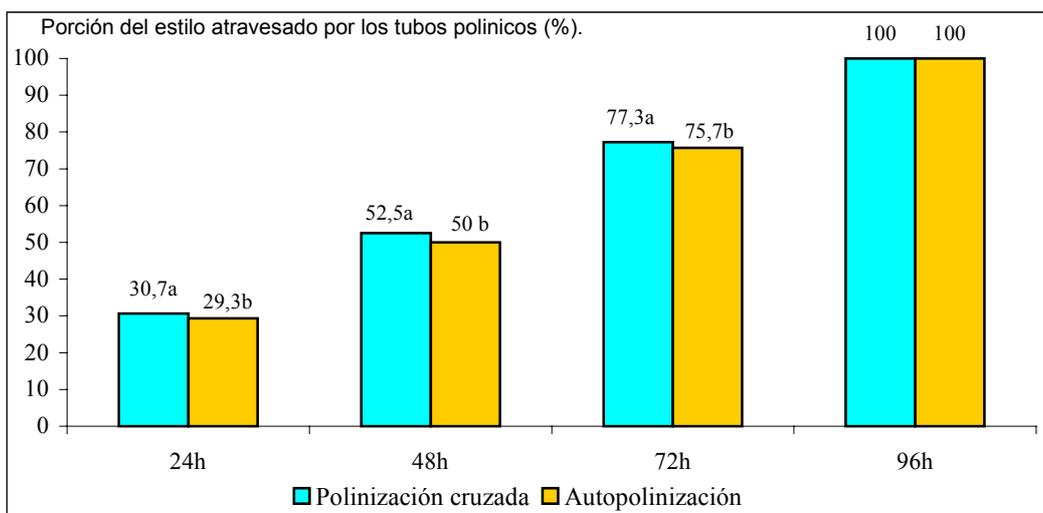


Fig 11.3. Evolución del crecimiento de los tubos polínicos según el tipo de polinización.

Cuadro 11.2. Longitud del estilo y porcentaje medio de la longitud del estilo recorrido por el tubo polínico más largo a distintos tiempos después de la polinización.

Selección	Longitud del estilo (mm)	24 horas		48 horas		72 horas	
		zSP	CP	SP	CP	SP	CP
G-1-1	9,99	30,54 a	32,66 a	52,02 a	50,70 a	83,46 a	82,62 a
G-1-23	11,97	29,30 a	27,76 b	47,64 a	49,24 a	71,21 a	73,12 b
G-1-38	8,73	24,13 a	26,38 a	47,58 a	48,44 a	76,98 a	77,08 a
G-1-41	12,50	28,44 a	29,76 a	49,13 a	51,63 a	83,51 a	83,78 a
G-1-58	10,79	27,55 a	32,01 b	50,01 a	52,27 a	74,00 a	75,98 a
G-1-61	13,00	30,36 a	30,04 a	49,48 a	51,66 b	74,81 a	78,18 b
G-1-64	11,16	32,18 a	34,94 a	52,96 a	54,81 a	77,77 a	77,20 a
G-2-1	10,52	31,12 a	36,52 b	55,95 a	51,44 b	76,18 a	74,44 b
G-2-11	13,41	32,06 a	34,90 b	44,09 a	47,14 b	79,11 a	79,50 a
G-2-2	14,16	35,08 a	36,35 a	52,83 a	53,21 a	74,00 a	78,37 b
G-2-22	10,85	31,27 a	31,31 a	50,29 a	50,72 a	74,38 a	76,55 a
G-2-23	14,01	31,36 a	31,82 a	51,36 a	52,73 a	72,82 a	75,00 a
G-2-25	11,89	29,27 a	31,32 a	46,95 a	51,36 b	70,64 a	77,55 b
G-2-27	13,94	22,80 a	28,57 b	54,18 a	53,11 a	73,63 a	74,24 a
G-2-7	14,29	29,61 a	32,70 b	51,92 a	51,30 a	75,76 a	78,73 a
G-3-28	14,19	26,93 a	34,05 b	50,14 a	52,81 a	75,06 a	76,32 a
G-3-3	11,19	31,82 a	33,78 a	47,44 a	48,34 a	76,56 a	83,39 b
G-3-4	11,76	26,99 a	28,01 a	52,82 a	54,18 a	72,65 a	79,15 b
G-3-5	15,88	28,64 a	29,89 a	49,62 a	48,86 a	70,55 a	71,91 a
G-3-8	15,46	25,01 a	26,68 a	51,16 a	52,13 a	75,10 a	75,23 a
G-4-10	14,19	32,32 a	32,68 a	51,22 a	50,94 a	79,53 a	81,18 a
G-4-3	11,45	30,02 a	33,32 b	47,03 a	49,80 b	81,22 a	77,58 b
G-5-18	15,17	27,53 a	29,19 a	50,91 a	52,26 a	76,44 a	78,56 a
G-5-2	8,90	26,01 a	30,44 b	49,45 a	51,77 a	72,67 a	79,47 b
G-5-25	11,37	31,71 a	31,27 a	51,82 a	52,27 a	72,53 a	79,91 b
G-6-14	13,46	31,88 a	32,65 a	50,20 a	52,97 a	78,76 a	79,29 a
G-6-24	13,01	31,06 a	31,09 a	49,19 a	54,94 b	76,40 a	74,78 a
G-6-39	14,69	33,70 a	29,77 b	49,45 a	49,54 a	75,89 a	73,30 b
H-3-37	12,38	29,00 a	30,06 a	50,29 a	52,92 a	79,82 a	80,91 a
H-3-39	12,45	31,95 a	31,99 a	47,89 a	48,70 a	74,40 a	77,33 b
I-1-95	13,22	27,42 a	29,00 a	47,13 a	47,87 a	76,75 a	77,61 a
I-2-12	14,31	31,17 a	27,04 b	47,04 a	52,36 b	73,97 a	71,00 b
I-3-27	10,89	30,00 a	29,45 a	49,36 a	50,68 a	79,59 a	84,04 b
I-3-65	10,98	26,87 a	28,45 a	52,04 a	54,27 a	84,35 a	85,12 a
I-3-67	11,74	28,62 a	30,69 b	56,44 a	52,49 b	72,19 a	71,32 a

^zSP = Autopolinización; CP = polinización cruzada con el polen de la variedad 'Cavaliere'.

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los tipos de polen según el test LSD ($p = 0,05$).

El análisis estadístico en conjunto ha revelado diferencias significativas entre los genotipos, los tratamientos y los tiempos, así como de su interacción (Cuadro 11.3). Al estudiar cada tiempo de muestreo, se encontraron diferencias significativas entre los genotipos y el tratamiento (Cuadro 11.3). Ello indica que el crecimiento de los tubos polínicos depende de las características del estilo en el que crecen y del tipo del polen del que proceden. La observación del número de tubos polínicos en la base del pistilo ha revelado una gran variabilidad entre los genotipos independientemente del tipo de polen. El análisis de varianza reveló diferencias significativas en el número y el porcentaje de tubos polínicos entre los genotipos, los tratamientos y su interacción (Cuadro 11.4). El número medio de tubos polínicos en la base del pistilo varió entre 2 y 6, lo que corresponde a un porcentaje de 1,5% y 4,75%, respectivamente, de los granos de polen presentes en el estigma (Cuadro 11.5). En general se observó

que el número medio de tubos polínicos en la base del pistilo después de la polinización cruzada era mayor que en el caso de la autopolinización (4,08 vs. 3,74), aunque en algunas selecciones (G-2-2, I-2-12 e I-3-65) se observó lo contrario. En las selecciones G-1-61, G-2-27, y G-5-25 el número de tubos polínicos en la base del pistilo después de la autopolinización no fue más de 2 como media de los 8 pistilos observados, mientras que fue superior a 3 después de la polinización cruzada. En relación al porcentaje de pistilos con pocos tubos polínicos en su base, las selecciones G-2-27, G-1-61, G-5-25 e I-3-67 presentaron, respectivamente, 77,7%, 66,6%, 44,6% y 33% de pistilos con sólo 1 o 2 tubos polínicos después de la autopolinización.

Cuadro 11.3. Análisis de varianza del crecimiento de los tubos polínicos para todos los tiempos de muestreo y para cada muestreo.

Fuente de variación	GL	Cuadros medios
Todos los tiempos		
Genotipo	34	0,04 ***
Tratamiento	1	0,14 **
Genotipo × Tratamiento	34	0,01 ***
Tiempo	3	128,20 ***
Genotipo × Tiempo	102	0,03 *
Tratamiento × Tiempo	3	0,02 ***
Genotipo × Tratamiento × Tiempo	102	0,01 ***
Residual	2520	0,004
24 horas		
Genotipo	34	0,02 ***
Tratamiento	1	0,04 ***
Genotipo × Tratamiento	34	0,01 **
Residual	630	0,004
48 horas		
Genotipo	34	0,05 ***
Tratamiento	1	0,11 **
Genotipo × Tratamiento	34	0,01 ***
Residual	630	0,003
72 horas		
Genotipo	34	0,06 ***
Tratamiento	1	0,05 **
Genotipo × Tratamiento	34	0,01 ns
Residual	630	0,007

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

Cuadro 11.4. Análisis de varianza del número de tubos polínicos en la base del estilo.

Fuente de variación	GL	Nº de granos de polen en la superficie estigmática	Nº tubos polínicos en la base del pistilo	% tubos polínicos en la base del pistilo
Cuadrados medio				
Genotipo (G)	34	3419,2 ***	12,71 ***	12,51 ***
Tratamiento (T)	1	1,64 ns	8,76 **	9,12 **
G × T	34	521,4 **	6,03 **	0,01 ***
Residual	560	247,2	1,39	0,004

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

Cuadro 11.5. Número medio de granos de polen en el estigma y en la base del estilo y porcentaje de los tubos polínicos a la base del pistilo después de 4 días de la polinización.

Selección	Familia	Nº de granos de polen en el estigma		Nº de tubos polínicos en la base del pistilo		Porcentaje de tubos polínicos en la base en relación a los granos de polen(%)	
		±SP	CP	SP	CP	SP	CP
G-1-1	1	151 a	143 b	3 a	3 a	2,0 a	2,1 a
G-1-23	1	148 a	147 a	4 a	4 a	2,7 a	2,7 a
G-1-38	1	151 a	144 b	3 a	4 a	2,0 a	2,8 a
G-1-41	1	148 a	157 a	4 a	4 a	2,7 a	2,5 a
G-1-58	1	159 a	151 a	5 a	8 a	3,1 a	5,3 b
G-1-61	1	121 a	129 a	2 a	3 b	1,7 a	2,3 b
G-1-64	1	143 a	142 a	4 a	3 a	2,8 a	2,1 a
G-2-1	1	158 a	149 b	4 a	4 a	2,5 a	2,7 a
G-2-11	1	133 a	126 a	4 a	4 a	3,0 a	3,2 a
G-2-2	1	114 a	120 b	5 a	3 b	4,4 a	2,5 b
G-2-22	1	106 a	113 a	3 a	3 a	2,8 a	2,7 a
G-2-23	1	134 a	124 a	4 a	7 b	3,0 a	5,6 b
G-2-25	1	153 a	160 a	4 a	5 a	2,6 a	3,1 a
G-2-27	1	139 a	129 b	2 a	3 a	1,4 a	2,3 b
G-2-7	1	108 a	145 b	3 a	4 a	2,8 a	2,8 a
G-3-28	1	125 a	137 b	4 a	3 a	3,2 a	2,2 a
G-3-3	1	109 a	104 a	7 a	6 b	6,4 a	5,8 a
G-3-4	1	151 a	144 a	4 a	4 a	2,6 a	2,8 a
G-3-5	1	122 a	106 b	4 a	3 a	3,3 a	2,8 a
G-3-8	1	126 a	119 a	4 a	4 a	3,2 a	3,4 a
G-4-10	1	136 a	137 a	5 a	6 a	3,7 a	4,4 a
G-4-3	1	138 a	136 a	3 a	3 a	2,2 a	2,2 a
G-5-18	1	124 a	117 a	4 a	6 a	3,2 a	5,1 b
G-5-25	1	116 a	121 a	2 a	5 b	1,7 a	4,1 b
G-6-14	1	138 a	138 a	5 a	5 a	3,6 a	3,6 a
G-6-24	1	138 a	134 a	3 a	4 a	2,2 a	3,0 a
G-6-39	1	127 a	151 b	3 a	5 a	2,4 a	3,3 a
I-3-27	1	156 a	154 a	6 a	5 a	3,8 a	3,2 a
H-3-37	3	112 a	114 a	3 a	3 a	2,7 a	2,6 a
H-3-39	3	131 a	139 a	3 a	3 a	2,3 a	2,2 a
I-1-95	4	136 a	127 a	4 a	5 a	2,9 a	3,9 b
I-2-12	4	127 a	121 a	6 a	5 a	4,7 a	4,1 a
G-5-2	5	136 a	130 a	2 a	4 b	1,5 a	3,1 b
I-3-65	5	115 a	117 a	3 a	6 a	2,6 a	5,1 b
I-3-67	5	96 a	105 b	4 a	5 a	4,2 a	4,8 a

±SP = Autopolinización; CP = polinización cruzada con el polen de la variedad 'Cavaliera'.

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los dos tipos de polen según el test LSD ($p = 0,05$).

11.3.2 ESTUDIO COMPARATIVO DEL CUAJADO

Debido a los daños por heladas que algunas selecciones de floración media sufrieron en los años 2003 y 2004 y que anularon la cosecha de muchas polinizaciones artificiales, se optó por analizar sólo los datos de las selecciones de floración tardía o muy tardía en las que los daños por heladas fueron bajos. Las selecciones consideradas y los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 11.6.

Cuadro 11.6. Cuajados obtenidos en los 3 años de estudio según cada tratamiento.

Selección	Polinización libre			Control "D"			Polinización cruzada			Autopolinización		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
Selecciones con daños moderados por heladas a nulos												
G-1-1	18,8a	23,5b	28,9c	13,7a	39,3b	39,3b	7,5a	14,5b	33,3c	11,2a	18,7b	42,9c
G-1-23	23,5a	28,4b	30,4b	7,4a	36,1b	34,2b	5,1a	19,8b	45,3c	6,1a	17,6b	36,9c
G-1-41	23,8a	32,5b	25,9a	9,6a	23,6b	23,2b	21,6a	24,3a	41,9b	10,9a	14,7a	53,0b
G-1-61	10,9a	16,5b	14,8b	5,8a	21,4b	17,7c	10,4a	15,1b	16,2b	5,3a	11,0b	18,1c
G-1-64	14,4a	6,3b	13,8a	5,4a	17,7b	21,3c	5,5a	11,6b	14,7b	7,4a	19,8b	20,8b
G-2-1	10,4a	19,0b	10,9a	4,2a	24,6b	15,3c	6,1a	13,7b	13,3b	7,9a	16,0b	11,9c
G-2-2	21,5a	22,2a	32,8b	16,9a	37,2b	32,4b	11,0a	23,8b	28,8b	11,6a	16,4b	18,4b
G-2-22	11,9a	16,3b	13,9a	8,0a	18,4b	10,9c	4,2a	11,5b	8,9b	7,7a	15,2b	9,8a
G-2-25	16,7a	33,5b	20,8c	13,8a	28,5b	17,5c	5,0a	26,3b	15,7c	4,4a	26,3b	19,0c
G-2-27	17,0a	14,5c	15,9c	10,2a	20,2b	33,7c	7,3a	24,4b	27,5b	3,3a	19,5b	28,8c
G-3-28	6,1a	9,5b	12,8c	4,9a	14,7b	19,3c	9,4a	11,1a	16,2b	6,0a	15,5b	31,0c
G-3-3	28,3a	28,3a	40,1b	19,3a	34,9b	39,3b	19,3a	10,5b	26,1c	16,9a	8,7b	55,7c
G-3-4	19,1a	11,3b	19,5a	7,5a	26,3b	26,9b	4,1a	11,1b	28,8c	13,2a	20,0b	38,5c
G-3-5	20,7a	32,2b	21,7a	7,2a	27,4b	20,2c	4,1a	13,0c	30,2c	8,9a	11,8a	32,4b
G-3-8	18,1a	19,2a	34,3b	5,6a	18,1b	34,9c	20,8a	19,9a	21,6a	18,5a	16,9a	42,5b
G-4-10	27,6a	21,9b	34,9c	13,3a	24,7b	34,5c	9,7a	14,9b	53,9c	16,1a	14,7a	56,7b
G-4-3	27,1a	19,7b	22,1c	17,2a	24,9b	24,2b	12,5a	28,8b	15,9c	5,9a	16,0b	29,4c
G-5-2	9,6a	28,9b	11,2a	15,7a	20,0b	18,2b	6,2a	13,9b	25,3c	4,2a	12,5b	16,2c
G-5-25	16,9a	18,1b	20,9b	16,4a	17,7a	20,4b	13,0a	19,9b	13,6a	0,5a	2,9a	6,9b
G-6-14	27,1a	32,7b	31,3b	18,6a	36,8b	32,8b	14,6a	29,2b	40,1c	9,6a	15,4b	49,1c
I-3-27	12,7a	15,5b	18,8c	5,6a	13,4b	21,1c	12,3a	15,9b	22,4c	5,9a	15,7c	27,1c
Selecciones afectadas por las heladas												
G-1-38	45,0a	0,0b	20,9c	41,9a	0,0b	24,7c	20,9a	0,0b	11,6c	11a	0,0b	64,5c
G-1-58	8,3a	2,4b	24,2c	12,7a	3,2b	28,9c	3,0a	0,0a	52,2c	6,1a	0,0b	47,7c
G-2-23	0,8a	0,0a	24,3c	0,0a	0,0b	29,1c	0,3a	0,0a	66,2b	0,0a	0,0a	64,3b
G-2-7	33,8a	1,3b	39,4c	33,4a	0,3b	39,1a	3,5a	0,0a	67,3b	1,1a	0,0a	64,1b
G-5-18	2,3a	0,3b	11,2c	2,1a	0,0b	20,7c	0,0a	0,0a	42,7b	0,0a	0,0a	30,8b
G-6-24	12,9a	0,9b	24,5c	3,9a	0,0b	20,3c	0,2a	0,0a	71,4b	0,0a	0,0a	4,9b
G-6-39	13,3a	1,3b	19,3c	5,2a	4,6a	23,3b	0,0a	0,0a	60,5b	0,0a	0,0a	7,4b
H-3-37	5,7a	0,0b	19,8c	4,2a	0,0b	26,7c	0,5a	0,0a	50,1b	0,3a	0,0a	6,2b
H-3-39	14,5a	0,0a	14,0b	15,2a	0,0b	17,4a	7,5a	0,0b	40,0c	10,7a	0,0b	39,7c
I-1-95	1,7a	0,0a	10,1b	0,4a	0,0a	13,0b	0,0a	0,0a	37,1b	0,0a	0,0a	13,8b
I-2-12	6,4a	0,0b	13,0c	3,3a	0,0b	11,2c	0,0a	0,0a	36,8b	0,0a	0,0a	19,3b
I-3-65	14,6a	0,0b	14,1a	10,6a	0,0b	27,3c	9,2a	0,0b	45,0c	4,7a	0,0a	12,1b
I-3-67	6,6a	0,0b	14,5c	7,1a	0,0b	15,8c	0,8a	0,0a	32,3b	1,3a	0,0a	58,7b

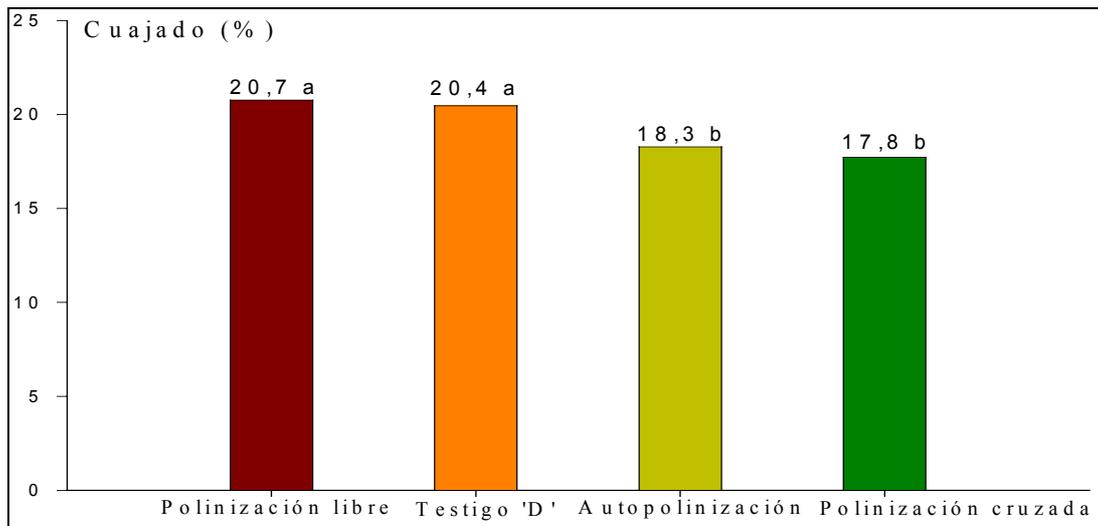
* letras diferentes indican diferencias significativas del cuajado entre los tratamientos según el test LSD ($p = 0,05$).

El análisis de varianza global, considerando los distintos tratamientos y los años, mostraron diferencias significativas entre los genotipos, los tratamientos, los años y su interacción (Cuadro 11.7). La separación de las medias por el test LSD generó 2 grupos distintos según el tipo de tratamiento (Fig 11.4). Los cuajados del testigo y el testigo 'D' fueron superiores a los obtenidos por las polinizaciones manuales en los años 2003 y 2004, pero en 2005 la situación fue la inversa (Fig 11.5). El cuajado más elevado se logró en el año 2005 y el más bajo en 2003 (Fig 11.6).

Cuadro 11.7. Análisis de varianza global del cuajado.

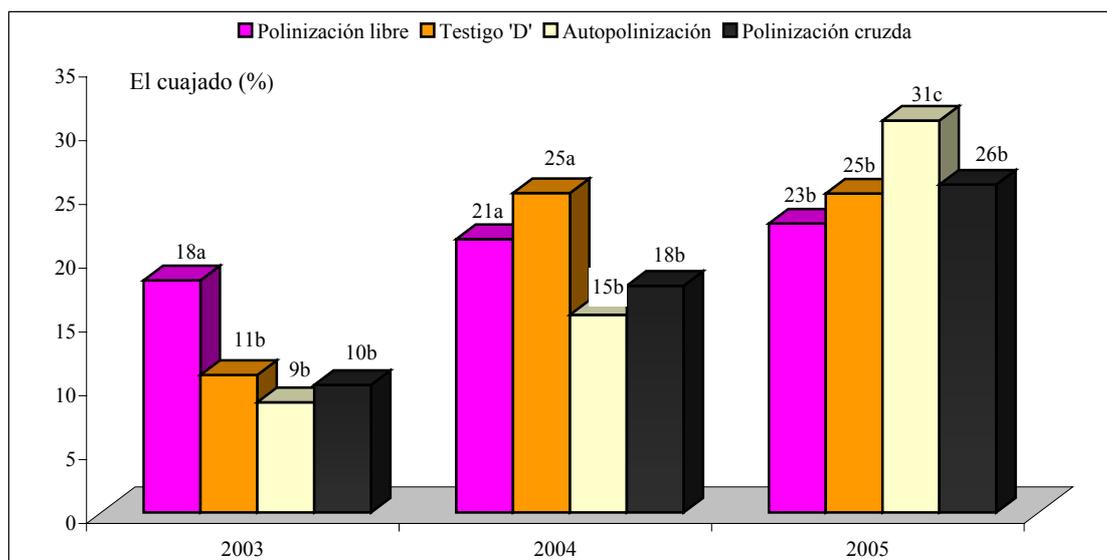
Fuente de variación	GL	Cuadrados medios
Genotipo	20	0,11 ***
Tratamiento	3	0,07 ***
Genotipo × Tratamiento	60	0,01 ***
Año	2	1,55 ***
Genotipo × Año	40	0,02 ***
Tratamiento × Año	6	0,13 ***
Genotipo × Año × Tratamiento	120	0,009 ***
Residual	252	0,004

*** significativo al $P < 0,0001$.



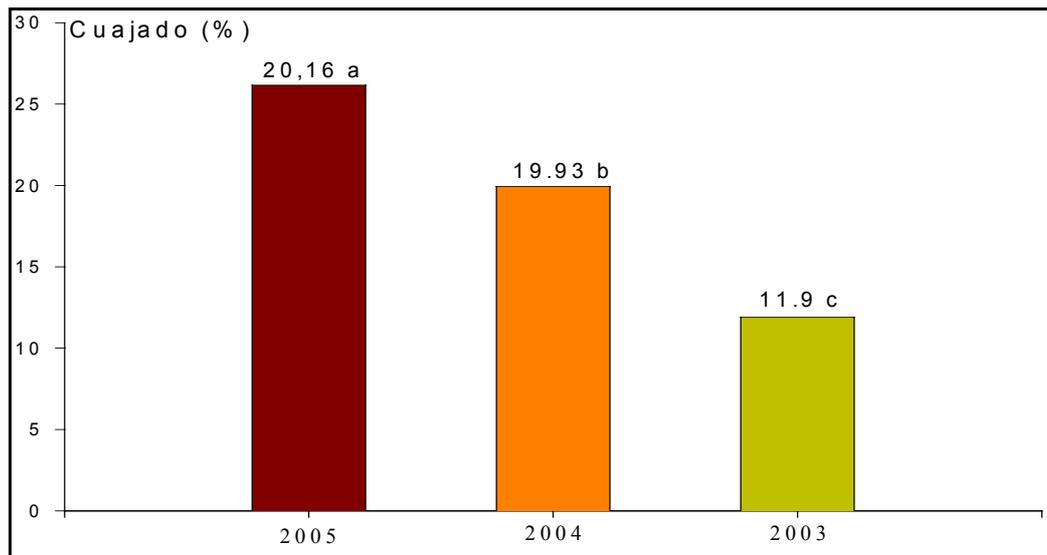
* letras diferentes indican diferencias significativas del cuajado entre los tratamientos según el test LSD ($p = 0,05$).

Fig 11.4. Cuajados medios globales para cada tratamiento de los genotipos de floración tardía.



* letras diferentes indican diferencias significativas del cuajado entre los tratamientos según el test LSD ($p = 0,05$).

Fig 11.5. Cuajados medios de los tres años de estudio para los genotipos de floración tardía.



* letras diferentes indican diferencias significativas del cuajado entre los años según el test LSD ($p = 0,05$).

Fig 11.6. Cuajados medios para cada año de estudio de los genotipos de floración tardía.

Cuadro 11.8. Análisis de varianza global para las selecciones de floración tardía según el tipo de polinización manual.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios	
Genotipo	20	0,06	***
Tratamiento	1	0,0002	ns
Genotipo × Tratamiento	20	0,02	***
Año	1	1,33	***
Genotipo × Año	20	0,03	***
Tratamiento × Año	1	0,05	***
Genotipo × Año × Tratamiento	20	0,007	*
Residual	168	0,005	

ns, *, *** No significativo o significativo al $P < 0,05$ o $0,0001$, respectivamente.

El análisis de los datos de cada año (Cuadro 11.9) mostró que en 2003 no hubo diferencias significativas entre los dos tipos de polinización, mientras que en los años 2004 y 2005 el tratamiento fue altamente significativo. El cuajado obtenido por polinización cruzada fue mayor en los dos primeros años, mientras que el año 2005 ocurrió lo contrario (Fig11.7), cabiendo remarcar que los cuajados, independientemente del tipo de polinización, en el año 2005 han sido más elevados que los de los dos primeros años (Fig 11.6). La significación de la interacción Selección × Tratamiento para cada año indica que no existe una tendencia clara de variación del cuajado según cada selección y el tipo de polinización. Algunas selecciones presentan elevados cuajados tras la autopolinización o viceversa. La significación de la interacción Selección × Tratamiento × Año indica que la magnitud de los valores de los cuajados cambia también según el año.

Al analizar los resultados para cada variedad según el tipo de polinización, en 2003 los genotipos G-3-3, G-3-8 y G-4-10 presentaron un cuajado elevado tras la autopolinización, aunque en el caso de las selecciones G-3-8 y G-4-10 este cuajado ha sido ligeramente inferior al cuajado después de la polinización cruzada. En 2004, las selecciones G-1-64, G-2-25 y G-3-4 presentaron elevados cuajados tras la autopolinización, mientras que en 2005 fueron las selecciones G-1-41, G-3-3, G-3-4, G-3-5, G-3-28, G-4-3, G-4-10 y G-6-14 (Cuadro 11.6).

Cuadro 11.9. Análisis de varianza del cuajado obtenido según el tipo de polinización manual en cada año para las selecciones de floración tardía.

Fuente de variación	GL	2003	2004	2005
<u>Cuadrados medios</u>				
Selección	20	0,02 ***	0,01 ***	0,09 ***
Tratamiento	1	0,01 ns	0,02 **	0,06 ***
Selección × Tratamiento	20	0,01 *	0,01 **	0,01 *
Residual	42	0,005	0,002	0,006

ns, *, **, *** No significativo o significativo al $P < 0,05$, $0,01$ o $0,0001$, respectivamente.

Debido a la ausencia de incidencias de heladas durante y después del proceso de floración del año 2005, se consideró este año de referencia para realizar un estudio comparativo entre todos los genotipos, independientemente de su época de floración. El análisis estadístico de los datos de este año mostró diferencias significativas entre los genotipos, el tratamiento y su interacción (Cuadro 11.10), siendo el efecto genotipo la mayor fuente de variación. La separación de medias (test LSD) mostró que el cuajado tras la polinización cruzada fue superior al obtenido tras la autopolinización, seguido por el testigo 'D' y por último por la polinización libre (Fig 11.8).

Cuadro 11.10. Análisis de varianza del cuajado obtenido en el año 2005.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios
Genotipo	33	0,09 ***
Tratamiento	3	0,33 ***
Genotipo × Tratamiento	102	0,03 ***
Residual	140	0,004

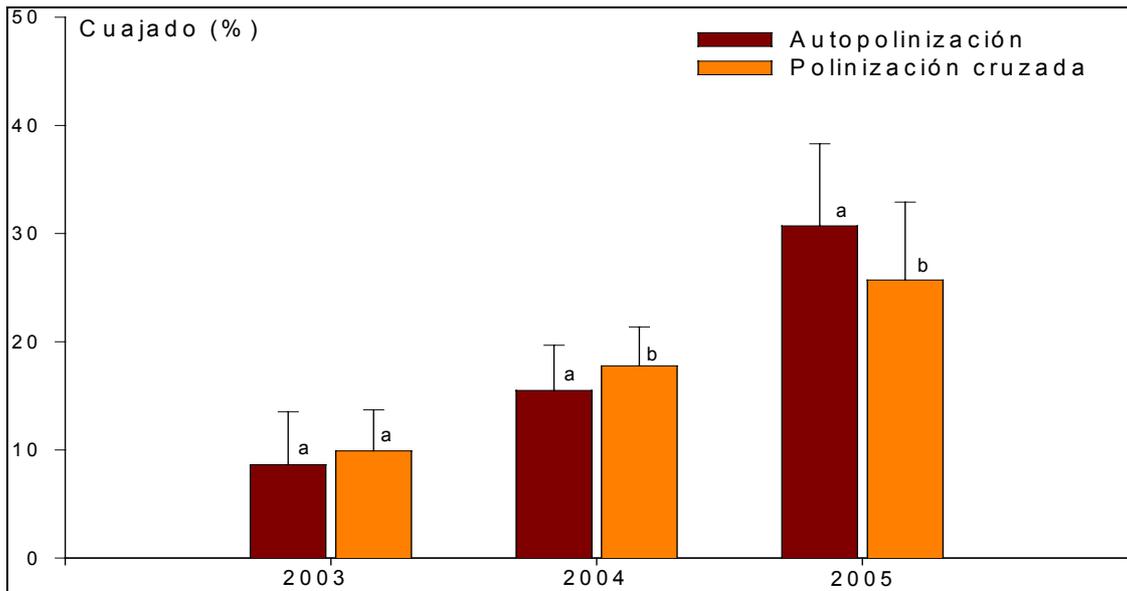
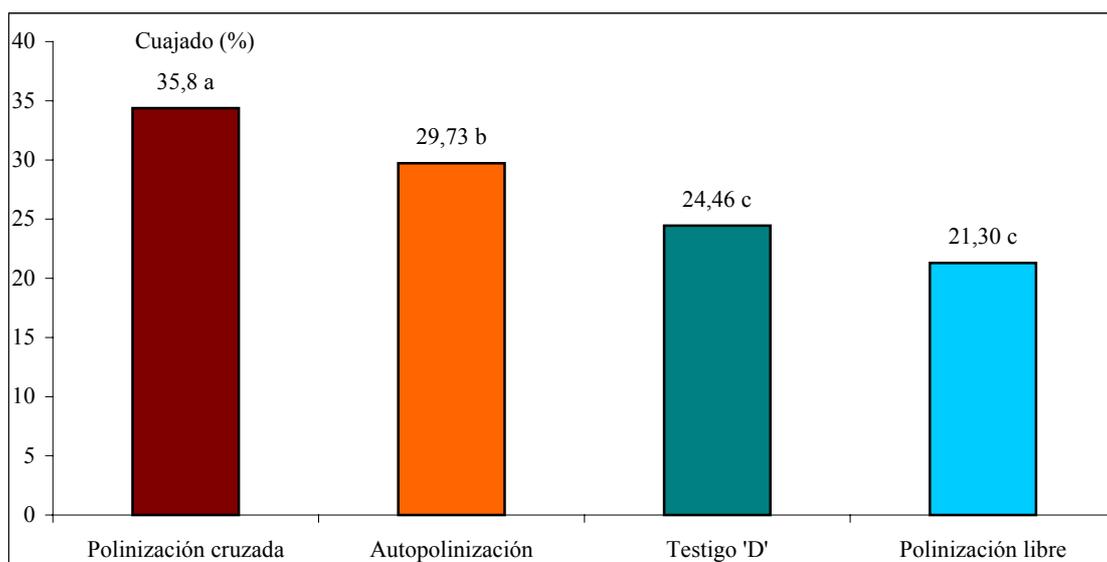
*** Significativo a $P < 0,001$.

Al considerar sólo las polinizaciones artificiales, el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los genotipos, el tratamiento y su interacción (Cuadro 11.11). Los valores del cuajado tras la autopolinización han sido significativamente superiores a los obtenidos tras la polinización cruzada (Fig 11.7). Se observó que el comportamiento de las selecciones en cuanto al cuajado es independiente de la época de floración.

Cuadro 11.11. Análisis de varianza del cuajado obtenido en 2005 para las polinizaciones manuales.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios
Genotipo	34	0,09 ***
Tratamiento	1	0,19 ***
Genotipo × Tratamiento	34	0,06 ***
Residual	70	0,005

*** Significativo al $P < 0,0001$.

**Fig 11.7. Cuajados de las selecciones de floración tardía según los dos tipos de polinización manual para cada año.****Fig 11.8. Cuajados medios en función de los distintos tratamientos en 2005.**

11.3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FRUTO

El análisis de los frutos y las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada mostró diferencias significativas para 6 caracteres (Cuadro 11.12a y b), mientras que en el resto de los caracteres las diferencias no fueron significativas entre los dos tratamientos. La separación de medias (test LSD) puso de manifiesto que en la mayoría de los casos, los valores en los frutos obtenidos de la polinización cruzada han sido ligeramente superiores a los de los obtenidos por autopolinización (Cuadro 11.13).

Por otra parte, la interacción Genotipo × Tratamiento resultó significativa para todos los caracteres estudiados (Cuadro 11.12a y b), lo que indica que los valores de los caracteres de los frutos procedentes de las diferentes polinizaciones cambian de rango en función de cada genotipo. En las selecciones G-1-23, G-3-4, G-3-8 e I-3-67 el peso del fruto y el de la pepita han sido superiores en los frutos procedentes de la autopolinización, mientras que en el resto de las selecciones la relación ha sido la inversa (Cuadros 11.13). Así mismo se observó que los frutos y las pepitas procedentes de la polinización cruzada de algunas selecciones (G-1-41, G-2-1, G-2-2, G-2-22 y G-3-3) presentaban un índice geométrico, un índice de esfericidad y una superficie del fruto y de la pepita inferiores en comparación con los de frutos y pepitas procedentes de la autopolinización (Cuadro 11.13 y 11.14).

Cuadro 11.12a. Análisis de la varianza de las características físicas de los frutos y pepitas procedentes de la autopolinización y de la polinización cruzada.

Fuente de variación	GL	^s RQ	Pf	SuF	Dgf	EPF	Pn
<u>Medios Cuadrados</u>							
Genotipo	17	0,77 ***	34,8 ***	2124768 ***	99,4 ***	0,0513 ***	2,11 ***
Tratamiento	1	1,97 **	3,5 **	63461NS	3,9 *	0,0021 NS	0,52 **
Genotipo × Tratamiento	17	0,03 *	1,3 ***	61895 ***	2,8 ***	0,0006 NS	0,12 ***
Residual	684	0,01	5,13	17776	0,87	0,0004	0,02

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

^s Las abreviaturas se han definido en el cuadro 8.1.

Cuadro 11.12b. Continuación.

Fuente de variación	GL	^s SuP	Dgp	ESP	PQ	Rdtc
<u>Medios Cuadrados</u>						
Genotipo	17	200603 ***	27,05 ***	0,0591 ***	20,4 ***	0,020 ***
Tratamiento	1	3012 NS	0,39 NS	0,0001 NS	1,3 *	0,001 NS
Genotipo × Tratamiento	17	8144 ***	1,17 ***	0,0011 ***	0,9 ***	0,006 **
Residual	684	2224	0,31	0,0005	0,32	0,003

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

^s Las abreviaturas se han definido en el cuadro 8.1.

Cuadro 11.13. Comparación de las características físicas de los frutos procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.

Genotipo	^s RQ		Pf		Dgf		Øf		SuF		PQ	
	^a CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP
G-1-1	0,47a	0,42a	4,03a	3,67b	23,2a	23,3a	0,67a	0,66a	1696a	1704a	2,63a	2,91b
G-1-23	0,71a	0,61b	3,25a	3,29a	20,1a	20,4a	0,69a	0,69a	1275a	1311b	2,52a	2,45a
G-1-41	0,64a	0,50b	4,14a	3,77b	22,5a	22,3a	0,71a	0,69a	1587a	1563a	2,78a	3,04b
G-2-1	0,86a	0,86a	5,02a	5,13a	24,1a	24,3a	0,68a	0,68a	1831a	1864a	3,98a	3,77a
G-2-2	0,77a	0,61b	3,22a	3,55a	21,9a	22,0a	0,66a	0,67a	1502a	1524a	2,55a	2,22a
G-2-22	0,41a	0,25b	2,85a	2,63b	21,6a	21,9a	0,75a	0,74a	1463a	1501a	1,73a	1,90a
G-2-25	0,75a	0,64a	4,23a	4,00a	22,6a	23,0a	0,67a	0,68a	1605a	1663a	2,99a	3,12a
G-3-28	0,71a	0,49b	6,65a	5,77b	26,6a	25,7a	0,61a	0,61a	2225a	2085b	4,27a	4,89b
G-3-3	0,91a	0,89a	3,79a	3,72a	21,3a	22,1a	0,73a	0,72a	1427a	1541b	2,71a	2,74a
G-3-4	0,78a	0,67b	3,63a	4,18b	21,5a	22,7b	0,69a	0,69a	1454a	1627b	3,06a	2,67b
G-3-5	0,70a	0,67a	3,89a	4,06a	20,5a	20,6a	0,69a	0,69a	1324a	1332a	3,10a	2,66b
G-3-8	0,83a	0,74b	6,46a	6,12a	26,0a	25,6a	0,69a	0,69a	2120a	2054b	4,36a	4,78a
G-4-10	0,64a	0,55b	5,32a	4,79b	24,8a	24,1a	0,71a	0,70a	1929a	1821a	3,54a	3,92a
G-4-3	0,75a	0,64b	4,11a	3,95a	21,9a	22,0a	0,74a	0,73a	1515a	1520a	2,89a	3,08b
G-6-14	0,80a	0,65b	3,88a	3,62b	23,0a	23,6a	0,74a	0,74a	1663a	1749b	2,59a	2,87a
I-1-95	0,83a	0,72b	4,00a	3,56b	22,3a	22,3a	0,77a	0,76a	1572a	1562a	2,54a	2,90b
I-3-27	0,58a	0,50b	4,80a	4,48b	23,5a	23,4 ^a	0,71a	0,72a	1742a	1719a	3,29a	3,46a
I-3-67	0,76a	0,62b	3,92a	4,31b	22,8a	23,5a	0,67a	0,66a	1629a	1740a	3,07a	2,77b
Media	0,71a	0,61b	4,28a	4,14a	22,79a	22,93a	0,70a	0,69a	1642,17a	1661,47a	3,11a	3,03b

^aSP = Autopolinización; CP = polinización cruzada con polen de la variedad 'Cavaliere'.

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los dos tipos de polinización el test LSD ($p = 0,05$).

^s Las abreviaturas se han definido en el cuadro 8.1.

Cuadro 11.14. Comparación de las características físicas de las pepitas procedentes de la autopolinización o la polinización cruzada.

Genotipo	^s Pn		Dgp		Øp		SuP		Rdtc	
	^z CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP
G-1-1	1,12a	1,04a	13,10a	13,04a	0,51a	0,52a	540a	535a	28,2a	29,2a
G-1-23	0,80a	0,77b	11,99a	11,82a	0,57a	0,56a	452a	440b	24,7a	23,8a
G-1-41	1,10a	0,99b	13,05a	12,90b	0,57a	0,56a	536a	523a	26,7a	26,8a
G-2-1	1,25a	1,23a	13,40a	13,44a	0,53a	0,53a	565a	568a	25,4a	24,3a
G-2-2	0,99a	1,00a	12,48a	12,63a	0,55a	0,55a	489a	502a	31,2a	28,7b
G-2-22	0,95a	0,90a	12,55a	12,66a	0,60a	0,59a	495a	504a	33,8a	35,7a
G-2-25	1,11a	1,01a	13,39a	12,90b	0,54a	0,53a	564a	524a	26,8a	25,9a
G-3-28	1,75a	1,50b	14,98a	15,05a	0,45a	0,48a	706a	714a	26,7a	27,0a
G-3-3	1,06a	1,02a	12,96a	13,00a	0,60a	0,58a	528a	531a	28,2a	27,6a
G-3-4	0,97a	1,12b	12,44a	13,21b	0,57a	0,58a	488a	549b	27,2a	27,8a
G-3-5	1,23a	0,95b	12,23a	12,42a	0,55	0,56a	470a	485a	32,3a	23,9b
G-3-8	1,68a	1,76a	15,30a	15,05a	0,52a	0,53a	736a	712a	26,4a	29,3b
G-4-10	1,41a	1,26b	13,87a	13,49a	0,54a	0,54a	606a	572a	26,7a	26,4a
G-4-3	1,03a	1,07a	12,72a	12,75a	0,57a	0,56a	509a	511a	25,3a	27,3a
G-6-14	1,01a	1,04a	13,14a	13,07a	0,58a	0,58a	543a	538a	26,1a	29,0b
I-1-95	1,10a	1,02a	13,26a	12,84b	0,63a	0,63a	552a	518a	27,9a	29,2a
I-3-27	1,36a	1,18b	13,99a	13,41a	0,57a	0,58a	615a	566b	28,7a	26,6a
I-3-67	1,15a	1,24b	13,01a	13,40a	0,50a	0,48a	532a	565a	29,8a	29,1a
Media	1,17a	1,11b	13,2 a	13,2 a	0,55 a	0,55a	551,66 a	547,54 a	27,91 a	27,64 a

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los dos tipos de polen según el test LSD ($p = 0,05$).

^s Las abreviaturas se han definido en el cuadro 8.1.

11.3.4 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PEPITA

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los genotipos para las variables de la composición química (Cuadro 11.15 y 11.16), lo que confirma la gran variabilidad existente entre estos genotipos. En cuanto al sabor de la pepita, no hubo ninguna diferencia entre los dos tipos de polen.

En cuanto a los componentes químicos de la pepita, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los frutos procedentes de las dos polinizaciones para el porcentaje de aceite, el de proteína y el contenido en ceniza, mientras que no hubo diferencias significativas para el cociente R1 (aceite/proteína) y el contenido en potasio, calcio y magnesio (Cuadro 11.5). En cuanto al perfil químico del aceite, se observaron diferencias estadísticamente significativas para los ácidos grasos oleico, linoleico, palmítico y esteárico (Cuadro 11.6). La separación de medias por el test LSD mostró que los valores obtenidos en la autopolinización han sido ligeramente superiores a los obtenidos en la polinización cruzada (Cuadros 11.17 y 11.18), excepto para el ácido oleico (Cuadro 11.18). La interacción Genotipo × Tratamiento ha resultado estadísticamente no significativa sólo para el contenido en potasio, calcio, magnesio y ácido palmitoleico, por lo que en estos genotipos el contenido de estos componentes químicos ha sido ligeramente superior en los frutos obtenidos por autopolinización. Para el resto de los caracteres estudiados, los valores cambiaron de rango en función de las características intrínsecas de cada genotipo.

Cuadro 11.15. Análisis de la varianza de las características químicas de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.

Fuente de variación	GL	Aceite	Proteína	^s R1	Ceniza	Potasio	Calcio	Magnesio
Medios Cuadrados								
Genotipo	17	3,6 10 ⁻³ **	2,8 10 ⁻³ **	4,3 10 ⁻³ **	1,8 10 ⁻⁴ **	8,5 10 ⁻⁵ **	1,5 10 ⁻³ **	1,2 10 ⁻⁵ *
Tratamiento	1	6,1 10 ⁻³ **	6,2 10 ⁻⁴ **	1,9 10 ⁻³ ns	8,1 10 ⁻⁵ **	7,7 10 ⁻⁵ ns	9,6 10 ⁻⁵ ns	7,6 10 ⁻⁵ ns
Genotipo × Trat	17	2,1 10 ⁻³ **	7,1 10 ⁻⁴ **	4,8 10 ⁻⁴ **	1,6 10 ⁻⁵ *	2,4 10 ⁻⁵ ns	6,4 10 ⁻⁵ ns	5,5 10 ⁻⁵ ns
Residual	36	1,1 10 ⁻⁴	5,4 10 ⁻⁶	2,1 10 ⁻⁵	8 10 ⁻⁶	2,8 10 ⁻⁵	6,9 10 ⁻⁵	6,4 10 ⁻⁵

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

Cuadro 11.16. Análisis de la varianza de la composición en ácidos grasos del aceite de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.

Fuente de variación	GL	^s C160	C161	C180	C181	C182	R2	R3
Medios Cuadrados								
Genotipo	17	4,1 10 ⁻⁴ **	8,1 10 ⁻⁵ **	9,1 10 ⁻⁴ **	4,1 10 ⁻³ **	4,3 10 ⁻³ **	2,69 ***	3,97 ***
Tratamiento	1	1,9 10 ⁻³ **	5,2 10 ⁻⁵ ns	4,1 10 ⁻⁴ **	6,1 10 ⁻³ **	1,9 10 ⁻³ **	2,41 ***	11,53 ***
Genotipo × Trat.	17	9,1 10 ⁻⁵ **	4,4 10 ⁻⁵ ns	9,4 10 ⁻⁵ **	5,2 10 ⁻⁴ **	4,6 10 ⁻⁴ *	0,46 ***	0,40 **
Residual	36	3,5 10 ⁻⁵	3,1 10 ⁻⁵	1,8 10 ⁻⁵	3,1 10 ⁻⁵	2,1 10 ⁻⁵	0,01	0,09

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

^s Las abreviaturas se han definido en el cuadro 9.1.

Cuadro 11.17. Comparación de las características químicas (aceite, proteína, ceniza y elementos minerales) de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.

Selección	% aceite		% Proteína		R1		% Ceniza		Potasio		Calcio		Magnesio	
	^a CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP
G-1-1	58,1a	61,1b	21,0a	18,7b	2,76a	3,26b	3,27a	3,41b	0,87a	0,85a	0,17a	0,18a	0,22a	0,23a
G-1-23	61,8a	62,1a	17,6a	18,6a	3,50a	3,34a	3,29a	3,30a	0,79a	0,75a	0,24a	0,21a	0,23a	0,24a
G-1-41	56,8a	54,7b	21,1a	20,9a	2,69a	2,62a	4,14a	3,89b	1,10a	1,03a	0,25a	0,27a	0,21a	0,20a
G-2-1	53,8a	56,8b	21,5a	20,1a	2,50a	2,82a	3,72a	3,66a	0,84a	0,89a	0,20a	0,22a	0,25a	0,25a
G-2-2	51,7a	54,3a	22,2a	21,5a	2,33a	2,53a	3,41a	3,21b	0,89a	0,81a	0,23a	0,22a	0,25a	0,23a
G-2-22	56,2a	54,6a	24,2a	23,9a	2,32a	2,28a	3,23a	3,23a	0,86a	0,81a	0,25a	0,18a	0,19a	0,22b
G-2-25	61,4a	58,9a	19,0a	20,6a	3,23a	2,86b	3,00a	3,16a	0,71a	0,79	0,23a	0,17a	0,23a	0,25a
G-3-28	57,4a	55,7a	20,3a	22,4b	2,82a	2,49a	3,60a	3,40b	0,85a	0,88a	0,20a	0,19a	0,23a	0,22a
G-3-3	49,7a	55,8b	22,9a	21,9a	2,17a	2,44a	3,97a	3,59b	0,88a	0,85a	0,23a	0,27a	0,22a	0,21a
G-3-4	55,1a	59,2b	23,2a	20,6b	2,37a	2,87a	3,52a	3,42a	1,17a	0,78b	0,83a	0,28a	0,25a	0,23a
G-3-5	55,2a	54,9a	23,4a	17,8b	2,36a	3,08b	3,27a	3,15a	0,78a	0,69a	0,24a	0,29a	0,26a	0,22b
G-3-8	57,6a	56,5a	24,7a	24,3a	2,33a	2,32a	3,88a	3,91a	0,90a	0,91a	0,27a	0,29a	0,25a	0,26a
G-4-10	58,2a	59,4a	22,1a	20,9a	2,63a	2,84a	3,52a	3,31b	0,92a	0,82a	0,23a	0,22a	0,23a	0,23a
G-4-3	54,9a	63,3b	21,1a	19,3b	2,32a	3,27b	3,55a	3,36b	0,78a	0,77a	0,29a	0,25b	0,25a	0,24a
G-6-14	52,4a	61,3b	21,4a	17,5b	2,44a	3,49b	3,39a	3,19a	0,84a	0,80a	0,23a	0,20a	0,23a	0,23a
I-1-95	58,1a	63,1b	17,5a	20,5b	3,31a	3,07a	3,23a	3,30a	0,74a	0,72a	0,20a	0,20a	0,25a	0,26a
I-3-27	61,8a	59,2a	19,0a	21,1b	3,25a	2,80b	3,29a	3,25a	0,79a	0,76a	0,24a	0,24a	0,22a	0,23a
I-3-67	52,4a	55,6b	26,3a	22,4b	1,99a	2,48a	3,53a	3,64a	0,93a	0,98a	0,17a	0,18a	0,27a	0,26a
Media	55,6a	57,8b	21,6a	21,1b	2,6a	2,7a	3,4a	3,4b	0,86a	0,82a	0,25a	0,22a	0,23a	0,23 a

^aSP = Autopolinización; CP = polinización cruzada con polen de la variedad 'Cavaliere'.

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los dos tipos de polen según el test LSD ($p = 0,05$).

^s Las abreviaturas se han definido en el cuadro 9.1.

Cuadro 11.18. Comparación de las características químicas (composición en ácidos grasos mayoritarios) de las pepitas procedentes de la autopolinización y la polinización cruzada.

Selección	Ac. palmítico		Ac. palmitoleico		Ac. esteárico		Ac. oleico		Ac. linoleico		R2		R3	
	^a CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP
G-1-1	6,9a	6,8a	0,64a	0,46b	2,04a	2,23a	74,0a	73,7a	15,6a	15,9a	4,63a	4,74a	8,34a	8,22a
G-1-23	6,3a	6,3a	0,65a	0,69a	1,81a	1,81a	74,7a	76,5a	16,1a	14,3b	5,32a	4,65b	9,31a	9,53a
G-1-41	7,5a	6,3b	0,57a	0,48a	1,47a	1,70b	73,6a	79,0b	13,5a	11,4b	6,88a	5,45b	8,24a	9,93b
G-2-1	6,8a	6,5a	0,70a	0,59a	1,58a	1,35b	70,0a	70,7a	20,3a	19,9a	3,55a	3,44a	8,44a	9,00a
G-2-2	6,9a	6,3b	0,48a	0,56a	1,95a	1,89a	72,1a	74,9b	17,6a	15,5b	4,83a	4,10a	8,21a	9,22b
G-2-22	7,3a	7,1a	0,66a	0,65a	1,71a	1,34b	74,9a	74,9a	14,3a	15,1a	4,94a	5,22a	8,39a	9,00a
G-2-25	7,1a	6,4b	0,64a	0,47b	2,25a	2,07a	73,9a	75,3a	15,3a	15,0a	3,88a	4,80b	7,94a	10,1b
G-3-28	6,1a	6,1a	0,50a	0,62a	1,22a	1,14a	78,7a	76,5a	12,6a	15,0b	5,10a	6,22b	10,8a	10,6a
G-3-3	7,4a	6,6b	0,64a	0,69a	1,92a	1,52b	72,0a	74,7b	16,4a	15,3a	4,86a	4,39a	7,82a	9,26b
G-3-4	7,8a	7,1a	0,63a	0,54a	1,53a	1,34a	66,3a	66,4a	22,6a	22,8a	2,90a	2,93a	7,14a	7,92a
G-3-5	9,1a	7,4b	0,52a	0,51a	2,29a	1,76b	71,3a	75,2b	14,8a	13,8a	5,45a	4,80a	6,38a	8,26b
G-3-8	6,6a	6,2a	0,65a	0,54a	1,41a	1,24a	76,1a	78,5b	14,5a	12,6b	6,20a	5,25b	9,61a	10,6b
G-4-10	7,1a	6,1b	0,47a	0,45a	1,35a	1,22a	76,5a	78,3b	13,4a	13,2a	5,90a	5,71a	9,12a	10,8a
G-4-3	7,5a	6,9a	0,50a	0,68b	1,68a	1,20b	73,3a	72,2a	15,5a	17,7b	4,06a	4,72a	8,10a	8,92a
G-6-14	6,9a	6,8a	0,59a	0,50a	1,54a	1,20b	75,2a	77,9b	15,1a	12,5b	6,19a	4,99b	8,92a	9,76a
I-1-95	7,1a	7,4a	0,61a	0,69a	2,11a	2,13a	72,6a	72,7a	16,1a	15,5b	4,69a	4,55a	7,97a	7,67a
I-3-27	8,3a	7,4b	0,52a	0,51a	2,25a	2,59b	70,8a	75,3b	16,9a	13,3b	5,67a	4,19b	6,81a	7,80b
I-3-67	7,6a	7,1a	0,77a	0,65b	2,28a	2,54b	69,7a	72,0b	18,5a	16,6b	4,33a	3,77b	7,11a	7,54a
Media	6,7a	7,2b	0,56a	0,59a	1,7a	1,8b	74,7a	73,1b	15,3a	16,1b	5,0a	4,6b	9,1a	8,2b

* letras diferentes indican diferencias significativas de los caracteres entre los dos tipos de polen según el test LSD ($p = 0,05$).

^s Las abreviaturas se han definido en el cuadro 9.1.

En general, el efecto del propio polen favoreció ligeramente la composición química de la pepita, al contrario de lo que ocurrió en el caso de las características físicas. Sin embargo, en algunas selecciones (G-3-3, G-3-4 y G-6-14), los valores del contenido en aceite fue mayor, y por consiguiente el de proteína menor, en frutos procedentes de polinización cruzada (Cuadro 11.17). Así mismo, en la mayoría de las selecciones el contenido en ácido oleico fue superior, y el de ácido linoleico menor, en el aceite de los frutos procedentes de polinización cruzada, excepto en G-1-1, G-3-28 y G-4-3 (Cuadro 11.18).

11.4 DISCUSIÓN

11.4.1 CRECIMIENTO Y NÚMERO DE TUBOS POLÍNICOS EN EL PISTILO

Cabe señalar que, en ambos tratamientos, el número de granos de polen en la superficie del estigma ha sido superior a 50, considerado como mínimo para que las diferencias puedan atribuirse al efecto de la compatibilidad del polen en el almendro (Socias i Company y Alonso, 2004). Por ello, las diferencias entre los genotipos en cuanto al número de granos de polen retenidos en el estigma, independientemente del tipo de polen, probablemente se deben a las diferencias en el grado de receptividad del estigma. La ausencia de diferencias coincide con los resultados en otras variedades de almendro (Ortega et al., 2002; Socias i Company y Alonso, 2004).

La llegada de los tubos polínicos a la base del estilo 4 días después de la polinización indica que la eficiencia del propio polen en alcanzar la base del estilo es igual a la del polen extraño. Como la relación de compatibilidad es independiente del ambiente de crecimiento de los tubos polínicos (Socias i Company, 2001), el comportamiento en laboratorio indica que en el campo se produce la misma eficiencia en el crecimiento de los propios tubos polínicos. Las diferencias significativas entre los genotipos, independientemente del tipo de polen, indican que el crecimiento de los tubos polínicos depende de las características físicas y bioquímicas del estilo en el que crecen, ya que los pistilos se encontraban en las mismas condiciones.

Las diferencias observadas 24 horas después de la polinización se deben, probablemente, a una débil capacidad de germinación, de penetración y crecimiento de los tubos polínicos en la superficie del estigma (Socias i Company, 1987; Certal et al., 2002). Las diferencias entre genotipos observadas a las 48 y 72 horas después de la polinización se deben, posiblemente, al cambio del modo de nutrición de un régimen autótrofo a un régimen heterótrofo en el tejido conductor del estilo (Ben-Njima y Socias i

Company, 1995), al establecerse, probablemente, una competición entre los tubos polínicos por los nutrientes y el espacio necesario para su crecimiento (Sedgley, 1983).

El estudio de la dinámica del crecimiento de los tubos polínicos mostró una reducción en el número de tubos polínicos a lo largo del pistilo (Pimienta et al., 1983; Socias i Company y Alonso, 2004), como en otras especies del género *Prunus* (Hormaza y Herrero, 1996). El número de tubos polínicos en la base del pistilo depende de su dinámica de crecimiento y de los factores que condicionan esta reducción, que en el género *Prunus* viene condicionado básicamente por las características físicas (espacio) y bioquímicas (nutrientes) del tejido transmisor del pistilo (Herrero, 1992; Hormaza y Herrero, 1996; Sedgley, 1976). Ello puede explicar las diferencias existentes entre los genotipos, independientemente del tipo de polen, en cuanto al número de tubos polínicos en la base del pistilo.

Sin embargo, las diferencias entre los dos tipos de polinización no son debidas al polen, ya que los tubos polínicos de ambos tratamientos crecen en el mismo pistilo y bajo las mismas condiciones experimentales. El elevado número de tubos polínicos en la base del pistilo después de la polinización cruzada en comparación con la autopolinización no se debe al número de granos de polen en la superficie del estigma, ya que no se observaron diferencias significativas para el número de granos de polen en la superficie del estigma. La ausencia de una correlación significativa entre el número de tubos en la base del pistilo y el número de granos en el estigma después de la autopolinización ($r=0,29$) y de la polinización cruzada ($r=0,08$), indica que el número de granos de polen no está relacionado con el éxito de la llegada de un elevado número de los tubos polínicos a la base del pistilo, independientemente del tipo de polen, como ya se había indicado (Hormaza y Herrero, 1996; Trueman y Turnbull, 1994).

En varias selecciones autocompatibles de almendro no se han encontrado diferencias en el número de tubos polínicos en la base del pistilo entre el propio polen y el polen extraño (Ben-Njima y Socias i Company, 1995; Dicenta et al., 2002; Ortega et al., 2002), aunque algunos estudios indican diferencias significativas para otras selecciones autocompatibles autopolinizadas (Socias i Company y Alonso, 2004), aunque en estos casos otros factores, además de la autocompatibilidad, pueden afectar el crecimiento de los propios tubos polínicos, como la consanguinidad (Alonso y Socias i Company, 2005), que afecta a los factores morfológicos y bioquímicos que condicionan la dinámica de la reducción de los tubos polínicos a lo largo del pistilo. La expresión de la consanguinidad depende, probablemente, de la cantidad de los genes alterados heredados por los genotipos (Socias i Company y Alonso, 2004; Lynch y Walsh, 1998). Por ello, las diferencias observadas en este estudio entre los genotipos

procedentes del cruzamiento 'Felisia' × 'Bertina' (sin ninguna relación entre sí) con los del 'Felisia' × 'Moncayo' (ambas descendientes de 'Tuono') pueden deberse a estos fenómenos.

11.4.2 EI CUAJADO

La elevada significación del efecto del genotipo, del año y del tratamiento sobre el cuajado indica que tanto factores genéticos como ambientales intervienen en su determinación. La gran variabilidad genotípica y ambiental del cuajado obtenido por polinización libre tanto en este caso como en otros (Dicenta et al., 2002; Kester y Griggs, 1959; Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2004) indica que este carácter depende en cierta medida de las características biológicas de cada genotipo (Socias i Company et al., 2004) y de las condiciones ambientales del año. En efecto, el cuajado viene determinado por el número de flores fecundadas, por lo que los factores intrínsecos al genotipo como la calidad de flor (Socias i Company, 1983) y la densidad floral (Socias i Company, 1988), tienen su influencia. También las condiciones climáticas durante la floración son determinantes para el éxito de la polinización y por lo tanto de obtener un cuajado elevado.

Las diferencias observadas de un año a otro, considerando los distintos tratamientos, indican que el año afectó el cuajado independientemente del tratamiento. Los valores de los años 2003 y 2004 fueron inferiores a los del año 2005. En la primavera de los años 2003 y 2004 hubo heladas que causaron daños en las flores ya abiertas, causando una disminución considerable del cuajado. En el año 2005 se consiguieron unos cuajados superiores al 30%. Por otro lado, los cuajados de la polinización libre y el testigo 'D' fueron significativamente superiores a los obtenidos por polinización artificial en 2003 y 2004. Ello indica un posible efecto negativo de la emasculación sobre las flores por heridas en el pistilo. No obstante, en 2005 los cuajados obtenidos por polinización artificial fueron superiores a los de polinización libre, por lo que la emasculación y la polinización manual no fueron las causas de la reducción del cuajado en los tratamientos artificiales, tal como se había sugerido anteriormente (Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2004). Estas diferencias podrían deberse a los efectos de las condiciones climáticas antes y después de la emasculación de las flores, especialmente las bajas temperaturas.

La introducción del tratamiento testigo 'D' en los análisis se debe a que en las polinizaciones artificiales siempre se produce una reducción de flores, ya que se emasculan las flores en el estado fenológico 'D' (Felipe, 1977) y se eliminan las flores abiertas y las yemas atrasadas. Este tratamiento se llevó a cabo para averiguar si existe un efecto de la reducción de yemas en las ramas emasculadas

sobre el cuajado natural de cada genotipo. Los valores obtenidos tras este tratamiento fueron opuestos de un año a otro, indicando que las condiciones climáticas pueden afectar de forma diferente el cuajado en este tratamiento (Socias i Company y Felipe, 1987 y 1992; Socias i Company et al., 2005). Algunos autores (Kester y Griggs, 1959) han señalado que la reducción en el número de flores implica una reducción en el número de frutos, mientras que otros (Socias i Company et al., 2005; Socias i Company y Felipe, 1992) consideran que no siempre tiene lugar esta reducción.

En el año 2003, el cuajado tras la polinización libre fue superior al del testigo 'D', por lo que el efecto de la reducción del número de yemas fue negativo sobre el cuajado. En cambio, en los años 2004 y 2005 no hubo diferencias estadísticamente significativas entre el testigo 'D' y la polinización libre y en 2004 los valores del testigo 'D' fueron ligeramente superiores. Este comportamiento diferencial de un año a otro se debe probablemente a las condiciones climáticas de cada año y a las diferencias genotípicas de las selecciones para algunos caracteres relacionados con el cuajado, como la densidad floral y la calidad de la flor.

Las grandes semejanzas del cuajado del testigo 'D' y las polinizaciones artificiales, especialmente tras la polinización cruzada, en 2003 (con una helada fuerte durante la floración) y en 2005 (sin ninguna incidencia de heladas), indican que la reducción de flores en ambos tratamientos no es el factor determinante en la reducción del cuajado. Sin embargo, en años con riesgo de heladas, la reducción del número de flores puede tener un efecto negativo sobre el cuajado, al reducir la probabilidad de supervivencia de un número suficiente de flores tras unas condiciones climáticas extremas.

Las diferencias significativas entre los cuajados tras las polinizaciones manuales y la polinización libre podrían atribuirse a la reducción del número de flores en las polinizaciones artificiales y a los posibles daños por emasculación y polinización. No obstante, los valores opuestos del año 2005 en comparación con los de 2003 y 2004 para estos cuajados, así como las grandes semejanzas entre el testigo 'D' y las polinizaciones artificiales de 2003 y 2005, indican las diferencias significativas entre la polinización libre y las artificiales no son debidas a la reducción en el número de flores ni a los posibles daños de la emasculación y la polinización manual, como se había sugerido (Socias i Company y Felipe, 1992; Socias i Company et al., 2005).

Los bajos valores de 2003 y 2004 tras las polinizaciones manuales en comparación con la polinización libre se deben probablemente al efecto de las bajas temperaturas sobre los pistilos, ya que estos últimos se quedaron sin la protección del cáliz tras la emasculación. Por otra parte, aunque estas

selecciones son autocompatibles, no todas son autogámas, por lo que no todas son capaces de autopolinizarse en condiciones naturales. En cambio, los elevados cuajados de las polinizaciones manuales en 2005 en comparación con la polinización libre indican que los factores limitantes fueron este año probablemente los referentes a la polinización, la fecundación y la calidad de las flores, ya que no se registraron heladas, así como de factores internos difíciles de determinar, como el estrés hídrico, la disponibilidad de nutrientes, la posición y la orientación de las ramas en el árbol o la interacción entre ambos. El comportamiento diferencial de las selecciones se debe a la peculiaridad de cada planta, ya que es una entidad biológica propia con un comportamiento interanual imprevisible frente a los cambios externos e internos a que está sometida (Socias i Company et al., 2004).

En el almendro, el cuajado viene determinado en condiciones normales por el número de flores polinizadas. Kester y Griggs (1959) señalaron que para conseguir un cuajado comercialmente aceptable, se debe polinizar el 100% de las flores. Por ello, la falta de la polinización de todas las flores en la polinización libre podría ser la causa de los bajos cuajados en comparación con las polinizaciones manuales, ya que en éstas se polinizaron todas las flores. La eliminación de las yemas atrasadas puede haber contribuido al incremento de la fecundación en los tratamientos artificiales, ya que la apertura de estas yemas ocurre al final del proceso de floración y son en su mayoría flores estériles.

No hubo diferencias significativas entre los cuajados de la autopolinización y la polinización cruzada, considerando todos los años del estudio, con los valores medios de los tres años similares para los dos tratamientos. La significación de la interacción 'Año' × 'Tratamiento' refleja, sin embargo, que los valores del cuajado cambian de magnitud y rango de un año a otro. Al analizar los datos de cada año se observó que en 2003 no hubo diferencias significativas entre ambas polinizaciones, mientras que en 2004 y 2005 sí las hubo. En 2004 el cuajado tras la polinización cruzada fue significativamente mayor que el de la autopolinización, mientras que en 2005 sucedió lo contrario. Algunas selecciones cambiaron de rango de un año a otro en función del tipo de polinización, mientras que otras mostraron el mismo orden.

Las diferencias en el cuajado de frutos tras la autopolinización y la polinización cruzada coinciden con los señalados por Socias i Company et al. (2004) y Torre Grossa et al. (1994) pero no con las de Dicenta et al. (2002), Godini et al. (1994), Legave et al. (1997), Socias i Company y Felipe, (1992) y Vasilakakis y Porlingis (1984). Estas discrepancias se deben probablemente a las características del material vegetal, al tamaño de la población estudiada, que no ha superado antes los 10 genotipos y en

muchos casos se han limitado a una sola variedad (Socias i Company y Felipe, 1992; Torre Grossa et al. 1994; Vasilakakis y Porlingis, 1984) y a las condiciones ambientales de un año.

Los bajos cuajados tras la autopolinización en comparación con los de la polinización cruzada de las selecciones G-5-2 y G-5-25 en todos los años y en G-2-7, G-5-18 y G-6-24 en 2005, indican que además de la autocompatibilidad genética (presencia del alelo *Sf* de autocompatibilidad) y fisiológica (llegada de los tubos polínicos a la base del pistilo), existen otros factores intrínsecos a cada genotipo que intervienen en su eficacia. Las selecciones G-5-2 y G-5-25 presentaron un cuajado inicial inferior al 20% en 2003 y 2004, lo que indica una falta de fecundación de una gran parte de las flores polinizadas manualmente.

En la bibliografía se ha mencionado que el rechazo del propio polen una vez que alcance el ovario se debe al fenómeno llamado acción tardía de la autoincompatibilidad (*late-acting self-incompatibility*, Seavey y Bawa, 1986). Estos autores han indicado que este fenómeno incluye varios mecanismos: 1) inhibición de los tubos polínicos autoincompatibles por el ovario antes de que alcancen el óvulo, 2) inhibición de la fecundación en el óvulo, 3) rechazo post-zigótico, y 4) inhibición ovular. Sin embargo este fenómeno no puede explicar los bajos cuajados de estas selecciones ya que su autocompatibilidad genética ha sido confirmada por la técnica de las ribonucleasas estilares. Por otra parte la disminución del cuajado tras la autopolinización puede deberse a la acción temprana de la consanguinidad, por la presencia de genes recesivos letales (Hirayama et al., 2005; Jurgens et al., 1991).

En el almendro, Oukabli et al. (2000) encontraron en 'Tuono' un alto porcentaje de flores con aborto postzigótico tras la autopolinización a pesar de la llegada de los tubos polínicos a la base del pistilo, lo que atribuyeron al efecto negativo de la autofecundación sobre la viabilidad del óvulo, por el efecto depresivo de la consanguinidad que se manifiesta en distinta magnitud en función de las características de cada genotipo y de su origen genealógico (Grasselly et al. 1981; Lansari et al. 1994; Ortega y Dicenta, 2003; Socias i Company, 1990; Socias i Company y Alonso, 2004; Socias i Company y Felipe, 1994) o en función del número de genes letales o deletéreos presentes en cada genotipo, como sucede en otras especies (Lynch y Walsh, 1998). Por lo tanto, es probable que los bajos cuajados observados tras la autopolinización sean debidos a la acción del efecto depresivo de la consanguinidad, probablemente por la presencia de genes letales o deletéreos. Estos genes podrían proceder de su antepasado 'Tuono', variedad utilizada en la mayoría de los programas de mejora para transmitir la

autocompatibilidad, originaria de la región de Apulia, en el sur de Italia, en la cual se suponen varios genes letales o deletéreos (Socias i Company, 1990).

Los elevados cuajados por autopolinización de las selecciones G-1-1, G-1-23, G-1-38, G-1-41, G-1-58, G-1-64, G-2-22, G-2-23, G-2-25, G-2-27, G-3-3, G-3-4, G-3-5, G-3-8, G-3-28, G-4-3, G-4-10, G-6-14, G-6-39, I-2-12 y I-3-27 sugiere la posibilidad de utilizarlas en plantaciones mono-varietales para evitar los problemas relativos la asociación varietal en las plantaciones mixtas (Dicenta et al., 2002; Godini et al., 1994; Grasselly et al., 1992; Socias i Company y Felipe, 1992). Por otra parte, la disponibilidad de los agentes polinizadores como las abejas se ha reducido en los últimos años (Socias i Company, 1990), a causa de la utilización indiscriminada de pesticidas. Igualmente algunos factores ambientales durante el proceso de la floración del almendro, especialmente en las zonas del interior (Socias i Company et al., 1999), afectan seriamente la movilidad y la actividad de las abejas (Tasei, 1975). Por ello es imprescindible tener en cuenta la capacidad de autopolinización natural de estas selecciones en las plantaciones mono-varietales, porque en algunos casos la presencia de abejas como agente polinizador se ha considerado deseable (Torre Grossa et al., 1994) o incluso necesaria (Godini et al., 1992) para una buena polinización.

Las selecciones G-1-58 y G-2-25 presentaron cuajados aceptables en ramas embolsadas y comparables a los obtenidos en 'Guara' con la misma técnica (Socias i Company y Felipe, 1992), superiores al 25%, considerados comercialmente aceptables (Kester y Griggs, 1959). Por ello, estas selecciones pueden establecerse en plantaciones mono-varietales sin la introducción de colmenas para garantizar su polinización.

11.4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FRUTO Y DE LA PEPITA

El efecto genotipo fue estadísticamente significativo para las características físicas y químicas del fruto, como era de esperar. Algunas características físicas del fruto y de la pepita han presentado diferencias significativas entre los dos tipos de polinización, como ya habían indicado Oukabli et al (2002) en la variedad 'Tuono' y Torre Grossa et al. (1994) para el peso del fruto en la variedad 'Lauranne', aunque Legave et al. (1997) encontraron resultados contradictorios estudiando la misma variedad. Estas discrepancias cuestionan el efecto del propio polen sobre las características físicas del fruto. Sin embargo, ninguno de los tres grupos de investigación utilizó la misma fuente de polen extraño. El primer grupo utilizó polen de 'Mission', el segundo de 'Ferragnès' y el tercero de 'Ramillete', por lo que las diferencias en los resultados podrían deberse a la fuente de polen extraño.

Dicenta et al. (2002) estudiaron el efecto de la polinización cruzada y de la autopolinización en algunos caracteres agronómicos en 6 genotipos del almendro y no encontraron diferencias significativas entre los dos tipos de polinización para las características del fruto y de la pepita, aunque el peso de la pepita de los frutos procedentes de la autopolinización (1,25 g) fue superior al de frutos procedentes de la polinización cruzada (1,18g). Oukabli et al. (2002) justificaron el efecto negativo del propio polen sobre las características físicas del fruto al efecto de la consanguinidad, que se manifiesta afectando negativamente el desarrollo normal del fruto (Grasselly y Olivier, 1981). La misma hipótesis se ha propuesto para explicar las diferencias entre ambos tipos de polinización en otras especies (Bell et al., 1981). En nuestro estudio, parece que el propio polen ha reducido el peso y el tamaño del fruto y de la pepita, aunque esta reducción no se tradujo en una pérdida de la calidad física del fruto y de la pepita (aspecto, tamaño), ya que esta reducción no ha sido drástica.

Algunos autores han mencionado que el origen del polen influye en las características físicas del fruto (Eti et al., 1994; Kumar y Das, 1996), poniendo de manifiesto la existencia del efecto xenia en el almendro (Kumar y Das, 1996). En macadamia se ha señalado que la media del peso de frutos procedentes de plantaciones mixtas (2 o más variedades plantadas) es un 14% superior a la media del peso de frutos procedentes de plantaciones mono-varietales (Ito y Hamilton, 1980). Estas diferencias se han atribuido al efecto positivo de la polinización cruzada y no al efecto de la consanguinidad.

En mandarina, varios estudios han puesto en evidencia el efecto positivo de la polinización cruzada (con diferente fuente de polen) sobre las características físicas del fruto en comparación con la autopolinización (Vithanage, 1991; Wallace y Lee, 1999). Este efecto del polen extraño ha sido atribuido al efecto xenia (Wallace y Lee, 1999) ya que el propio polen no afectó dramáticamente a la calidad del fruto. No obstante, al estudiar la interacción 'Genotipo' × 'Tratamiento' se ha visto que estas diferencias son significativas en algunas variedades mientras que en otras no. Ello indica que la respuesta a la autopolinización en las variedades autocompatibles depende de las características genéticas de cada genotipo.

11.4.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PEPITA

No se conoce ningún estudio sobre el efecto del tipo de polinización sobre las características químicas de la pepita, sino sólo sobre la composición en general sin relación con la polinización. No hubo diferencias en el sabor de la pepita entre ambos tipos de polinización, confirmando que el tipo de polen no afecta el sabor (Dicenta et al., 2000) ya que el componente químico responsable del sabor

amargo se sintetiza en la planta madre y se transloca a los frutos (Frehner et al., 1990). Aunque se ha mencionado algún caso de la influencia del polinizador en el sabor de la pepita (Crane y Lawrence, 1947), ello no se ha confirmado (Dicenta et al., 2000).

El análisis estadístico confirmó el efecto del polen sobre las características químicas de la pepita. En general, el contenido en componentes químicos fue significativamente mayor en las pepitas procedentes de polinización cruzada, excepto para el porcentaje en proteína y en ácido oleico y para los cocientes R2 y R3, todos ellos factores positivos en la evaluación de la calidad (Socias i Company et al., 2006).

En los estudios sobre la biosíntesis de la fracción química de la pepita del almendro, sólo se ha considerado el proceso de acumulación de los componentes químicos a lo largo del desarrollo del fruto (Saura-Calixto et al., 1988), sin tener en cuenta el origen del material acumulado en la pepita. Sin embargo, Dure (1975) apuntó que durante la embriogénesis, además de los nutrientes suministrados por la planta madre, el propio embrión también sintetiza y almacena una importante cantidad de nutrientes. Saura-Calixto et al. (1988) apuntaron a que el aumento en la acumulación de aceite y de proteína se acentuó a lo largo del desarrollo del cotiledón y que la verdadera acumulación de estos componentes no tiene lugar hasta que el cotiledón de la almendra ha alcanzado un cierto grado de madurez. Ello permite suponer que tanto la parte materna (la planta madre) como paterna (por el efecto del polen en el embrión) contribuyen a la presencia de estos componentes.

En otras especies se ha estudiado el efecto del polen en la composición, como en el maíz, en el que algunos componentes químicos del endospermo (Corens, 1901) y del embrión (proteína y aceite) (Curtis et al., 1956) están muy influidos por el origen del polen. En esta especie se encontró un elevado porcentaje de proteína en las semillas procedentes de la autopolinización en comparación con la polinización cruzada (East y Jones, 1920), lo que coincide con nuestros resultados. Asumiendo la hipótesis que el propio polen aumenta el porcentaje en proteína, el contenido en aceite va a disminuir porque existe una correlación negativa entre ambos componentes.

El contenido en aceite de las pepitas procedentes de la auto-polinización es inferior al de las procedentes de polinización cruzada. No obstante, la significación de la interacción 'Genotipo' × 'Tratamiento' indica que la respuesta de los genotipos a los distintos tratamientos difiere según las características de cada uno. En algunas selecciones (G-1-41, G-2-22, G-2-25, I-3-27 y G-3-28), el porcentaje en aceite de las pepitas procedentes de la autopolinización ha sido superior al de las

procedentes de la polinización cruzada. Ello hace muy difícil determinar las causas de las diferencias entre ambos tipos de polen, ya que se desconoce el determinismo genético de estos componentes en el almendro y sus vías de biosíntesis. A pesar de las diferencias en el contenido en aceite y proteína según el tipo de polen, el cociente % aceite/% proteína no fue significativo entre los dos tipos de polinización, lo que indica que el uso industrial de las pepitas podrá ser el mismo independientemente del tipo de polinización por la importancia de índice R1 en la industria de la confitería.

El perfil de ácidos grasos sí mostró diferencias significativas según el tipo de polinización. La separación de medias (test LSD) indicó un aumento de todos los ácidos grasos, excepto el oleico, en las pepitas procedentes de la polinización cruzada. Estas diferencias podrían ser debidas al efecto de la consanguinidad o a la acumulación de genes aditivos favorecida por la autopolinización, ya que estos caracteres parecen ser cuantitativos y presentan una gran variabilidad. En otras especies como la mandarina, se encontró que los frutos de la variedad 'Ellonor' procedentes de autopolinización presentaron un bajo contenido en azúcares en comparación con los de polinización cruzada (Wallace y Lee, 1999). La disminución en el porcentaje de ácido oleico en las pepitas procedentes de la polinización cruzada está de acuerdo con el aumento del ácido linoleico, por la elevada correlación negativa entre ambos componentes.

La significación de las diferencias entre ambos tipos de polen en cuanto a los cocientes R2 y R3, que están implicados en la determinación de la resistencia del aceite a la oxidación (Kester et al., 1993; Özdemir et al., 2001), indica que las pepitas procedentes de la autopolinización presentan una composición de la fracción lipídica favorable a la resistencia al enranciamiento. Finalmente, no se encontraron diferencias significativas en cuanto al contenido en elementos minerales, por lo que estos componentes probablemente no dependen del tipo del polen sino de otros factores, como las condiciones de suelo y clima (Saura Calixto et al., 1988).

11.5 CONCLUSIÓN

El estudio comparativo interanual del cuajado tras la polinización manual y la polinización libre reveló la necesidad de evaluar este carácter durante más de un año para sacar conclusiones fiables de los factores que afectan a la productividad en el almendro. En años sin heladas, que podrían dañar las flores y los frutos, se ve claramente el interés del aporte del polen para aumentar el porcentaje de flores polinizadas y por consiguiente el cuajado, ya que los cuajados obtenidos tras la polinización manual fueron significativamente superiores a los obtenidos después de la polinización libre.

Las diferencias significativas entre la autopolinización y la polinización cruzada en cuanto al cuajado y el comportamiento diferencial de los genotipos con respecto al propio polen indican la necesidad de evaluar el efecto del propio polen sobre el cuajado a nivel individual para identificar aquellos genotipos que podrían ser cultivados en plantaciones mono-varietales. La presencia de genotipos con bajos cuajados tras la autopolinización en comparación con la polinización cruzada refleja la necesidad de tener en cuenta este fenómeno para descartarlas y considerar la elección eficiente de parentales que no transmitan este carácter a sus descendencias.

La presencia de selecciones autógamas en la población estudiada hace viable la creación de plantaciones monovarietales sin la intervención de agentes polinizadores, evitando así los enormes problemas climáticos y técnicos relacionados con la actividad de estos agentes.

Las pepitas procedentes de la autopolinización presentaron en general valores inferiores en cuanto al peso y al tamaño del fruto y de la pepita y de su composición química en comparación con la polinización cruzada, sin que ello se traduzca en una pérdida de su calidad sensorial (sabor) ni industrial.

Estas diferencias entre ambos tipos de polen indican la posibilidad de crear plantaciones mono-varietales con estas selecciones avanzadas, como ya se ha hecho con 'Guara', sin que ello implique problemas de productividad ni de rentabilidad, ya que estas selecciones presentan buena densidad floral y unos cuajados económicamente adecuados. Sin embargo, desde el punto de vista de la mejora genética es recomendable profundizar los estudios sobre el efecto de la autopolinización en las características agronómicas de las nuevas obtenciones para evitar problemas debidos a la consanguinidad, ya que la gran mayoría de las variedades autocompatibles obtenidas en los programas de mejora son descendientes de 'Tuono' (Socias i Company, 2002).

Capitulo 12. Correlaciones fenotípicas entre
caracteres de interés agronómico y comercial

12. CORRELACIONES FENOTÍPICAS ENTRE CARACTERES DE INTERÉS AGRONÓMICO Y COMERCIAL

12.1 INTRODUCCIÓN

En la mejora genética de los frutales se deben valorar muchas características, por lo que es muy importante el conocimiento de la correlación entre los diversos caracteres de interés. En todos los programas se debe mejorar un conjunto de caracteres de forma simultánea, por lo que es preciso conocer las posibles relaciones que existan entre los diversos caracteres, ya que la selección para uno podría favorecer el de otros caracteres relacionados positivamente con éste o bien el retroceso en los caracteres correlacionados negativamente con él (Scossiroly et al., 1963). Se ha mencionado que las causas de las correlaciones entre caracteres pueden ser genéticas o ambientales (Falconer, 1986), siendo la principal causa genética de esta correlación la pleiotropía, cuando un gen afecta a dos o a varios caracteres, y la segunda causa es el ligamiento entre caracteres (Hansche et al., 1972).

En el almendro, la mayoría de los caracteres de interés agronómico se encuentran bajo control poligénico (Socias i Company, 1998), lo que dificulta su evaluación y su selección. Por ello es preciso aplicar una selección indirecta para otros caracteres altamente relacionados con este tipo de caracteres (Allard, 1967). También es muy útil conocer las relaciones entre los caracteres para ejercer una selección indirecta y precoz (durante el período juvenil del árbol) de los caracteres que se manifiestan a una edad más avanzada (Visser, 1976). Ello permite medir y evaluar sólo unos pocos caracteres altamente correlacionados con el conjunto de los caracteres deseados, disminuyendo así el número de caracteres a controlar (Hansche et al., 1972), ya que existen varios caracteres que son costosos de medir y de evaluar con precisión (Falconer, 1986).

En el almendro se han estudiado diversas correlaciones, principalmente dirigidas a la selección precoz de aquellos caracteres que no se manifiestan hasta la madurez sexual de la planta, como las correlaciones fenotípicas entre las fechas de brotación y floración (Kester et al., 1977a; Vargas y Romero, 1984) y entre las necesidades en frío de la semilla para germinar y las épocas de floración y brotación (El Gharbi, 1977, Kester y Assay, 1973; Kester et al., 1977a). También se han estudiado las correlaciones entre la época de floración y las intensidades de floración y de producción (Dicenta y García, 1992; Grasselly, 1977; Kester, 1965b), y las correlaciones entre las características del fruto (Dicenta y García, 1992; Kester, 1965a; Spiegel-Roy y Kochba, 1974 y 1981).

El objetivo de este capítulo ha sido la determinación y la confirmación de las posibles correlaciones existentes entre algunos caracteres de interés agronómico y comercial, con el fin de aumentar la eficiencia de los programas de mejora y proponer nuevas estrategias de mejora.

12.2 METODOLOGIA

Se han determinado las correlaciones entre los caracteres considerados de interés agronómico y químico para cada año de estudio. Dado que no se han podido realizar todas las determinaciones en todos los genotipos por los daños por heladas de los años 2003 y 2004, el número de observaciones correspondientes a cada combinación se ha limitado a la disponibilidad de datos de dicha combinación para cada genotipo. También se han determinado las correlaciones interanuales para verificar la estabilidad de los caracteres.

Se ha considerado que los coeficientes de correlación superiores a 0,71 y inferiores a -0,71 podrían ser biológicamente significativos (Skinner et al., 1999), pero en este estudio se ha seguido el criterio de Souza et al. (1998) que establece que una correlación superior a 0,65 es alta o muy alta, una correlación entre 0,50 y 0,64 es medianamente alta, una correlación entre 0,30 y 0,49 es medianamente baja y una correlación inferior a 0,30 es baja o muy baja. No obstante, se ha considerado que los coeficientes de correlación bajos pero estadísticamente significativos, podrían ser interesantes especialmente en el caso de correlaciones consistentes a lo largo de los años. Para el cálculo de la correlación se ha utilizado el coeficiente de Pearson, aplicando el procedimiento "ProcCorr" del paquete estadístico SAS (SAS, 2000).

12.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

12.3.1 CORRELACIONES FENOTÍPICAS ENTRE LA PRODUCTIVIDAD Y SUS COMPONENTES

En este apartado no se presentan las correlaciones obtenidas en el año 2002 (segundo verde) debido al fuerte efecto del período juvenil sobre la expresión de estos caracteres.

12.3.1.1 Densidad floral y morfología de la rama

Los resultados de este apartado se exponen en el Cuadro 12.1. La matriz de correlaciones muestra una correlación positiva significativa entre la sección de la rama principal y la longitud de la rama principal y la de los brotes del año. La correlación negativa entre la longitud de la rama principal y el

índice de ramificación indica que los genotipos con ramas principales largas tienden a presentar poca ramificación. Ello se debe, probablemente, a que la dominancia apical induce un aumento del crecimiento en longitud de las ramas y una inhibición de la ramificación (Wilson, 2000). Este fenómeno ha sido más acusado en las selecciones que en los parentales, probablemente porque uno de los objetivos de este programa es que el nuevo material tenga poca ramificación para reducir los costes de poda, ya que esta operación es de las más costosas en el almendro (Felipe y Socias i Company, 1985).

Hay una correlación positiva entre el número de yemas de flor totales y la longitud total de ramificación, la densidad de los ramos del año y la densidad de los ramilletes de mayo en cada año de estudio. No obstante, el número de yemas totales presentó una correlación significativa y positiva con la sección de la rama principal y la longitud de los ramos del año solamente en los años 2004 y 2005 y con la longitud de la rama principal en el año 2005. Ello puede indicar que la aparición de yemas de flor y el crecimiento vegetativo de los soportes de la ramificación son dos procesos distintos.

La densidad floral presentó una correlación altamente positiva con la densidad de ramilletes de mayo y medianamente positiva con la densidad de yemas por ramillete de mayo. Sin embargo, en el primer año no se encontró ninguna correlación entre la densidad floral y la densidad de yemas por ramillete de mayo, lo que probablemente se debe a que los ramilletes de mayo tardan en expresar todo su potencial productivo ya que su aparición tiene lugar a una edad avanzada del árbol (Kester y Gradziel, 1996). Por ello los ramos del año son los que más contribuyen en el almendro a la determinación de la densidad y la capacidad florífera en los primeros años de la vida del árbol.

La elevada correlación entre la densidad floral y la densidad de ramilletes de mayo y en un grado menor con el número de yemas por ramillete de mayo (Cuadro 12.1) indica que la fructificación sobre ramilletes de mayo aumenta la capacidad productiva independientemente del número de yemas por ramillete de mayo. Por otra parte, la densidad floral presenta una elevada correlación positiva con la densidad floral de los ramos del año y media con la densidad de ramos del año, indicando que la densidad floral en las selecciones que fructifican sobre ramos del año depende más del potencial productivo de estos ramos que de su densidad en el árbol. Este resultado condiciona el tipo y la intensidad de poda que hay que aplicar a una variedad según el tipo de los soportes de fructificación.

La elevada correlación entre la densidad floral total y la densidad de ramilletes de mayo confirma que este último carácter aumenta el potencial productivo del almendro (Kester y Gradziel, 1996), como ocurre en otras especies, como el albaricoquero (Albuquerque et al., 2003). También en nogal

Hansche et al. (1972) encontraron una correlación positiva entre la fructificación lateral y la producción y recomendaron la selección para una fructificación sobre ramos laterales para aumentar la productividad de esta especie.

Cuadro 12.1. Correlación entre los caracteres de la densidad floral, la capacidad florífera y la morfología de los soportes de fructificación en los años 2003-2005.

Variables	SEC	LRP	LRT	LR	NYT	Dra	IR	DSp	DYSp	DF	CF
^z LRP	0,37 0,34 0,49	-									
LRT	0,36 0,48 0,47	0,37 0,30 0,69	-								
LR	0,16 0,43 0,39	-0,07 0,14 0,82	0,87 0,98 0,90	-							
NYT	0,21 0,44 0,32	0,03 0,09 0,33	0,31 0,57 0,66	0,17 0,53 0,56	-						
Dra	-0,04 0,29 0,04	-0,37 -0,25 -0,35	-0,07 0,71 0,48	0,05 0,76 0,57	0,40 0,62 0,74	-					
IR	-0,24 0,18 0,19	-0,32 -0,38 -0,30	-0,23 0,28 -0,05	-0,15 0,23 0,11	0,14 0,71 0,49	0,51 0,68 0,08	-				
DSp	0,17 0,03 -0,03	-0,05 -0,27 -0,26	0,18 -0,12 0,01	0,11 -0,15 -0,08	0,54 0,50 0,56	-0,17 0,16 0,49	-0,24 0,82 0,64	-			
DYSp	0,33 0,10 0,33	0,20 0,03 0,07	0,08 0,04 0,10	-0,03 0,05 0,14	0,26 0,48 0,58	-0,29 0,02 0,17	0,74 0,25 0,53	0,43 0,36 0,32	-		
DFT	0,30 0,29 0,32	-0,15 -0,04 -0,26	-0,31 -0,29 -0,35	-0,17 0,01 -0,17	0,89 0,81 0,66	0,49 0,35 0,51	0,34 0,65 0,58	0,45 0,72 0,63	0,17 0,58 0,60	-	
CF	-0,30 -0,20 -0,41	-0,18 -0,11 -0,06	0,11 0,26 0,21	0,09 0,29 0,18	0,80 0,75 0,65	0,42 0,46 0,68	0,34 0,63 0,24	0,45 0,51 0,46	0,04 0,40 0,35	0,80 0,76 0,68	-
DFRa	0,04 0,02 -0,06	0,05 0,06 0,10	-0,05 -0,04 0,06	-0,14 -0,07 -0,08	0,74 0,56 0,49	0,26 0,12 0,27	0,26 0,25 0,42	0,20 0,29 0,12	0,16 0,33 0,52	0,81 0,77 0,76	0,64 0,61 0,59

Los coeficientes obtenidos en 2003, 2004 y 2005 se presentan de arriba a bajo para cada combinación.

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcan en negrita.

^z La abreviatura corresponde a las definiciones del cuadro 8.1.

Con el objetivo de evaluar la consistencia de estos caracteres en el tiempo se calculó el coeficiente de correlación interanual de la densidad floral total y sus componentes (Cuadro 12.2). Ninguna ha resultado significativa de un año a otro, por lo que los valores obtenidos en el primer verde no se pueden considerar un índice de los valores de los años siguientes por esta elevada variabilidad.

Sin embargo, existen algunas excepciones en cuanto a la inestabilidad interanual de estos caracteres. En efecto, Grasselly (1972) señaló que las selecciones con una productividad alta en su primera floración, lo son también en años sucesivos. Sin embargo, estos resultados muestran que la evaluación de estos caracteres debe hacerse por lo menos en dos años consecutivos y que no se puede realizar una selección precoz para ellos. No obstante, los genotipos que presenten valores altos para estos caracteres durante dos años sucesivos, pueden considerarse productivos también en años posteriores, como es el caso de las selecciones I-1-95 y G-1-38.

Cuadro 12.2. Coeficiente de correlación entre los datos de los años 2003/2004 y 2003/2005.

Caracteres estudiados	2003 vs. 2004	2003 vs. 2005
Densidad floral total	0,12 ^z	0,28
Densidad floral de ramos del año	0,21	0,05
Densidad yemas de los ramilletes de mayo	0,26	0,16
Capacidad florífera	0,09	0,02

^z Ningún coeficiente es significativo al P = 0,05 por el test t.

12.3.1.2 El cuajado y sus componentes

Las correlaciones fenotípicas entre el cuajado final y sus componentes mostró que el cuajado presenta una elevada correlación positiva con la productividad y la densidad de fruto (Cuadro 12.3). La productividad está fuertemente correlacionada con la densidad floral y la de los frutos, y en un grado menor con el número y la densidad de ramilletes de mayo. La densidad de frutos presenta una correlación positiva con la densidad floral y el número y la densidad de ramilletes de mayo.

Destaca la alta correlación entre la densidad floral y el número y la densidad de ramilletes de mayo y en un grado menor con el número de yemas por ramillete de mayo (Cuadro 12.3). Cuantas más flores tengan estas selecciones autocompatibles, más posibilidades hay para que se fecunden en un número elevado para asegurar un cuajado adecuado y así una buena producción, ya que la densidad floral está significativamente correlacionada con el cuajado, como ya se ha descrito en el almendro y en otras especies como el melocotonero (de Souza et al., 1998).

12.3.2 CORRELACIÓN ENTRE LA FLORACIÓN Y LA MADURACIÓN

Se han encontrado unas correlaciones significativamente negativas entre el inicio, la plena y el final de la floración en los años 2002 y 2004, mientras que los años 2003 y 2005 no hubo ninguna correlación entre estos caracteres (Cuadro 12.4). Sólo Dicenta y García (1992) se han referido a estas

relaciones y encontraron las mismas diferencias según los años. En el almendro, la duración de la floración varía de un año a otro según las temperaturas durante la floración (Bernad y Socias i Company, 1995), por lo que los años con temperaturas bajas la duración de la floración se alarga y viceversa.

Cuadro 12.3. Correlaciones fenotípicas entre los caracteres varietales que contribuyen a la determinación de la productividad.

Variables	Cuajado	Productividad	Densidad fruto	Densidad floral	Número ramilletes Mayo
Productividad	0,57 0,63	-			
Densidad fruto	0,65 0,69	0,80 0,94	-		
Densidad floral	0,35 0,38	0,53 0,51	0,70 0,59	-	
Número de ramilletes mayo	0,15 0,04	0,48 0,31	0,40 0,32	0,72 0,63	-
Número de ramilletes mayo/cm	0,22 0,20	0,33 0,22	0,36 -0,01	0,75 0,70	0,95 0,87
Número yemas/ ramillete mayo	0,12 0,13	0,01 -0,03	0,18 -0,01	0,29 0,52	0,12 0,24

Los coeficientes obtenidos en el 2003 y 2004 se presentan de arriba a bajo para cada combinación, Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcan en negrita.

Por lo tanto, la presencia o ausencia de correlaciones entre los distintos estados de la floración y su duración según el año se debe a los cambios en las condiciones climáticas que se registran durante la floración, lo que influye en el ritmo de apertura de las flores (Bernad y Socias i Company, 1995) y por consiguiente en la duración de la floración (Alonso et al., 2005; Chandler y Brown, 1951). Así, las selecciones de floración muy tardía tienden a presentar una floración más corta que las de floración media, debido al aumento de la temperatura con la progresión del año, como se ha comprobado tanto en las condiciones de Zaragoza (Bernad y Socias i Company, 1995; Alonso et al., 2005), como en las de Murcia (Dicenta y García, 1992).

Dicenta y García (1992), tras estudiar un elevado número de genotipos de 52 familias y de distinta época de floración, apuntaron a que esta correlación realmente enfrenta dos objetivos de los programas de mejora: la floración tardía y una floración suficientemente escalonada. En la mayoría de los programas de mejora se persigue una floración tardía (Socias i Company et al., 1999), independientemente de su duración, porque una floración temprana suele ser más perjudicial que un período de floración corto cuando hay riesgo de heladas (Dicenta y García., 1992).

Cuadro 12.4. Coeficientes de correlación entre algunos caracteres fenológicos.

Carácter	Duración de la floración	Época de maduración	Duración de la maduración	Duración de la fructificación
Época de maduración	-	-	-	-
	-0,12	-	-	-
	-0,23	-	-	-
Duración de la maduración	0,11	-	-	-
	-	0,35	-	-
	0,12	0,33	-	-
Duración de la fructificación	0,08	0,39	-	-
	0,22	-	0,17	-
	-	0,38	0,21	-
Inicio de la floración	0,01	0,32	0,29	-
	0,29	0,36	0,21	-
	0,14	0,62	0,29	-
Plena floración	-0,50	-	-	-
	-0,07	0,34	0,11	-0,71
	-0,67	0,36	-0,23	-0,72
Final de la floración	0,15	0,43	0,08	-0,42
	-0,40	-	-	-
	-0,02	0,37	0,10	-0,69
Inicio de la fructificación	-0,62	0,33	-0,26	-0,72
	0,27	0,41	0,08	-0,44
	-0,30	-	-	-
Final de la fructificación	-0,07	0,36	0,08	-0,70
	-0,54	0,36	-0,23	-0,73
	0,20	0,43	0,06	-0,43

Los coeficientes obtenidos en los años 2002, 2003, 2004 y 2005 se presentan de arriba a bajo. Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcen en negrita.

Se han obtenido correlaciones positivas y significativas entre las distintas fechas de floración y la época de maduración en los tres años de estudio (Cuadro 12.4), lo que coincide con otros resultados en almendro (Dicenta y García, 1992) y en otras especies, como el nogal (Hansche et al., 1972), por lo que las variedades que florecen más tarde tienden a madurar más tarde. Ello podría considerarse un dilema entre dos caracteres de gran interés: floración muy tardía, para evitar problemas de helada en zonas de riesgo, y una maduración precoz para una recolección en época más favorable y un pronto suministro del producto al sector industrial. No obstante, en el programa de mejora del almendro del CITA, la mayoría de los genotipos de floración tardía o muy tardía presentan una maduración comprendida entre mediados de agosto y mediados de septiembre (Socias i Company, com. per.), considerada una época de maduración de precoz a media (Kester y Gradziel, 1998; Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980). En muchas ocasiones un genotipo de floración tardía presenta una época de maduración precoz, como sucede con 'Guara', o a la inversa como 'Desmayo Largueta'. Por ello la época de floración no se puede considerar un indicador fiable de la época de maduración (Dicenta, 1991) y la baja magnitud de su correlación indica que estos caracteres se pueden considerar independientes y su evaluación se debe hacer por separado.

Por otra parte, se ha encontrado una correlación positiva entre la época y la duración de la maduración. Así, las selecciones con una época de maduración precoz presentan una maduración más homogénea, lo que facilita el proceso de la recolección.

12.3.3 CORRELACIONES FENOTÍPICAS ENTRE LOS CARACTERES BIOMÉTRICOS DEL FRUTO

Los caracteres biométricos del fruto han mostrado que el peso del fruto está alta y positivamente correlacionado con sus componentes (peso de la cáscara, peso de la pepita y del tegumento) y con sus dimensiones (Cuadro 12.5). La elevada correlación positiva entre las dimensiones y el peso del fruto con los de la pepita indica que las características del fruto son buenos indicadores de las características biométricas de la pepita, por lo cual se puede seleccionar para pepitas de elevado tamaño y peso mediante un elevado tamaño del fruto.

El peso de la pepita está altamente correlacionado con la longitud, el espesor, el tamaño y la superficie de la misma y en un grado menor con su anchura. Ello indica que si la anchura de la pepita disminuye, su peso no disminuiría con la misma proporción. Así mismo el peso de la pepita no está correlacionado con su índice de esfericidad, mientras que está altamente correlacionado con su diámetro geométrico, mostrando que el peso de la pepita depende más de sus dimensiones que de su forma, lo cual indica que el cambio en la forma del fruto no debería afectar al peso de la pepita.

La ausencia de correlaciones significativas entre el peso de la pepita y el peso y el espesor de la cáscara muestra que la cáscara no afecta al desarrollo de la pepita, ya que el endocarpio no reduce el espacio interno necesario para el desarrollo de la pepita, ya que el proceso de endurecimiento del endocarpio se inicia una vez que la pepita ha alcanzado su tamaño final (Hawker y Buttrose, 1980). Por ello se puede seleccionar para una cáscara dura y gruesa o blanda, dependiendo de las características de la industria, sin que ello afecte a las características de la pepita.

Aunque existe una correlación elevada entre la longitud y la anchura, no la hay entre el espesor y la longitud ni entre el espesor y la anchura ni en la pepita ni en el fruto. Por ello, si el tamaño del fruto o de la pepita disminuye, su espesor no disminuye necesariamente en la misma proporción (Kester 1965a). Así, las pepitas pequeñas pueden tener el mismo espesor, o en algunos casos superior, que las pepitas grandes, por lo que para diferentes genotipos el cociente anchura/longitud podría parecer visualmente diferente, aunque tengan tamaños similares, por lo que el espesor relativo de la pepita es

una característica específica de cada genotipo, aunque la apariencia visual puede cambiar con el tamaño de la pepita (Kester y Gradziel, 1996).

Cuadro 12.5. Correlación entre los caracteres físicos del fruto en los años 2001, 2002 y 2003.

Variable	Pf	Pn	Rdtc	Lf	LrF	EPF	Tf	Dgf	Øf	SuF	PQ	EPQ	LP	LrP	ESP	Tp	Dgp
^z Pn	0.70																
	0.63																
	0.67	-															
Rdtc	-0.32	0.40															
	-0.42	0.39															
	-0.52	0.32	-														
Lf	0.68	0.68	0.01														
	0.57	0.61	0.01														
	0.69	0.64	-0.04	-													
LrF	0.78	0.49	-0.33	0.51													
	0.64	0.52	-0.16	0.60													
	0.87	0.59	-0.45	0.64	-												
EPF	0.60	0.61	0.04	0.33	0.52												
	0.47	0.48	0.01	0.39	0.66												
	0.64	0.53	-0.22	0.32	0.70	-											
Tf	0.87	0.76	-0.08	0.79	0.82	0.74											
	0.70	0.65	-0.07	0.84	0.87	0.76											
	0.87	0.71	-0.31	0.81	0.90	0.77	-										
Dgf	0.87	0.75	-0.10	0.80	0.83	0.74	0.99										
	0.67	0.64	-0.06	0.84	0.89	0.77	0.98										
	0.87	0.71	-0.40	0.81	0.92	0.78	0.98	-									
Øf	-0.14	-0.24	-0.13	-0.72	0.12	0.30	-0.18	-0.18									
	-0.17	-0.25	-0.09	-0.74	0.01	0.23	-0.28	-0.28									
	-0.05	-0.19	-0.15	-0.66	0.07	0.43	-0.12	-0.12	-								
SuF	0.87	0.75	-0.09	0.80	0.82	0.75	0.99	0.99	-0.18								
	0.69	0.65	-0.06	0.84	0.88	0.76	0.99	0.99	-0.28								
	0.87	0.71	-0.40	0.81	0.91	0.78	0.99	0.99	-0.12	-							
PQ	0.96	0.48	-0.55	0.58	0.77	0.51	0.78	0.78	-0.07	0.78							
	0.95	0.41	-0.61	0.48	0.49	0.39	0.65	0.57	-0.14	0.59							
	0.97	0.49	-0.72	0.62	0.84	0.60	0.82	0.82	-0.08	0.82	-						
EPQ	0.59	0.36	-0.47	0.27	0.56	0.43	0.51	0.54	0.12	0.51	0.65						
	0.48	0.33	-0.22	0.33	0.34	0.55	0.55	0.51	0.07	0.54	0.44	-					
	0.69	0.31	-0.59	0.39	0.72	0.61	0.66	0.68	0.20	0.67	0.72						
LP	0.61	0.80	0.26	0.86	0.39	0.33	0.68	0.69	-0.61	0.69	0.44	0.15					
	0.52	0.65	0.14	0.76	0.39	0.28	0.61	0.61	-0.58	0.61	0.44	0.21	-				
	0.58	0.65	0.08	0.92	0.51	0.25	0.69	0.69	-0.68	0.70	0.49	0.28					
LrP	0.75	0.58	-0.16	0.42	0.74	0.52	0.68	0.69	0.09	0.69	0.69	0.53	0.42				
	0.54	0.47	-0.09	0.39	0.60	0.41	0.56	0.54	-0.02	0.55	0.49	0.41	0.44	-			
	0.79	0.58	-0.40	0.53	0.85	0.59	0.75	0.77	0.07	0.76	0.76	0.62	0.51				
ESP	0.23	0.48	0.45	0.17	0.11	0.37	0.30	0.16	0.08	0.30	0.04	-0.06	0.36	0.21			
	0.06	0.35	0.34	0.05	0.02	0.22	0.10	0.10	0.07	0.06	-0.02	0.04	0.12	0.09	-		
	0.05	0.40	0.36	0.10	0.21	0.20	0.07	0.14	0.18	0.06	0.04	-0.13	0.35	0.12			
Tn	0.67	0.93	0.34	0.65	0.50	0.58	0.73	0.73	-0.21	0.73	0.49	0.21	0.80	0.66	0.73		
	0.55	0.75	0.18	0.58	0.44	0.43	0.61	0.58	-0.29	0.60	0.43	0.31	0.76	0.68	0.59	-	
	0.73	0.83	0.08	0.72	0.64	0.49	0.74	0.74	-0.27	0.74	0.62	0.39	0.80	0.77	0.63		
Dgp	0.67	0.91	0.34	0.63	0.51	0.59	0.72	0.72	-0.19	0.72	0.49	0.24	0.79	0.67	0.75	0.98	
	0.52	0.71	0.20	0.56	0.42	0.44	0.59	0.57	-0.28	0.58	0.40	0.30	0.76	0.68	0.62	0.99	
	0.71	0.83	0.12	0.71	0.64	0.49	0.73	0.74	-0.26	0.73	0.60	0.38	0.79	0.76	0.78	0.99	-
Øp	-0.16	-0.17	0.01	-0.61	-0.03	0.16	-0.23	-0.24	0.73	-0.24	-0.13	0.02	-0.63	0.12	0.38	0.07	-0.10
	-0.26	-0.25	0.03	-0.58	-0.17	0.03	-0.35	-0.34	0.59	-0.35	-0.23	-0.03	-0.73	-0.01	0.47	-0.16	-0.15
	-0.26	-0.26	0.08	-0.78	-0.23	0.07	-0.41	-0.41	0.80	-0.41	-0.23	-0.08	-0.80	-0.07	0.46	-0.23	-0.21
SuP	0.67	0.92	0.34	0.64	0.51	0.58	0.73	0.73	-0.20	0.73	0.48	0.23	0.79	0.67	0.74	0.99	0.99
	0.54	0.72	0.21	0.57	0.44	0.43	0.60	0.58	-0.28	0.59	0.41	0.30	0.77	0.68	0.61	0.99	0.99
	0.72	0.81	0.11	0.72	0.64	0.49	0.73	0.74	-0.27	0.74	0.61	0.38	0.80	0.77	0.76	0.99	0.99

Las correlaciones entre las variables estudiadas de los años 2001-2003 se presentan de arriba a abajo.

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcán en negrita.

^z Las abreviaturas se han definido en el cuadro 8.1.

El rendimiento en pepita presenta una correlación altamente negativa con el peso y el espesor de la cáscara (Cuadro 12.5), por lo que depende de las características de la cáscara, especialmente de su dureza. Una variedad con cáscara dura tiende a presentar un rendimiento bajo en pepita y viceversa, aunque ello no puede relacionarse directamente con la productividad, que depende realmente de la capacidad de producir una gran cantidad de frutos independientemente de la dureza de su cáscara (Godini, 2002). Desde el punto de vista agronómico ello significa que a la hora de elegir una variedad para plantar, la dureza de la cáscara es un aspecto que debe ser indiferente para el agricultor desde el punto de vista productivo (Felipe, 2000), debiendo tener sólo en cuenta la productividad propia de la variedad que se desea plantar.

La fuerza aplicada para romper la cáscara refleja su dureza (Barbera et al., 1988; Cavalletto et al., 1985) y presenta una correlación negativa y significativa con el peso ($r=-0,49$) y el diámetro de la cáscara ($r=-0,53$), por lo que cuando aumenta el peso y el espesor de la cáscara disminuye la fuerza aplicada para romperla. Sin embargo, el carácter cáscara dura no depende únicamente del espesor y del peso de la cáscara (Felipe, 2000), sino también de otros factores, como la densidad, la consistencia y la ausencia de porosidad en la misma y la presencia de doble capa.

Independientemente del tipo de cáscara, la presencia de capas se considera un carácter indeseable por su negativa incidencia industrial. Ello se debe a que en el descascarado se produce a menudo la rotura de la capa externa, pero no la de la interna, lo que exige un nuevo pase por el descascarador y al mismo tiempo un calibrado más ajustado de los martillos, lo que produce a menudo la rotura de una proporción importante de pepitas (Socias i Company et al., 2006).

Las variedades de cáscara dura presentan una característica importante desde el punto de vista del mantenimiento de la calidad, ya que permiten su almacenaje en cáscara durante cierto tiempo sin perjuicio de su calidad, al contrario de las variedades de cáscara blanda, que requieren su procesado inmediatamente después de la cosecha. Estas variedades, como sucede con la californiana 'Nonpareil', presentan una cáscara tan blanda que a veces no se produce su sellado completo en la línea de sutura, lo que representa un punto de entrada de polvo y hongos, que pueden causar problemas de toxicidad por las aflatoxinas producidas por los hongos *Aspergillus* (Socias i Company et al., 2006).

El estudio de las variables de la forma del fruto y de la pepita mostró que el índice de esfericidad presenta una correlación altamente negativa con la longitud y una correlación positiva y significativa con el espesor, mientras que no existe ninguna correlación entre este índice y el tamaño, el diámetro

geométrico, la superficie y la anchura. La esfericidad del fruto y de la pepita no depende ni de su anchura ni de su tamaño, sino más bien de su longitud y en un grado menos de su espesor. Es posible seleccionar nuevo material con una forma determinada con parentales de forma semejante, ya que se ha comprobado que el tamaño y la forma del fruto se transmiten a la descendencia (Arteaga y Socias i Company, 2005; Grasselly y Crossa-Raynaud, 1980), con un posible efecto maternal (Spiegel-Roy y Kochba, 1977). La forma del fruto, y especialmente de la pepita, tiene una importancia capital para algunos usos comerciales. Para peladillas y bombones se prefieren pepitas de forma redondeada para que el recubrimiento de azúcar o chocolate sea más uniforme (Felipe, 2000).

Las correlaciones entre las dimensiones y las variables que determinan la forma (esfericidad y diámetro geométrico) podrían considerarse buenos indicadores para la industria en el momento de perfilar los mecanismos de cosecha, descascarado y separación (Aydin, 2003).

Las elevadas correlaciones entre las variables que determinan la forma y las dimensiones del fruto y de la pepita muestran que la forma y las dimensiones del fruto podrían ser considerados buenos indicadores de los de la pepita.

Las correlaciones entre los distintos caracteres del fruto y los de la pepita por una parte, y entre ambos por otra, han sido las mismas para cada año de estudio (Cuadro 12.5), indicando que estos caracteres están genéticamente correlacionados (Kester, 1965a) y que son manifestaciones diferentes de la misma función fisiológica (Fanizza, 1982), por lo que es importante considerarlas en el diseño de los cruzamientos en un programa de mejora. No obstante, algunos caracteres de baja heredabilidad como es el caso de presencia de capas dobles (Arteaga y Socias i Company, 2005) exigen una selección en la descendencia más que un diseño de los cruzamientos (Socias i Company et al., 2006).

Las correlaciones interanuales entre algunos caracteres del fruto y de la pepita (Cuadro 12.6) han mostrado que la anchura, el espesor y la longitud del fruto, el peso de la pepita y el rendimiento en pepita presentan bajas correlaciones interanuales mientras que el resto de los caracteres las presentan altas. Las elevadas correlaciones interanuales de algunos caracteres indican que los valores del primer año de evaluación son indicadores fiables de los valores que se pueden obtener en años posteriores. Los caracteres que presentan correlaciones interanuales bajas son inconsistentes de un año a otro y es preciso evaluarlos en varios años para determinar su grado de estabilidad.

Cuadro 12.6. Correlaciones interanuales entre algunos caracteres del fruto.

Variables	2001 vs 2002	2001 vs 2003	2002 vs 2003
Peso del fruto (g)	0,46	0,56	0,68
Longitud del fruto (mm)	0,49	0,36	0,52
Anchura del fruto (mm)	0,60	0,33	0,66
Espesor del fruto (mm)	0,60	0,32	0,64
Superficie del fruto (mm ²)	0,43	0,53	0,64
Tamaño del fruto (mm ³)	0,42	0,52	0,64
Diámetro geométrico del fruto	0,43	0,53	0,64
Índice de esfericidad del fruto	0,64	0,65	0,57
Peso de la pepita (g)	0,47	0,47	0,48
Longitud de la pepita (mm)	0,61	0,63	0,72
Anchura de la pepita (mm)	0,34	0,53	0,56
Espesor de la pepita (mm)	0,68	0,60	0,57
Superficie de la pepita (mm ²)	0,52	0,58	0,64
Tamaño de la pepita (mm ³)	0,51	0,58	0,65
Diámetro geométrico de la pepita	0,52	0,57	0,64
Índice de esfericidad de la pepita	0,65	0,59	0,66
Rendimiento al descascarado (%)	0,45	0,39	0,34

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se resaltan en negrita.

12.3.4 CORRELACIONES FENOTÍPICAS ENTRE LOS COMPONENTES QUÍMICOS DE LA PEPITA

En este apartado se presentan las correlaciones entre los componentes químicos de la pepita. Se ha considerado el porcentaje de aceite, cada uno de los ácidos grasos, la proteína bruta, la fibra bruta, la ceniza y los elementos minerales estudiados para los años 2002 y 2003; para los años 2003 y 2004 se han considerado los tres isómeros de tocoferol.

En primer lugar destaca la correlación significativa y negativa entre los contenidos en proteína total y en aceite en ambos años (Cuadro 12.7), por lo que los genotipos más ricos en aceite tienen menores contenidos en proteína y viceversa, de acuerdo con observaciones anteriores en otras variedades de almendro (Aslantaş et al., 2001; Saura Calixto et al., 1988; Souty et al., 1971).

Desde el punto de vista químico, esta interdependencia puede relacionarse con su biosíntesis, ya que ambas fracciones se forman a lo largo del proceso de maduración a partir de los carbohidratos, muy abundantes en las primeras fases del desarrollo de la pepita y que van decreciendo a lo largo de la maduración, de tal manera que la formación en mayor cantidad de una puede repercutir, al menos parcialmente, en que la otra fracción sea menos elevada (Saura Calixto et al., 1988).

El índice R1 (% aceite/% proteína) está lógicamente correlacionado positivamente con el porcentaje de aceite y negativamente con el porcentaje de proteína (Cuadro 12.7). Este índice es de gran utilidad para la industria de la confitería, especialmente para la producción de mazapán, puesto

que influye en la absorción de agua por la pasta de almendra: cuanto mayor es el contenido en lípidos, tanto menor es la absorción de agua (Alessandrini, 1980). En cambio, cuando este cociente es bajo, las pepitas podrían ser más adaptadas a su utilización como complemento alimenticio, después de extraer el aceite, debido a su alto contenido proteico (Longhi, 1952). Así mismo este índice se ha utilizado como indicador del contenido en aceite de la pasta de almendra (Schirra, 1997). Por lo tanto, esta relación es primordial en la evaluación de nuevo material con destino a un uso específico por la industria.

Hay una correlación altamente positiva entre el contenido en ceniza y el contenido en K y en un grado menor con el contenido en Mg y en Ca (Cuadro 12.7). En cuanto a las correlaciones entre elementos minerales, resultan destacable la correlación significativa entre los contenidos en Mg y en Ca. Desde el punto de vista de la mejora genética estas correlaciones no tienen mucha importancia, ya que los contenidos en elementos minerales de la planta dependen mucho de otros factores climáticos y edáficos. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, estas relaciones permitirán disminuir el coste y el tiempo necesario para la determinación del contenido en K y Ca de la pepita por espectrofotometría de absorción atómica, ya que la determinación de la ceniza se basa en procedimientos químicos sencillos y baratos.

En ambos años el contenido en aceite está correlacionado negativa y significativamente con el ácido palmítico, pero positiva y significativamente con el ácido oleico, mientras que no presenta ninguna correlación con el resto de los ácidos grasos (Cuadro 12.7), resultados similares a los de otras especies (León et al., 2004; Zhou et al., 1998). En el almendro, como en el olivo (León et al., 2004), el ácido oleico es el mayoritario en sus triglicéridos (Saura Calixto et al., 1988). Estos resultados sugieren que en un programa de mejora se puede seleccionar para un elevado contenido en aceite con el objetivo de aumentar la cantidad de ácido oleico, lo que mejora el valor nutritivo de la pepita y aumenta la estabilidad del aceite frente al enranciamiento.

Sin embargo, no se encontró ninguna correlación entre los contenidos en aceite y en los tres isómeros del tocoferol (Cuadro 12.7), como sucede en otras especies como la colza (Goffman y Becker, 2001). Ello indica que se puede mejorar la cantidad de aceite en la pepita sin afectar negativamente al contenido de ninguno de los tres isómeros de tocoferol y por consiguiente sin disminuir la capacidad de la almendra en evitar la oxidación de su contenido graso, debido a que uno de los factores más importantes en la protección de la pepita frente a la deterioración es su contenido en tocoferol, especialmente en α - y γ -tocoferol (Rizzolo et al., 1994; Zacheo et al., 2000).

Cuadro 12.7. Correlaciones entre los compuestos químicos en los años 2002 y 2003.

Variables	Fibra	Ceniza	Proteína	Aceite	R1	K	Ca	Mg	N
Ceniza	-0,12 0,02	-							
Proteína	-0,44 -0,32	0,16 0,24	-						
Aceite	0,04 0,02	-0,13 -0,18	-0,68 -0,56	-					
^z R1	0,37 0,31	-0,14 0,16	-0,95 -0,95	0,78 0,68	-				
Potasio	-0,08 0,02	0,69 0,70	-0,03 -0,12	0,08 -0,02	0,10 0,06	-			
Calcio	0,15 0,11	0,37 0,30	-0,03 0,12	-0,15 -0,18	-0,01 -0,12	0,16 0,05	-		
Magnesio	-0,29 -0,27	0,40 0,32	0,35 0,36	-0,09 -0,12	-0,32 -0,26	0,15 0,16	0,26 0,24	-	
Nitrógeno	-0,44 -0,37	0,16 0,19	0,99 0,99	-0,68 -0,56	-0,95 -0,95	-0,04 -0,12	-0,03 0,05	0,34 0,36	-
Ac. Palmítico	0,01 0,02	-0,16 -0,08	0,17 0,14	-0,20 -0,23	-0,14 -0,13	0,02 0,06	0,09 0,02	0,10 0,06	0,17 0,14
Ac. Palmetoleico	0,10 0,15	-0,06 -0,06	0,10 0,12	-0,17 -0,18	-0,14 -0,13	-0,12 -0,11	0,01 0,01	-0,001 -0,01	0,10 0,12
Ac. Esteárico	-0,19 -0,15	0,16 0,08	-0,03 -0,12	0,12 0,10	0,09 0,15	0,32 0,30	0,06 0,02	0,17 0,13	-0,03 -0,12
Ac. Oleico	0,16 0,06	0,13 0,06	-0,16 -0,10	0,26 0,28	0,10 0,11	-0,03 0,01	-0,01 0,04	-0,07 -0,12	-0,17 -0,10
Ac. Linoleico	-0,18 -0,05	-0,06 0,01	0,17 0,12	-0,03 -0,14	-0,09 -0,12	0,05 0,01	-0,02 -0,08	-0,08 0,02	0,17 0,12
^z R2	0,16 0,10	0,10 0,09	-0,16 -0,12	0,14 0,16	0,09 0,13	-0,05 0,03	0,01 -0,01	-0,16 -0,19	-0,16 -0,12
^z R3	0,10 0,15	0,001 -0,001	-0,10 0,04	0,10 0,14	0,04 -0,02	-0,18 -0,08	-0,11 -0,09	0,10 0,04	-0,10 0,03

Las correlaciones entre las variables estudiadas del año 2002 y 2003 se presentan de arriba a bajo.

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcan en negrita.

^z La abreviaturas se han definido en el cuadro 9.1.

También existen altas correlaciones entre los diversos ácidos grasos mayoritarios (Cuadro 12.8). El ácido oleico presenta una correlación altamente negativa con el ácido linoleico, como ya habían señalado Abdallah et al. (1998), García et al. (1994) y Saura-Calixto et al. (1988) en otras variedades del almendro, García et al. (1992) en pistacho, García et al. (1994) en avellana y León et al. (2004) en olivo. Aparentemente, la cantidad de ácido oleico está controlada por su conversión en ácido linoleico (Abdallah et al., 1998; Saura-Calixto et al., 1988). También existe una correlación positiva y altamente significativa del ácido palmítico con el linoleico y el palmitoleico y una correlación negativa con el oleico. Estos resultados coinciden con los encontrados en otras especies como el olivo (León et al., 2004) y *Euphorbia spp* (Bruni et al., 2004). También existe una alta correlación significativa y positiva entre el contenido en ácido oleico y el cociente R2 (oleico/linoleico) y el cociente R3 (ácidos saturados/ácidos insaturados), mientras que los ácidos linoleico y palmítico presentan unos coeficientes de correlación

negativos con estos cocientes y los ácidos esteárico y palmitoleico presentan una correlación negativa con el cociente R3 (Cuadro 12.8).

El índice R4 (tocoferol total/ácidos poli-insaturados) está positivamente correlacionado con el ácido oleico y negativamente con el linoleico (Cuadro 12.9). El cociente entre el ácido oleico y el linoleico ha sido asociado con una buena estabilidad y resistencia al enranciamiento de la grasa del almendro (Kester et al., 1993), del cacahuete (Grosso et al., 2000) y del pistacho (García et al., 1992); el cociente entre ácidos grasos saturados y insaturados ha sido asociado con una buena resistencia al enranciamiento en avellano (Bonvehí y Coll, 1993) y el cociente entre tocoferol total y los ácidos grasos poli-insaturados se ha relacionado con la elevada resistencia de la variedad de almendro 'Supernova' a la oxidación (Senesi et al., 1996).

A la vista de las correlaciones entre los distintos ácidos grasos y los cocientes R2, R3 y R4, se podría deducir que un alto contenido en ácido oleico podría mejorar la resistencia del aceite de la almendra al enranciamiento, mientras que el resto contribuye al proceso de oxidación y enranciamiento de la pepita. Varios estudios han mostrado que los ácidos grasos poli-insaturados, como el ácido linoleico (C18:2), en presencia de factores catalizadores de las reacciones de oxidación (enzimas, luz, humedad...) contribuyen a la deterioración de la calidad de los alimentos (Davies et al., 1987; Gou et al., 2000; Zacheo et al., 1998). La reducción de ácidos grasos poli-insaturados en aceites comestibles podría aumentar significativamente su estabilidad (Karahadian y Lindsay, 1989).

En el girasol y el cacahuete, la alta concentración del ácido linoleico causa la inestabilidad del aceite en procesos que necesitan tratamientos con altas temperaturas, lo que ha limitado su uso en varias aplicaciones alimentarias. Soldatov (1976) aisló varios genotipos de girasol que presentaban un elevado contenido en ácido oleico y proporcionalmente bajas concentraciones en ácido linoleico, aumentado así las posibilidades del uso del girasol en varios procesos industriales sin el deterioro de la calidad del aceite. Resultados similares se han logrado en el cacahuete (Norden et al., 1987).

Estos resultados sugieren que en un programa de mejora genética del almendro se puede mejorar el contenido en el ácido oleico seleccionando por un contenido bajo en ácido linoleico. Desde el punto de vista práctico, las altas correlaciones encontradas entre los distintos ácidos grasos podrían simplificar los trabajos de laboratorio en cuanto a la determinación de todos los ácidos grasos y disminuir el tiempo necesario para los análisis por cromatografía de gases (León et al., 2004).

Cuadro 12.8. Correlaciones entre los distintos ácidos grasos en los años 2002 y 2003.

Variables	Ac. Palmítico	Ac. Palmitoleico	Ac. Esteárico	Ac. Oleico	Ac. Linoleico	z R2
Ac. Palmetoleico	0,33 0,45	-				
Ac. Esteárico	-0,07 -0,10	0,20 -0,22	-			
Ac. Oleico	-0,61 -0,52	-0,04 -0,03	-0,01 0,12	-		
Ac. Linoleico	0,56 0,49	0,04 -0,02	-0,02 -0,10	-0,96 -0,96	-	
z R2	-0,60 -0,46	-0,06 0,03	0,03 0,14	0,95 0,95	-0,97 -0,97	-
z R3	-0,78 -0,79	-0,46 -0,35	-0,53 -0,45	0,54 0,47	-0,45 -0,36	0,49 0,38

Las correlaciones entre las variables estudiadas del año 2002 y 2003 se presentan de arriba a abajo.

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcan en negrita.

^z La abreviaturas se han definido en el cuadro 9.1.

En cuanto a los tres homólogos del tocoferol, se encontró una correlación positiva y significativa entre el contenido en α - y en γ -tocoferol, aunque no entre los contenidos en α - y δ -tocoferol ni entre γ - y δ -tocoferol (Cuadro 12.9). La ausencia de una correlación significativa entre los contenidos en α - y δ -tocoferol en el aceite de almendra coincide con los resultados de otras especies como *Euphorbia spp* (Bruni et al., 2004). Una correlación significativa entre α - y γ -tocoferol también se ha encontrado en *Curcubita pepo* L. (Murkovic et al., 1996) y *Cannabis sativa* L. (Kriese et al., 2004), mientras que en otras no (Kurilich et al., 1999). En principio, se debería encontrar una correlación negativa entre los contenidos en α - y γ -tocoferol debido a que el γ -tocoferol es un precursor en la síntesis del α -tocoferol (Soll y Shultz, 1980). Sin embargo, las investigaciones sobre las vías de la biosíntesis de los tocoferoles se realizaron en cloroplastos y no en semillas (Hofius y Sonnewald, 2003).

Cuadro 12.9. Correlaciones fenotípicas entre los tres isómeros del tocoferol en los años 2003 y 2004 y entre los ácidos grasos y los tocoferoles en el año 2003.

Variables	α -tocoferol	δ -tocoferol	γ -tocoferol	Tocoferoles totales	R4
δ -tocoferol	0,20 0,03	-			
γ -tocoferol	0,54 0,69	0,37 0,32	-		
Tocoferol total	0,98 0,99	0,25 0,04	0,57 0,72	-	
z R4	0,71	0,14	0,39	0,71	-
Ac. palmítico	0,18	0,11	0,10	0,19	-0,15
Ac. palmitoleico	-0,01	0,31	0,02	0,002	0,03
Ac. esteárico	-0,12	-0,27	-0,10	-0,13	0,06
Ac. oleico	-0,11	0,07	-0,06	-0,11	0,59
Ac. linoleico	0,10	-0,08	0,05	0,09	-0,61

Las correlaciones entre los tocoferoles en los años 2003 y 2004 son presentadas de arriba a abajo.

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcan en negrita.

La evolución de la acumulación del α - y γ -tocoferol en las semillas de *Brassica napus* durante el desarrollo del fruto mostró una evolución sigmoideal para ambos homólogos, sin observar ninguna reducción del nivel del γ -tocoferol a favor del α -tocoferol ni una transmisión de los tocoferoles de otras partes de la planta hacia la semilla (Goffman et al., 1999). En otras especies se han observado los mismos fenómenos (DellaPenna, com, pers), lo que sugiere que la biosíntesis de los tocoferoles ocurre en distintas partes de la célula (Newton y Pennock, 1971).

La correlación positiva entre los contenidos en α - y γ -tocoferol sugiere la posibilidad de seleccionar para un elevado porcentaje de un componente sin disminuir el contenido del otro. La misma conclusión se puede aplicar a los contenidos en γ - y δ -tocoferol, debido a la ausencia de una correlación significativa entre estos homólogos. El aumento en el contenido en α -tocoferol se ha conseguido mediante métodos clásicos de mejora en girasol y maíz (Goffman y Becker, 2002; Galliher et al., 1985), lo que sugiere que en el almendro se puede igualmente mejorar el contenido en este derivado.

Las correlaciones entre los ácidos grasos y los tres isómeros del tocoferol mostraron una correlación significativa entre δ -tocoferol y el ácido palmitoleico (Cuadro 12.9). Sin embargo, no se encontró ninguna correlación entre los tres homólogos del tocoferol y los ácidos oleico y linoleico, como se había encontrado en algunas variedades turcas de avellano (Özdemir et al., 2001). No obstante, se ha mencionado que existe una correlación positiva entre el ácido linoleico y el α -tocoferol (Bruni et al., 2004; Kamal-Eldin y Andersson, 1997) y entre el ácido oleico y γ -tocoferol (Bruni et al., 2004). Estas diferencias se deben probablemente a la distinta naturaleza y estructura de la composición química del aceite de cada especie (Kamal-Eldin y Andersson, 1997).

Las correlaciones interanuales de cada carácter (Cuadro 12.10) mostraron que solamente en el caso del contenido en fibra bruta y en δ - y γ -tocoferol las correlaciones interanuales no han sido significativas, mientras que el resto resultaron significativas. Ello indica que los valores encontrados en el primer año del estudio en el caso de las primeras variables no son suficientes para predecir los valores que podría tener una variedad en otro año, indicando que la evaluación de este carácter se debe hacer durante varios años.

Para el resto de las variables, los valores del primer año de estudio se podrían utilizar como un indicador de los valores que podría tener una variedad en los años siguientes. Las variables más consistentes fueron las que presentaron un coeficiente de correlación interanual muy alto (los ácidos grasos oleico, linoleico y palmitoleico, el contenido en proteína y el cociente R2).

Cuadro 12.10. Correlaciones interanuales de los caracteres químicos de la pepita.

Componente	Media 2002	Media 2003	Coefficiente de correlación
Aceite (%)	57,75	57,71	0,38
Proteína bruta (%)	21,21	20,26	0,54
^z R1	2,86	2,92	0,39
Ac, palmítico (%)	6,04	6,01	0,43
Ac, Palmitoleico (%)	0,51	0,49	0,59
Ac, Esteárico (%)	1,09	1,84	0,49
Ac, oleico (%)	72,47	72,9	0,70
Ac, linoleico (%)	18,25	18,1	0,80
^z R2	4,07	4,18	0,73
^z R3	11,52	11,7	0,48
Fibra bruta (%)	5,96	5,66	0,11
Ceniza (%)	3,22	3,32	0,41
Potasio (‰)	0,83	0,82	0,49
Calcio (‰)	0,27	0,25	0,42
Magnesio (‰)	0,24	0,23	0,36
Componente	Media 2003	Media 2004	Coefficiente de correlación
α-tocoferol (mg kg ⁻¹)	318,5	225,5	0,46
δ-tocoferol (mg kg ⁻¹)	17,4	4,7	0,13
γ-tocoferol (mg kg ⁻¹)	18,6	13,2	0,29
Total tocoferol (mg kg ⁻¹)	354,9	243,4	0,43

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcen en negrita.

^z La abreviaturas se han definido en el cuadro 9.1.

12.3.5 CORRELACIONES ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA PEPITA

Se observó una baja correlación positiva, pero significativa, del contenido en proteína con el peso y el tamaño de la pepita (Cuadro 12.11). Por ello, un aumento del peso de la pepita puede significar un ligero aumento del contenido en proteína sin consecuencias notables sobre el contenido en aceite, ya que no se encontró ninguna relación entre el peso de la pepita y el contenido en aceite, ni entre ningún carácter físico de la pepita (Cuadro 12.11). Abdallah et al. (1998) tampoco observaron ninguna relación entre el peso de la pepita y el contenido en aceite o ácidos grasos, situación que se ha descrito también en otras especies como el olivo (León et al., 2004).

Cuadro 12.11. Correlación entre el peso y el tamaño del fruto y los componentes químicos de la pepita.

Carácter	Aceite	Proteína	Palmítico	Palmitoleico	Esteárico	Oleico	Linoleico
Peso de la pepita	-0,15	0,34	0,15	0,11	-0,22	0,18	-0,19
	-0,09	0,29	0,15	0,09	-0,13	0,13	-0,12
Tamaño de la pepita	-0,20	0,32	0,18	0,12	-0,09	0,17	-0,16
	-0,15	0,27	0,16	0,13	-0,03	0,20	0,17
Peso del fruto	-0,06	0,21	0,01	0,06	-0,16	0,06	-0,09
	-0,04	0,17	0,02	0,03	-0,18	0,20	-0,21
Tamaño del fruto	-0,08	0,14	0,06	-0,02	-0,19	0,10	-0,13
	-0,09	0,04	0,07	0,06	-0,13	0,17	-0,17

Las correlaciones significativas ($P \leq 0,05$) se remarcen en negrita.

12.4 CONCLUSIONES

Las correlaciones entre los caracteres relativos a la densidad floral y sus componentes permite considerar un objetivo razonable la selección de nuevo material vegetal caracterizado por una fructificación mixta: ramos del año para asegurar una entrada rápida en producción y una densidad elevada de ramilletes de mayo, independientemente de su densidad floral, para aumentar la superficie productiva y la permanencia de la producción sin muchas necesidades de poda.

Las altas correlaciones entre densidad floral, cuajado, productividad y densidad de fruto indican que la selección para una elevada densidad floral resultaría en un buen cuajado y por consiguiente en una buena producción, sobre todo en condiciones frecuentes de helada. La selección indirecta para el cuajado es preferible en el almendro, porque el cuajado es un carácter de difícil evaluación por la complejidad de los factores que intervienen en su determinación, sobre todo los ambientales.

Las bajas magnitudes de las correlaciones entre la floración y la maduración permiten considerar estos caracteres como independientes. En las condiciones actuales del mercado y de la industria, una época de maduración media, con una duración corta y sincronizada se puede considerar como un criterio positivo de evaluación.

En cuanto a las correlaciones entre los caracteres físicos del fruto y de la pepita, es posible considerar la forma y el peso del fruto (con cáscara) como un indicador fiable de la forma, el peso y el tamaño de la pepita. Las correlaciones entre las dimensiones y las variables que determinan la forma (esfericidad y diámetro geométrico) podrían considerarse buenos indicadores para la industria en el momento de perfilar los mecanismos de recolección, descascarado y separación (Aydin, 2003). Las correlaciones entre distintos caracteres del fruto y de la pepita, por una parte, y entre ambos, por otra, han sido las mismas en cada año de estudio, indicando que estos caracteres están genéticamente relacionados (Kester, 1965b) y que son manifestaciones diferentes de la misma función fisiológica (Fanizza, 1982). No obstante, algunos caracteres de baja heredabilidad, como es el caso de presencia de doble capa (Arteaga y Socias i Company, 2005), exigen una selección en la descendencia más que un diseño de los cruzamientos.

La presencia de altas correlaciones fenotípicas entre algunos componentes químicos de la pepita señala la necesidad de tenerlas en cuenta en un programa de mejora para evitar las posibles modificaciones negativas de algunos caracteres cuando se seleccione para otros caracteres. Así

mismo, estas relaciones permiten reducir el número de caracteres a evaluar como se ha propuesto en otros programas de mejora (Hansche et al., 1972; León et al., 2004), para reducir así la cantidad de trabajo, tiempo y coste de evaluación en un programa de mejora. La ausencia de correlaciones significativas entre los tocoferoles y los ácidos grasos indican que es posible plantear distintas estrategias para mejorar la calidad de la pepita, aumentando el contenido en tocoferoles o/y aumentando el contenido en ácido oleico. Optar por una de las dos estrategias no conllevaría ningún desequilibrio en la composición de cada uno de los dos componentes (tocoferoles y ácidos grasos), consiguiendo así mejorar la protección de la pepita contra la deterioración oxidativa.

La ausencia de correlaciones elevadas entre el peso de la pepita y sus componentes químicos indican que la mejora de la calidad física de la pepita no conllevaría una alteración en la calidad tecnológica e industrial de la misma. Por ello se pueden plantear dos distintas estrategias de mejora para la calidad, la física y la tecnológica de la pepita sin que haya un efecto negativo de una sobre otra.

Capítulo 13. Discusión General

13. DISCUSIÓN GENERAL

13.1 CARACTERES MORFOLÓGICOS DEL ÁRBOL

La creación de plantaciones modernas y rentables requiere la selección de variedades que presenten un porte adecuado para facilitar su manejo. Los portes abiertos y caedizos son poco recomendables para este tipo de plantaciones, mientras que los semi-erectos a erectos, como los que presentan la mayoría de las selecciones estudiadas, permiten una mejor adaptación a estas plantaciones, ya que los árboles de este tipo presentan un volumen compacto en comparación con los árboles de porte abierto o caedizo. Se desconoce el determinismo genético de este carácter, aunque actualmente se considera que un porte de medio a vertical es un carácter deseable y un objetivo razonable en la mayoría de los programas de mejora (Socias i Company et al., 1998).

El estudio de la variabilidad entre selecciones y de la evolución de la sección del tronco y la de la base de las ramas principales permitió identificar los genotipos vigorosos y aquellos que presentan un crecimiento inicial rápido. Se ha puesto en evidencia el gran efecto de las condiciones climáticas sobre el crecimiento de la planta y el mantenimiento de su vigor. Aunque este carácter está bajo control poligénico (Grasselly, 1972), se desconoce su heredabilidad.

Aunque el porte y el vigor de la planta se consideran caracteres de evaluación, no forman parte de los objetivos iniciales de mejora. La gran variabilidad encontrada en este estudio, reflejo de la existente en otras poblaciones, constituye una base genética para los mejoradores en el momento de emprender programas con estos caracteres como objetivo.

El estudio de la ramificación ha permitido confirmar la variabilidad genética y ambiental que presenta este carácter e identificar los genotipos con una ramificación poco abundante, considerada un carácter deseable en una variedad (Felipe y Socias i Company, 1985). No obstante, los genotipos con poca ramificación presentan ramas principales más largas en comparación con los genotipos con ramificación media o abundante. Ello se debe probablemente a la acción del meristemo terminal, que sigue su crecimiento mientras inhibe el desarrollo y la elongación de las yemas vegetativas laterales (Wilson, 2000). Ello puede disminuir la superficie productiva y dificultar la renovación de la copa. Por lo tanto es recomendable tener en cuenta esta tendencia en la evaluación de una selección. Estas consideraciones pueden condicionar la elección de los parentales. Probablemente el cruzamiento de parentales con una ramificación media es más adecuado para obtener genotipos con una ramificación

adecuada que permita a la vez disminuir los costes de la poda y atenuar el efecto de la dominancia apical. Los genotipos con ramificaciones productivas (brindillas, ramos mixtos) presentan ciertas ventajas, sobre todo en los primeros años de producción, ya que generalmente estas ramificaciones entran rápidamente en producción (Kester y Gradziel, 1996).

El análisis de la variabilidad genética y ambiental de los caracteres métricos de la hoja ha permitido identificar algunos caracteres (superficie de la hoja, ángulo superior del limbo, índice anchura/ longitud de la hoja, longitud del pecíolo) que permiten la caracterización y la identificación varietal. Los parámetros cuantitativos de la morfología floral (tamaño, diámetro del cáliz, número de estambres) son una característica varietal y permiten distinguir entre los genotipos. El carácter “diámetro de la corola” se debe tener en cuenta en los genotipos autocompatibles pero no autógamos.

Otro carácter de la flor que probablemente hay que tener en cuenta es el color de los pétalos. En el manzano destacó la preferencia de las abejas por el color blanco o de ligera tonalidad rosada (Royo et al., 2002). Por ello, en los genotipos autocompatibles pero no autógamos, será preferible el color blanco de las flores para atraer a las abejas. En el almendro este carácter está bajo el control de un único gen (Jáuregui, 1998) co-dominante (López, 2004).

Un vigor de mediano a fuerte, un porte erecto, una ramificación poco abundante y renovable, y una alta densidad foliar son características recomendables en una variedad, independientemente de las zonas y las condiciones de cultivo. También se ha puesto de manifiesto la importancia del tipo de fructificación en las potencialidades floríferas y el cuajado en estos genotipos, siendo una fructificación equilibrada sobre ramos del año y ramilletes de mayo la más adecuada para una rápida entrada en producción y el aumento de la superficie productiva, y así evitar la irregularidad de la producción de yemas de flor. La influencia de los soportes de la fructificación en los caracteres florales, así como las diferencias en la distribución de las yemas indican que hay que tener en cuenta la morfología de la planta en sus aspectos de vigor, porte, ramificación, etc., al evaluar los caracteres productivos.

13.2 ÉPOCA Y DURACIÓN DE FLORACIÓN

Todas las selecciones estudiadas son de floración media, tardía o muy tardía, y algunas presentan la plena floración dos semanas después de ‘Ferragnès’. Estas selecciones descienden de ‘Felisía’, que posee el alelo *Lb* de floración tardía (Socias i Company et al., 1999b), y probablemente lo han heredado de este parental. En cruzamientos en los que se han utilizado algunos de estos genotipos se

ha seguido observando una distribución bimodal de este carácter (Socias i Company et al., 2005), lo que confirma la presencia de este alelo en estas selecciones, con posibilidad de retrasar todavía más la floración en futuros cruzamientos.

El cambio interanual de la época de la floración de toda la población es el resultado de las diferentes condiciones climáticas durante el invierno, especialmente las temperaturas (Tabuenca et al., 1972). El desfase del inicio de la floración de las selecciones de floración media ha sido mayor que las de floración tardía o muy tardía. La duración de la floración presentó una gran variabilidad entre genotipos y años. La apertura diaria de flores mostró un patrón de evolución similar a la distribución normal, como ya se había observado (Hill et al., 1985), aunque se pudo observar una desviación de la distribución normal debido a bajadas bruscas de temperatura, que produjeron la parada de la apertura de las yemas de flor en ese día y los días posteriores, resultando en un alargamiento de la floración. Este fenómeno se observó especialmente en las selecciones de floración más tardía, que tienden a presentar una floración más corta que las de floración media, debido al aumento de la temperatura con la progresión del año.

Los distintos estados de la floración y su duración han presentado correlaciones en algunos años, pero en otros no, probablemente a causa de los cambios en las condiciones climáticas durante la floración, que influyen en el ritmo de apertura de las flores (Bernad y Socias i Company, 1995) y, por consiguiente, en la duración de la floración (Chandler y Brown, 1951). La relación que aparentemente une estos dos caracteres realmente enfrenta dos objetivos de los programas de mejora: la floración tardía y una floración suficientemente escalonada (Dicenta y García, 1992). En la mayoría de los programas de mejora se persigue una floración tardía (Socias i Company et al., 1999a), independientemente de su duración, porque una floración temprana suele ser más perjudicial que un período de floración corto cuando hay riesgo de heladas.

La correlación positiva entre la fecha de floración y la época de maduración puede considerarse un dilema entre dos caracteres de gran interés: floración tardía y maduración precoz. Sin embargo, la consideración de la "floración tardía" como imprescindible en una variedad no es totalmente correcta si no se especifica el destino de la plantación de dicha variedad (Felipe, 2000). En zonas con elevada frecuencia de heladas primaverales, las variedades de floración tardía son las más adecuadas, mientras que en zonas con inviernos suaves y veranos secos las variedades de floración precoz o media son las más adecuadas para esquivar los períodos calurosos y secos.

En zonas de elevada frecuencia de heladas, una floración tardía y corta parece ser insuficiente para asegurar una cosecha comercialmente aceptable y regular, ya que es imprevisible fijar los períodos de alto riesgo. Por ello es primordial la selección de genotipos de floración tardía con un buen nivel de tolerancia a las heladas, ya que una variedad con floración tardía y sensible a las heladas es inadecuada para estas zonas.

Tradicionalmente, en los programas de mejora, la selección de un nuevo genotipo con una fecha de floración determinada se asociaba con la presencia de otra variedad inter-compatible con la misma época de floración para asegurar su polinización. Ello presenta dificultades tanto en la sincronización de la floración como por la buena aptitud de la variedad polinizadora. Actualmente, la presencia de las nuevas variedades autocompatibles permite superar estos obstáculos y limitar los estudios de evaluación agronómica a la sola variedad en cuestión.

Finalmente se observó que las selecciones de floración media tienden a presentar una floración prolongada. Algunas de estas selecciones presentan un alto porcentaje de flores estériles, con una proporción que aumenta a lo largo de la floración y valores altos en años de floración prolongada. Por ello para las zonas con inviernos suaves es esencial la selección de genotipos no sólo con una floración media sino también con un bajo o nulo porcentaje de flores estériles, ya que este carácter parece afectar el rendimiento de una variedad (Socias i Company y Felipe, 1987).

13.3 CARACTERES PRODUCTIVOS

Los caracteres que determinan la producción en el almendro (densidad floral, tipo de fructificación, calidad de la flor, cuajado, densidad de fruto) se vieron afectados por las condiciones climáticas, confirmando que su determinación depende no sólo de la variedad sino también del ambiente. Ello pone de manifiesto la dificultad de evaluación del potencial productivo de un genotipo y la complejidad que supone la elección de los caracteres a evaluar en función de la zona en la que se va a plantar. El análisis de la variabilidad de la densidad floral y de la capacidad florífera confirmó su dependencia de la variedad y su consideración como características varietales (Socias i Company, 1988). La fluctuación interanual de estos caracteres ratifica que éstos pueden variar según las condiciones ambientales del año (Bernad y Socias i Company, 1998).

La ausencia de correlaciones entre los distintos años para la densidad floral y la capacidad florífera, así como los bajos valores de su índice de repetibilidad, muestran que los valores de uno o dos años

no son suficientes para predecir los valores que se pueden obtener en los años siguientes e indican la necesidad de evaluar estos caracteres durante varios años para determinar la potencialidad real de un genotipo determinado. Además, la ausencia de agrupamiento de las selecciones procedentes del mismo cruzamiento revela que estas selecciones no están relacionadas con sus parentales en cuanto a estos caracteres. Por ello en los programas de mejora no es indispensable la elección de parentales muy floríferos para obtener descendencias con altas potencialidades productivas.

La densidad floral se ha relacionado con la calidad de flor (Socias i Company, 1983) y la tolerancia a las heladas (Werner et al., 1988). Estos tres caracteres son importantes para la determinación del cuajado y la productividad. Socias i Company y Felipe (1994) mencionaron que las variedades con alta densidad floral tienden a presentar una alta proporción de flores estériles. Los cuajados obtenidos durante los años del estudio, marcados por heladas severas, demostraron que las selecciones que presentan una alta densidad floral son las que presentaron unos cuajados comercialmente aceptables. La presencia de una elevada densidad floral permite aumentar las posibilidades de supervivencia de algunas yemas de flor después de una helada, asegurando así una cosecha aceptable.

La combinación de estos caracteres en una sola variedad depende de las condiciones climáticas de la zona de destino de la variedad. En zonas con alta incidencia de heladas una densidad floral alta y un porcentaje de flores estériles bajo pueden considerarse caracteres deseables, mientras que en zonas con inviernos suaves, sin gran repercusión de heladas primaverales, una densidad floral media y un nulo o bajo porcentaje de flores estériles pueden considerarse como caracteres deseables. En ambos casos, es preferible que la variedad presente un buen comportamiento frente a la sequía, sobre todo si se destina a regiones con veranos secos y calurosos.

Otro factor importante relacionado con la producción en genotipos autocompatibles es su capacidad de autogamia, independientemente de la zona y las condiciones de cultivo (Socias i Company y Felipe, 1993). La evaluación de este carácter en el almendro se hace generalmente por el embolsado de ramas. Los cuajados erráticos obtenidos en las ramas embolsadas a lo largo de los años del estudio podrían atribuirse a varios factores, especialmente por el incremento de la temperatura dentro de la bolsa (Socias i Company et al., 2004; Larsen et al., 1960). A pesar de estos inconvenientes, algunos genotipos presentaron unos cuajados adecuados.

En general se observó que una morfología floral que permite la llegada del polen a la superficie del estigma favorece la autopolinización sin la intervención de ningún agente polinizador, siendo uno de los

indicios fiables de su éxito la posición relativa del estigma con relación a las anteras para garantizar no sólo la llegada del polen a la superficie del estigma sino el roce de las anteras con la superficie del estigma (Socias i Company y Felipe, 1992). No obstante, será de gran interés profundizar en los estudios sobre el papel de la morfología floral en el almendro para identificar los factores que podrían interesar al mejorador en el momento de evaluar la autogamia en los programas de mejora.

13.4 TOLERANCIA A LAS HELADAS

La gran variabilidad de los daños observados en el campo, independientemente de la época de floración, así como los resultados en condiciones de laboratorio reflejan que la respuesta a las heladas es independiente de la fecha de floración y ratifica que es una característica intrínseca de cada genotipo (Felipe, 1988).

La época de floración de las selecciones consideradas de floración más tardía no permite todavía escapar totalmente del riesgo de las heladas primaverales. Por lo tanto la selección para la floración tardía debe considerarse como una estrategia de escape a las heladas, no como una estrategia de tolerancia (Ristevski, 1988). La coincidencia de los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio presenta una gran ventaja para la evaluación de la tolerancia a las heladas, especialmente en el caso de genotipos de floración tardía para unir el escape y la tolerancia.

La baja incidencia de las heladas sobre el cuajado de las selecciones con un buen nivel de autogamia, una floración tardía y una alta densidad floral indica que se pueden desarrollar varias estrategias para evitar los daños drásticos de las heladas, tanto por la selección de genotipos que presenten una tolerancia intrínseca a las heladas como por una selección indirecta mediante genotipos de floración muy tardía, autógamos y con una elevada densidad floral.

La tolerancia de las plantas a las bajas temperaturas se debe a varios factores intrínsecos como los carbohidratos (Hällegren y Oquist, 1990). Se observaron concentraciones elevadas en sacarosa y en sorbitol en los genotipos considerados en este estudio o/y en la literatura como tolerantes a las heladas. La evaluación de la estabilidad de la relación inversa entre los carbohidratos, especialmente la sacarosa y el sorbitol, y los daños observados en el laboratorio, así como la evolución estacional de estos componentes en las yemas permitirá no solamente ratificar estos resultados, sino también incorporar estos caracteres en los programas de mejora, ya que presentan una gran variabilidad.

La aplicación de la fluorescencia de la clorofila para la evaluación del efecto de las temperaturas extremas sobre la actividad fotosintética se basa fundamentalmente en la reducción de la fluorescencia a distintas temperaturas (Hetherington et al., 1983). Esta técnica permitió clasificar los genotipos en función de su nivel de tolerancia a las heladas. La reducción de Fv/Fm y la magnitud de los daños observados en el campo y en el laboratorio a distintas temperaturas mostró que las yemas de flor del almendro, en el estado fenológico E, son susceptibles a temperaturas entre -1°C y -2 °C. Aunque esta técnica está todavía en proceso de evaluación, modificación y adaptación al material vegetal en la Unidad de Fruticultura del CITA, los primeros resultados indican la posibilidad de su utilización para la determinación rápida y sencilla de la tolerancia a las heladas independientemente de la época de floración.

13.5 CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO Y DE LA PEPITA

13.5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El análisis estadístico de las características físicas del fruto y de la pepita ha confirmado su gran variabilidad genotípica y ambiental en el almendro. El ACP mostró que las características pomológicas más variables y que más diferencian a los genotipos son las características del fruto y de la cáscara, más que los de la pepita. Las características del fruto y de la pepita se consideran los criterios más distintivos en el almendro, más que la hoja o los soportes de fructificación (Lansari et al., 1994).

Se ha observado una cierta variabilidad de los caracteres del fruto y de la pepita en el mismo árbol dependiendo del tipo de soporte de fructificación. No obstante, la ausencia de diferencias significativas del índice de esfericidad entre los dos tipos de ramificación indica que el tipo de fructificación no influye en la uniformidad de las almendras y, por lo tanto, en su valorización global. La alta estabilidad interanual de los caracteres biométricos del fruto y de la pepita y su alto índice de repetibilidad permite ejercer una selección temprana por estos caracteres en los primeros años productivos de la planta. No obstante, la variación interanual de algunos caracteres como el peso de la pepita y la dureza de la cáscara, a pesar de su alta repetibilidad, recalca el interés de los cuidados culturales para mejorar estos caracteres.

En los programas de mejora europeos, la cáscara dura se considera un carácter positivo. Grasselly (1972) consideró a la dureza de la cáscara como un carácter monogénico, con la cáscara dura dominante. Sin embargo, el análisis de la regresión del rendimiento en pepita no parece reflejar la presencia de dominancia (Dicenta et al., 1993b) y probablemente los parentales utilizados pueden

influir en la expresión del carácter (Socias i Company, 1998). La fluctuación interanual de la dureza de la cáscara observada en este estudio refleja la gran influencia del ambiente, por lo que este carácter se debe tener en cuenta no sólo en el momento de elección de los parentales, sino también a lo largo de la fase de evaluación de los mejores genotipos para determinar las tendencias de su evolución.

Las inesperadas correlaciones negativas entre el tamaño del fruto, el espesor de la cáscara y la dureza de la misma indican que el tamaño del fruto y el grosor de la cáscara no reflejan el nivel de su dureza. Por ello el tipo de cáscara no depende únicamente del espesor y del peso de la cáscara, sino también de otros factores, como su densidad, consistencia y ausencia de porosidad, así como de la presencia de doble capa. La presencia de capas es un carácter indeseable por su negativa incidencia industrial, ya que en el descascarado se produce a menudo la rotura desigual de las dos capas, lo que obliga a un nuevo descascarado y produce a menudo la rotura de una proporción importante de pepitas (Socias i Company et al., 2006).

Hay una marcada preferencia por un tamaño grande de la pepita (Felipe, 2000). El peso de la pepita presenta una heredabilidad estimada a 0,64 (Kester et al., 1977), pero los resultados de este estudio ratifican la dependencia de este carácter de las condiciones climáticas (Dicenta et al., 1993). La elevada fluctuación interanual del peso de la pepita indica que su evaluación debe hacerse para cada genotipo durante varios años. Independientemente del peso y el tamaño de la pepita, se prefiere en general un tegumento delgado, para que en el repelado las mermas de peso sean mínimas, con una superficie lisa y de color claro.

El análisis de varianza mostró que el peso del tegumento, utilizado como indicador de su espesor, y el rendimiento al repelado presentan una gran variabilidad genotípica, con efecto significativo del año, lo que indica que estos caracteres dependen de cada variedad y también de las condiciones del año, como ya había sugerido Felipe (2000).

La gran variabilidad de estos caracteres puede permitir la selección de variedades según su destino comercial. En efecto, para algunos casos concretos, los tegumentos gruesos pueden tener interés, como en 'Desmayo Largueta', ya que tras su tostado resulta más fácil el desprendimiento del tegumento grueso. Un tegumento sin surcos y con color claro es de gran interés cuando la pepita se presenta entera al consumidor. En cambio estos caracteres no tienen interés cuando la pepita se destina a otros fines industriales.

13.5.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PEPITA

En la determinación de la composición química de la pepita se hizo hincapié en el estudio del contenido en aceite y en su composición, debido a su papel en la protección de la pepita contra la oxidación y a su valor nutritivo en la dieta humana. Los ácidos grasos mayoritarios del aceite de la pepita dependen en su mayor parte del genotipo, modificados por las condiciones climáticas, ratificando resultados previos en el almendro (Abdallah et al., 1998). Estas conclusiones se basan fundamentalmente en la gran variabilidad genotípica observada mediante el análisis en componentes principales y el análisis de varianza, en la poca variabilidad interanual de estos caracteres, su alta correlación interanual y su alto índice de repetibilidad.

En este estudio no se ha determinado la heredabilidad de estos caracteres, dato desconocido en el almendro, pero la gran estabilidad interanual y la variación continua de estos componentes en los genotipos procedentes del cruzamiento 'Felisia' × 'Bertina' indican la posibilidad de que este carácter esté bajo control de varios genes aditivos, modificados en menor escala por las condiciones ambientales. En cacahuete, *Arachis hypogaea* L., se ha demostrado que la transmisión de los ácidos grasos del aceite de la pepita se hace de forma cuantitativa y que están bajo control de varios genes menores aditivos, modificados por variantes ambientales (López et al., 2001).

La identificación de algunas selecciones con valores más elevados en estos componentes pone de manifiesto la posibilidad de aumentar el contenido en aceite y en sus ácidos grasos en las descendencias. La resistencia de la pepita al enranciamiento depende de la cantidad de ácidos grasos insaturados de su aceite (Zacheo et al., 1998). Kester et al (1993) indicaron que las variedades que presentan un elevado cociente "ácido oleico/ácido linoleico" son más resistentes al enranciamiento. Este cociente presentó una variabilidad significativa entre los genotipos y los años del estudio, aunque no se apreciaron grandes variaciones en la clasificación de los genotipos en ambos años. La elevada correlación negativa entre el ácido oleico y el linoleico, independientemente de las condiciones ambientales, y la existencia de genotipos con un cociente "ácido oleico/ácido linoleico" elevado en comparación con el de sus parentales, indican la posibilidad de aumentar el contenido en ácido oleico en las descendencias con la esperanza de disminuir el contenido en ácido linoleico, y además que la selección para un elevado contenido en ácido oleico es un objetivo plenamente posible.

El contenido en tocoferoles tiene un papel importante en la protección de los lípidos de la pepita del almendro frente a la oxidación, con lo cual se puede alargar su almacenaje (Zacheo et al., 2000). En este trabajo se ha estudiado por primera vez la variabilidad genotípica y ambiental de estos

componentes en la almendra. El análisis estadístico mostró que dependen del genotipo, pero todavía más de las condiciones climáticas. En el segundo año se presentaron valores más altos por efecto de las extremas temperaturas registradas. Las mismas hipótesis se avanzaron para explicar las diferencias interanuales observadas en otras especies (Kamal-Eldin y Andersson, 1997).

La variación continua del contenido en los tres homólogos de tocoferol sugiere que podría estar bajo control poligénico. En otras especies el contenido total en tocoferol y en sus homólogos se encuentran bajo el control de unos pocos genes de efecto aditivo (Goffman y Becker, 2001; Rocheford et al., 2002). La identificación de genotipos con valores más elevados que sus parentales indica la posibilidad de aumentar el contenido en estos compuestos en las descendencias a través de cruzamientos. El aumento en el contenido en α -tocoferol se ha conseguido mediante los métodos clásicos de mejora en girasol y maíz (Goffman y Becker, 2001; Galliher et al., 1985), lo que sugiere que en el almendro se puede igualmente mejorar el contenido en este derivado.

Las actuales investigaciones relativas al beneficio nutricional y antioxidante del α -tocoferol deben tenerse en cuenta en el momento de desarrollar nuevas estrategias de mejora del almendro para modificar el nivel de estos importantes componentes de la vitamina E, como ya se ha recomendado en otras especies como el maíz (Rocheford et al., 2002), ya que estos resultados muestran que la selección para un elevado contenido en tocoferol es un objetivo plenamente posible en un plan de mejora del almendro. En este caso, a pesar del gran efecto del año, la elevada significación de la interacción genotipo \times ambiente implica que la evaluación y la selección fenotípica para un elevado contenido en tocoferoles deberían realizarse en cada genotipo, dando preferencia a los genotipos que presentan una cierta estabilidad interanual.

La presencia de altas correlaciones fenotípicas entre algunos componentes químicos de la pepita señala la posibilidad de tenerlas en cuenta en un programa de mejora, especialmente para evitar los posibles efectos negativos de algunos caracteres en el momento de seleccionar para otros. Estas correlaciones permiten reducir el número de caracteres a evaluar, y con ello el tiempo y coste de la evaluación en un programa de mejora. La ausencia de correlaciones significativas entre los tres homólogos de tocoferol y los ácidos grasos, a la excepción del ácido palmítico, sugiere la posibilidad de seleccionar para un alto contenido de un componente sin alterar el contenido del otro, por lo que se puede mejorar la calidad nutritiva y tecnológica de la pepita por dos estrategias distintas, para un alto contenido en tocoferoles y para un alto cociente "ácido oleico/ácido linoleico".

El contenido proteico es inversamente proporcional al contenido graso y tiene un gran interés industrial, especialmente para la producción de mazapán, ya que el cociente % proteína/% grasa influye en la absorción de agua por la pasta de almendra (Alessandroni, 1980). La variabilidad de este carácter indica la posibilidad de seleccionar genotipos para un uso industrial específico. Por otra parte, la ausencia de correlaciones altas entre las características físicas y químicas de la pepita muestra la posibilidad de mejorar la calidad nutricional y tecnológica de la pepita sin afectar a su calidad física.

Además del interés comercial de algunas características del tegumento, se le añaden las químicas, como el contenido en compuestos polifenólicos, taninos, etc... (Saura Calixto et al. 1988). El estudio de la composición química del tegumento viene justificado por la mayor o menor facilidad de oxidación de una almendra descascarada según esté pelada o no (Guadagni et al., 1978), por la elevada capacidad anti-radicalaria y por el contenido en compuestos fenólicos totales de los tegumentos de algunos genotipos. La identificación de algunos compuestos fenólicos de gran actividad antioxidante ha sugerido el consumo del tegumento de la pepita como una buena fuente de antioxidantes en la dieta humana (Sang et al., 2002). Los resultados de esta memoria son preliminares, pero se pueden considerar como una base para futuros estudios con la perspectiva de esclarecer el determinismo genético de las características antioxidantes y tecnológicas del tegumento de la almendra.

13.6 COMPARACIÓN ENTRE ALGUNOS CARACTERES SEGÚN EL TIPO DE POLINIZACIÓN

El estudio de la dinámica del crecimiento de los tubos polínicos y de la llegada de los tubos polínicos a la base del pistilo ha puesto de manifiesto la eficiencia de los tubos polínicos procedentes de la autopolinización en relación a los de la polinización cruzada, tanto en el tiempo necesario para recorrer el pistilo como en el número de los tubos polínicos que alcanzan la base del pistilo.

No obstante, se observó que en algunos genotipos el número de tubos polínicos procedentes de la autopolinización en la base del pistilo en comparación con los de la polinización cruzada refleja el efecto de otros factores genéticos, ya que el número de granos de polen en la superficie del estigma no está relacionado con el éxito de la llegada de un elevado número de tubos polínicos a la base del pistilo, independientemente del tipo de polen (Hormaza y Herrero, 1996; Trueman y Turnbull, 1994). Socias i Company y Alonso (2004) indicaron que además de la autocompatibilidad existen otros factores que pueden afectar el crecimiento de los tubos polínicos propios, como la consanguinidad. La expresión de la consanguinidad depende, probablemente, del número de los genes deletéreos presentes (Socias i Company y Alonso, 2004; Lynch y Walsh, 1998).

Se confirmó la gran variabilidad genotípica y ambiental del cuajado, independientemente de la procedencia del polen (Socias i Company et al., 2004). Se observaron algunas diferencias entre los cuajados procedentes de autopolinización o de polinización cruzada. Ello indica que, además de la autocompatibilidad genética y fisiológica, existen otros factores intrínsecos a cada genotipo que condicionan el cuajado. Las diferencias encontradas entre los dos tipos de polinización manual se deben probablemente a la acción del efecto de la consanguinidad, por la posible presencia de genes letales o deletéreos.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en las características físicas y químicas de las pepitas procedentes de la autopolinización o la polinización cruzada. Oukabli et al. (2002) atribuyeron el efecto negativo del propio polen sobre las características físicas del fruto a la consanguinidad que afecta negativamente al desarrollo normal del fruto (Grasselly y Olivier, 1981). En otras especies, como macadamia (Ito y Hamilton, 1980), estas diferencias se han atribuido al efecto positivo de la polinización cruzada y no a la consanguinidad. En el almendro se ha comprobado que el origen del polen influye en las características físicas del fruto (Eti et al., 1994), poniendo de manifiesto la existencia de un efecto xenia en el almendro (Kumar y Das, 1996).

El análisis estadístico ha confirmado el efecto del polen sobre las características químicas de la pepita. En términos generales, el contenido en componentes químicos fue significativamente mayor en las pepitas procedentes de la polinización cruzada, salvo para el contenido en proteína y en ácido oleico y para los cocientes R2 y R3, todos ellos factores positivos en la evaluación de la calidad. Estas diferencias podrían deberse al efecto de la consanguinidad o a la acumulación de genes negativos favorecida por la autopolinización, como se ha mencionado en otras especies (Wallace y Lee, 1999), ya que estos caracteres parecen ser cuantitativos y presentan una gran variabilidad. La complejidad de las correlaciones existentes entre estos caracteres pone de manifiesto la necesidad de ampliar los estudios para esclarecer las causas del efecto negativo del propio polen en ellos.

13.7 VARIEDAD IDEAL Y PERSPECTIVAS DEL FUTURO

Hasta ahora los objetivos de la mejora del almendro se han ligado a la resolución de problemas concretos que presentaba su cultivo, tanto inmediatos como a medio y largo plazo, para aumentar su productividad (Felipe y Socias i Company, 1985). La creación y la selección de una variedad que reúna el máximo número de características positivas es la mayor preocupación de los mejoradores. La definición de estas características positivas ha sido siempre condicionada por las circunstancias y las condiciones de cultivo (Felipe, 2000) y a las semejanzas que debe presentar el producto final de las

nuevas obtenciones a las variedades con más cotización en el mercado, como 'Marcona' y 'Desmayo Largueta' en España y 'Nonpareil' en California. La comprobación de la transmisión de la autocompatibilidad (Socias i Company y Felipe, 1977) y la selección de variedades con un buen nivel de autogamia cambió substancialmente los objetivos de mejora y los criterios de selección.

Estas consideraciones llevaron a definir la variedad ideal como aquélla que engloba el mayor número de características positivas según las condiciones de su producción (Socias i Company et al., 1998). No obstante, este concepto tiene un componente dinámico que varía a medida que se profundiza en el conocimiento de los distintos problemas de cada zona de cultivo (Felipe, 2000) y de las posibilidades que ofrecen algunas características para un sector comercial o industrial determinado.

Actualmente, no es suficiente una variedad autocompatible para asegurar una buena cosecha si no es autógena. Además, una variedad autógena con síntomas de consanguinidad, tanto en el árbol como en los frutos, tampoco se puede considerar una buena variedad aunque presente otros caracteres positivos.

La composición química de la pepita no ha recibido hasta ahora atención suficiente en los programas de mejora y abre nuevos horizontes para los agricultores y la industria. Los genotipos con pepitas físicamente defectuosas se eliminan sin realizar ningún análisis químico. Ello supone una pérdida de las oportunidades que pueden ofrecer estos genotipos para los usos industriales que no requieren variedades con pepitas de gran calibre ni de buen aspecto. En la presente memoria, la evaluación de algunos caracteres agronómicos, comerciales y industriales como criterios de selección en selecciones autocompatibles ha llevado a proponer nuevos posibles esquemas de mejora y nuevos caracteres de selección complementarios a los propuestos por Socias i Company et al. (1998), siguiendo dos criterios básicos: criterios productivos según la zona de cultivo y criterios comerciales.

En todos los casos una nueva variedad debe ser autógena y sin ningún síntoma de consanguinidad que pueda perjudicar su comportamiento agronómico, comercial e industrial. Así mismo debe ser vigorosa, con un porte erecto y cerrado y una ramificación media que permita a la vez una renovación continua de su copa y una poda mínima. Este nuevo material vegetal debe presentar un crecimiento inicial rápido y un período improductivo lo más corto posible. Por ello una ramificación equilibrada y compensada con una fructificación sobre ramos del año (brindillas y ramos mixtos) y ramilletes de mayo es más adecuada para una rápida entrada en producción y la obtención de una mayor superficie productiva, evitando así también la irregularidad de la producción de yemas de flor.

En el Cuadro 13.1, se presentan las características que debe presentar una variedad en función de las características de la zona de cultivo.

Cuadro 13.1. Criterios de selección en función de las características de la región de cultivo.

Zona con inviernos fríos con riesgo de heladas	Inviernos templados sin riesgo de heladas
Características relacionadas con el clima	
<ul style="list-style-type: none"> - Altas necesidades en frío y medias a altas en calor - Floración: <ul style="list-style-type: none"> - Tardía o muy tardía - Duración alargada - Buena tolerancia a las heladas - Maduración: <ul style="list-style-type: none"> - Temprana (veranos secos) - Media (veranos húmedos) - Buena tolerancia a la sequía 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajas necesidades en frío y bajas a medias en calor. - Floración: <ul style="list-style-type: none"> - Temprana o media - Duración corta - Poca variabilidad interanual - Maduración: <ul style="list-style-type: none"> - Temprana - Buena tolerancia a la sequía
Caracteres productivos	
<ul style="list-style-type: none"> - Alta densidad floral - Bajo a mediano porcentaje de flores estériles - Producción regular 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja a media densidad floral - Nulo a bajo porcentaje de flores estériles - Producción regular

Para la elección de las características que debe reunir una variedad es primordial determinar su posible uso final. Ello podría permitir rentabilizar el cultivo mediante la oferta del producto adecuado para cada sector del mercado (comercial e industrial). Independientemente de su destino, el fruto y la pepita deben presentar algunas características comunes:

Fruto:

- Fácil desprendimiento del árbol para facilitar la recolección mecanizada,
- Cáscara dura o semidura, bien cerrada y sin presencia de capas dobles, lo que permite su compatibilidad con el sistema de descascarado del sector industrial español y europeo en general, el mantenimiento de la calidad de la pepita durante su almacenaje en cáscara y una menor rotura de las pepitas durante el descascarado.

Pepita:

- Ausencia de pepitas dobles y defectuosas,
- Sabor : sin amargor,
- Buena resistencia a la oxidación,

- Alto nivel nutritivo.

En el Cuadro 13.2, se presentan las características deseables en una variedad en función de su destino comercial y industrial.

Cuadro 13.2. Criterios de selección relacionados con las características químicas y físicas de la pepita y su destino comercial e industrial (aspectos generales).

Comercio directo		Sector Industrial
Pepita entera	Pepita repelada	
Aspectos físicos de la pepita		
<p>- Tamaño de pepita: grande</p> <p>- Aspecto de la pepita:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Atractivo ○ Sin surcos ○ Superficie lisa <p>- Aspecto del tegumento:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Fino ○ Superficie lisa ○ Color claro <p>- Forma de la pepita:</p> <p>○ Indiferente aunque se prefieren pepitas de tipo 'Marcona' o 'Desmayo Largueta'.</p>	<p>- Tamaño de pepita: grande</p> <p>- Aspecto de la pepita:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Atractivo ○ Sin surcos ○ Superficie lisa <p>- Aspecto del tegumento:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Fino ○ Fácil desprendimiento <p>- Forma de la pepita</p> <p>○ Indiferente aunque se prefieren pepitas de tipo 'Marcona' o 'Desmayo Largueta'.</p>	<p>- Tamaño de pepita: sin grandes preferencias</p> <p>- Aspecto de la pepita:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Sin surcos muy pronunciados <p>- Aspecto del tegumento:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Fino ○ Fácil desprendimiento <p>- Forma de la pepita:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Indiferente para la transformación industrial ○ Redondeada: Para peladillas y bombones ○ Planas : Chocolate y tabletas
Aspectos químicos		
<p>- Tegumento:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado contenido en antioxidante. 	<p>- Tegumento: Elevado contenido en antioxidante en caso de almacenamiento del producto durante cierto tiempo.</p>	
<p>- Resistencia de la pepita a la oxidación (especialmente en el sector de transformación industrial)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Alto nivel en antioxidantes (ej: tocoferoles) ○ Elevado índice de ácido oleico/ácido linoleico ○ Elevado índice de ácidos saturados / ácidos insaturados <p>- Nivel nutritivo de la pepita</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Alto contenido en proteína y mediano en aceite ○ Alto contenido en ácidos mono-insaturados especialmente en ácido oleico ○ Contenido en fibra y elementos minerales preferiblemente elevados 		

Además de los aspectos químicos generales presentados en el Cuadro 13.2, es de señalar que en función del tipo del producto final de la industria, la pepita debe presentar unas características bien determinadas por ejemplo:

- En el sector de la confitería (mazapán y turrónes):
 - Elevado índice aceite / proteína,
 - Contenido bajo a mediano en ceniza,
 - Sabor dulce, aunque se prefiere mezclarla con pepitas con ligero sabor amargo.

- En el sector farmacéutico y cosmético:
 - Elevado contenido en aceite,
 - Elevado contenido en antioxidantes como Vitamina E (α -tocoferol),
 - Elevado contenido en elementos minerales.

La reunión de los caracteres presentados en estos cuadros en una variedad, en función de las características climáticas y del destino comercial e industrial, es un objetivo plenamente alcanzable en los programas de mejora del almendro. Esta conclusión se basa en los logros alcanzados hasta ahora en relación a todos los caracteres relacionados con el clima y a la calidad física del fruto y de la pepita. Por otra parte, la variabilidad genética de los caracteres químicos de la pepita y su relación con las características físicas de la misma pone de manifiesto la posibilidad de emprender nuevos programas de mejora para las características de la pepita exigidas por cada sector de la industria.

La segmentación del sector del almendro en función de las necesidades comerciales e industriales pueden abrir nuevos horizontes para los agricultores, asegurándoles un mercado seguro y rentable con una cotización más ajustada.

Capítulo 14. Conclusiones generales

14. CONCLUSIONES GENERALES

Caracteres morfológicos del árbol

- Se ratificó la gran variabilidad genética para todos los caracteres morfológicos considerados. Se comprobó la existencia de un comportamiento diferencial para la evolución del vigor y de la ramificación, siendo las plantas vigorosas las más estables, lo que permite realizar su selección precoz desde el segundo verde. La reunión de un conjunto de caracteres morfológicos deseables en una variedad es un objetivo alcanzable en un programa de mejora.

Densidad floral y capacidad florífera

- Estos caracteres dependen del genotipo y de las condiciones ambientales, comprobando la ausencia de relaciones directas entre las selecciones estudiadas y sus parentales.
- Los bajos valores del índice de repetibilidad indican la necesidad de evaluar estos caracteres durante varios años para determinar las potencialidades reales de un genotipo.
- Una fructificación equilibrada sobre ramos del año y ramilletes de mayo es la más adecuada para una rápida entrada en producción y el aumento de la superficie productiva.

Época de floración y de maduración

- La época de floración y su duración dependen del genotipo y de la temperatura, aunque para la duración el factor determinante es la temperatura.
- Una época de floración de media a tardía y de corta duración es un objetivo razonable en los programas de mejora, con el fin de evitar los períodos de alto riesgo de heladas.
- La mayoría de los genotipos presentaron una maduración precoz. Interesa una maduración sincronizada para facilitar la recolección.

Cuajado y productividad

- La productividad depende de cada genotipo, pero su expresión depende tanto de las características intrínsecas de la variedad como de las condiciones climáticas del año.

- La selección para una elevada productividad debe realizarse mediante una selección indirecta para otros caracteres, como la densidad floral, la calidad de flor y la autogamia.

Autogamia y morfología floral

- Los cuajados en ramas embolsadas permitieron identificar algunos genotipos con un buen nivel de autogamia.
- La morfología floral interna presentó una gran variabilidad, especialmente en la posición relativa del estigma y las anteras, que se relacionó con la eficacia de la autogamia.

Tolerancia a las heladas

- La tolerancia a heladas es propia de cada genotipo y podría estar bajo control poligénico. Es independiente de la época de floración, y la floración muy tardía es una estrategia de escape a las heladas. La combinación de los caracteres de autogamia, floración muy tardía y elevada densidad floral es un objetivo para zonas de alto riesgo de heladas.
- Hay una correlación entre el contenido en carbohidratos de las yemas de flor y la tolerancia a las heladas, en especial la concentración en sacarosa y en sorbitol.
- La coincidencia de las observaciones de los daños ocasionados por las heladas en el campo y en condiciones de laboratorio presenta la ventaja de evaluar este carácter independientemente de la ocurrencia de una helada.
- La aplicación de la técnica de fluorescencia de la clorofila ha puesto de manifiesto la posibilidad de utilizarla en la evaluación de la tolerancia a las heladas en almendro, aunque esta técnica se encuentra actualmente todavía en proceso de evaluación, modificación y adaptación.

Caracteres físicos del fruto y de la pepita

- Se observó una cierta variabilidad de los caracteres del fruto y de la pepita en el mismo árbol en función del tipo de soporte de la fructificación, siendo de tamaño ligeramente menor los frutos procedentes de ramilletes de mayo en relación a los procedentes de ramos del año, aunque se mantiene la forma.

- Las grandes semejanzas observadas mediante los análisis multidimensionales entre los parentales y sus descendencias para las características físicas del fruto y de la pepita ratificaron la necesidad de elegir los parentales en función de los objetivos a alcanzar.

Características químicas de la pepita y el tegumento

- Los componentes químicos de la pepita han mostrado una gran variabilidad. La significación del efecto del ambiente sugiere que están bajo control poligénico y que su expresión esta sujeta a las modificaciones ambientales.
- Se ha estudiado por primera vez la variabilidad del contenido en tocoferoles en la pepita del almendro, poniendo de manifiesto la gran influencia de las condiciones ambientales, sobre todo de las altas temperaturas, aunque algunas selecciones presentan una gran estabilidad interanual, lo que exige una evaluación plurianual.
- Se comprobó la variabilidad genotípica de algunos caracteres relacionados con la resistencia de la pepita a la oxidación, y con el uso industrial específico de cada variedad. La ausencia de correlaciones entre los componentes del aceite de la pepita y sus caracteres físicos y químicos, refleja la posibilidad de emprender programas de mejora para la calidad alimenticia, tecnológica y comercial de la pepita, independientemente para los distintos caracteres que intervienen en la definición de cada aspecto de la calidad de la pepita.
- Existen diferencias tanto para las características físicas del tegumento, que afectan el sector comercial, como para sus características antioxidantes, que afectan a la industria y al valor nutritivo de la almendra.

Correlaciones fenotípicas entre los caracteres estudiados

- Se han encontrado correlaciones entre diferentes caracteres, tanto agronómicos, como fisiológicos, químicos, etc., lo que puede permitir el aumento de la eficiencia de los programas de mejora al reducir el número de caracteres a controlar, y con ello el tiempo y los costes de la evaluación.
- La ausencia de correlaciones significativas entre los tocoferoles y los ácidos grasos indica que es posible plantear la mejora de la calidad de la pepita, aumentando el contenido en tocoferoles o/y en ácido oleico. La ausencia de correlaciones elevadas entre el peso de la

pepita y sus componentes químicos permite plantear la mejora para la calidad física de la pepita independientemente de la tecnológica sin efectos negativos entre ellas.

Estudio comparativo de algunos caracteres según el tipo de polinización (autopolinización vs. polinización cruzada).

- La eficiencia de los tubos polínicos del polen propio es igual a la del polen extraño. No obstante en algunos genotipos se observó un elevado número de tubos polínicos en la base del estilo después de la polinización cruzada en comparación con la autopolinización debido probablemente a efectos de consanguinidad.
- La presencia de genotipos con bajos cuajados tras su autopolinización en comparación con la polinización cruzada refleja la necesidad de realizar su evaluación plurianual y considerar la elección eficiente de parentales que no transmitan este carácter.
- Los frutos procedentes de la autopolinización presentaron valores inferiores en cuanto al peso y al tamaño del fruto y de la pepita y en la composición química de la pepita en comparación con la polinización cruzada.
- Las selecciones autógamas pueden presentar un posible efecto depresivo de la consanguinidad en sus posibilidades productivas, lo que se debe tener en cuenta en su evaluación y en la elección de los parentales.

Conclusión final

Todos los aspectos contemplados en estas conclusiones se han aplicado como criterios de selección en la población estudiada con el fin de acercarse a la variedad ideal. Ello ha permitido identificar tres selecciones por sus elevadas cualidades agronómicas (Cuadro 14.1) así como por las posibilidades que ofrecen para los sectores comercial e industrial y finalmente para el consumidor.

Cuadro 14.1. Características de los genotipos seleccionados como futuras variedades.

Caracteres	G-2-25	G-3-3	I-3-67
Morfología del árbol			
Porte	Erecto	Semi-abierto	Semi-abierto
Vigor	Fuerte	Intermedio	Intermedio
Crecimiento inicial	Rápido	Intermedio	Rápido
Intensidad de Ramificación	Escasa	Escasa	Intermedia
Caracteres de la flor			
Tamaño	Pequeño	Pequeño	Grande
Color	Blanco	Blanco	Blanco a rosado
Tipo	Epiestigmática	Hipoestigmática	Hipoestigmática
Fenología			
Fecha de floración	Finales de marzo	Tercera semana de marzo	Segunda semana de marzo
Duración de floración	10 días	10 días	13 días
Fecha de maduración	Precoz	Precoz	Precoz
Duración de maduración	Corta	Corta	Corta
Caracteres productivos			
Densidad floral	Elevada y regular	Media y regular	Elevada y regular
Calidad de la flor	Buena	Buena	Adecuada
Autogamia	Sí	Sí	Sí
Cuajado	Elevado	Medio a elevado	Elevado
Tolerancia a estrés biótico y abiótico			
Resistencia a enfermedades	Buena	Buena	Intermedia
Tolerancia heladas	Tolerante a susceptible	Susceptible	Muy susceptible
Calidad del fruto			
Aspectos físicos			
Dureza de la cáscara	Dura	Dura	Dura
Capas dobles	No	No	No
Pepitas dobles	No	No	No
Rendimiento en pepita	27%	23,50%	28,40%
Peso de la pepita	1,3g	1g	1,2g
Forma de la pepita	Acorazonada	Acorazonada	Elíptica
Aspecto de la pepita	Atractivo	Atractivo	Atractivo
Color tegumento	Claro	Claro	Marrón claro
Aspectos químicos			
Proteína	Bajo a medio	Medio	Bajo
Aceite	Elevado	Elevado	Elevado
Ac. oleico	Elevado (>70%)	Elevado (>70%)	Elevado (>70%)
Ac. oleico/ac. linoleico	Elevado	Elevado	Elevado
Tocoferol (Vitamina E)	Medio	Medio a elevado	Elevado
Elementos minerales	Elevado	Elevado	Elevado

Capítulo 15. Referencias bibliográficas

15. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A.O.A.C 1980. Official Methods of Analysis, AOAC, Washington,DC.
- Abdallah A., Ahumada M.H., Gradziel T.M. 1998. Oil concentration and fatty acid composition of almond kernels from different genotypes and California production regions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 1029-1033.
- Abellán G., Villanueva B., Marquina A.D. 1995. Turrón de Jijona: elaboración artesanal e industrial. *Aliment. Equip. Técn.* 14: 47-54.
- Agabbio M. 1974. Ritmo di accrescimento del frutto e attività vegetativa del mandorlo. Osservazioni condotte nella cv. "Rachele". *Studi Sassaresi III(22)*: 169-179.
- Alava M.A., Iturralde M., González B., Piñeiro A. 1999. Desaturation by fetal rat hepatocytes. Effect of AFP on linolenic acid conversion. *Prost. Leuk. Essential Fatty Acids.* 60: 209-215.
- Alburquerque N., Burgos L., Egea J. 2003. Apricot flower bud development and abscission related to chilling, irrigation and type of shoots. *Scientia Hort.* 98: 265-276.
- Alburquerque N., Burgos L., Egea J. 2004. Influence of flower bud density, flower bud drop and fruit set on apricot productivity. *Scientia Hort.* 102: 397-406.
- Alessandroni A. 1980. Le mandorle. *Panif. Pasticc.* 8: 67-71.
- Alessandroni A. 1984. Produzioni della pasta di mandorle: aggiornamenti. *Panif. Pasticc.* 12: 79-83.
- Alméras T., Gril J., Costes E. 2002. Bending of apricot tree branches under the weight of axillary growth: test of a mechanical model with experimental data. *Trees* 16: 5-15.
- Alonso J.M. 2004. Efecto de la consanguinidad sobre la expresión y la transmisión de la autocompatibilidad en almendro (*Prunus amygdalus* Batsch). Tesis doctoral. Universitat de Lleida, 227 pp.
- Alonso J.M., Ansón J.M., Espiau M.T., Socias i Company R. 2005. Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day interval and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130: 308-318.
- Alonso J.M., Socias i Company R. 2002. Study of male sterility transmission in 'Rof' almond. *Acta Hort.* 591: 265-268.
- Alonso J.M., Socias i Company R. 2005a. Self-compatibility expression in self-compatible almond genotypes may be due to inbreeding. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130: 868-869.
- Alonso J.M., Socias i Company R. 2005b. Differential pollen tube growth in inbred self-compatible almond genotypes. *Euphytica.* 144: 207 -213.
- Allard R.W. 1967. Principios de la mejora genética de las plantas. Ed. Omega S.A. Barcelona.
- Anderson, J.L., Seeley, S.D. 1993. Bloom delay in deciduous fruits. *Hort. Rev.* 15: 97-114.
- Andrews P.K., Proebsting E.L., Gross D.C. 1983. Differential thermal analysis and freezing injury of deacclimating peach and sweet cherry tissues. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 755-759.

- Antolovich M., Prenzler P.D., Patsalides E., McDonald S., Robards K. 2002. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst* 127: 183-198.
- Antongazzi F. 1978. Il mazapane e la pasta di mandorle. *Panif. Pasticc.* 6: 63-67.
- Arteaga N., Socias i Company, R. 2005. Heritability of fruit and kernel traits in almond. *Acta Hort.* 591: 269-274.
- Ashowrth E.N., Stirm V.E., Volenec J.J. 1993. Seasonal variations in soluble sugars and starch within woody stems of *Cornus sericea* L. *Tree Physiol.* 13: 379-388.
- Ashworth E.N. 1992. Formation and spread of ice in plant tissues. *Hort. Rev.* 13: 215-255.
- Ashworth E.N., Wisniewsky M.E. 1991. Response of fruit tree tissues to freezing temperatures. *HortScience.* 26: 501-504.
- Aslantaş R., Guleryuz M., Turan M. 2001. Some chemical contents of selected almond (*Prunus amygdalus*, Batsch) types. *Cah. Options Méditerran.* 56: 347-350.
- Atkinson C.J., Lucas A.S. 1996. The response of flowering date and cropping of *Pyrus communis* cv. 'Concorde' to autumn warming. *J. Hort. Sci.* 71: 427-434.
- Atkinson C.J., Taylor L. 1994. The influence of autumn temperature on flowering time and cropping of *Pyrus communis* cv. 'Conference'. *J. Hort. Sci.* 69: 1067-1075.
- Aydin C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. *J. Food Engineer.* 60: 315-320.
- Baker N.R., Nie G.Y. 1994. Chilling sensitivity of photosynthesis in maize. En: Y.P.S. Bajaj (ed.): *Biotechnology of maize*. Berlin Springer-Verlag, pp 465-481.
- Baker H.G., Baker I. 1983. Floral nectar sugar constituent in relation to pollinator type. En: C.E.Jones y R.J. Little (eds.): *Handbook of experimental pollination biology*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 117-141.
- Baker N.R., Rosenqvist E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.* 55: 1607-1621.
- Baker N.R. (ed.). 1996. *Photosynthesis and the environment*. Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- Ballester J., Bošković R., Battle I., Arús P., Vargas F.J., Vicente M.C. de. 1998. Location of the self-compatibility gene in the almond linkage map. *Plant Breed.* 117: 69-72.
- Barahona M., Socias i Company R. 1988. Esterilidad floral en distintas descendencias de almendro. III Congr. SECH, Puerto de la Cruz (Tenerife) 15-22 Oct.1988, p 119.
- Barbera G., Bazzi M., Monastra M., Motisi A. 1988. Remarks on shell hardness and shelling percentage relationship in almond. *Rap. EUR 11557*: 253-258.
- Barbera G., Di Marco L., La Mantia T., Schirra M. 1994. Effect of rootstock on productive and qualitative response of two almond varieties. *Acta Hort.* 373: 129-134.
- Batsch A.S.G. 1801. *Beytr. Gesch. Natur.* 1: 30.
- Bell R.L., Janick J., Zimmerman R.H., van der Zwet T., Blacke L.C. 1981. Response of pear to inbreeding. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 584-589.

- Ben Njima N., Socias i Company R. 1995. Characterization of some self-compatible almonds. I. Pollen tube growth. HortScience. 30: 318-320.
- Benedek P., Nyéki J. 1997. Considerations on the nectar production and the honeybee visitation of fruit tree flowers. HortScience. 29: 117-122.
- Benzecri J.P. 1963. Cours de linguistique mathématique. Univ. Rennes, Rennes.
- Berenguer-Navarro V., Prats-Moya M.S. 2003. Antioxidant properties of almond seed coats. XIII GREMPA Meeting, Mirandela, Portugal, 1-5 June 2003, pp 94.
- Berenguer-Navarro V., Grané-Teruel N., Martín-Carratalà M.L. 2002. Oxidation stability of almond oil. Acta Hort. 591: 125-132.
- Berger P. 1969. Aptitude à la transformation industrielle de quelques variétés d'amandier. Bull. Techn. Inf. 241: 577-580.
- Beringer H., Saxena N.P. 1968. Effect of temperature on the tocopherol content of seed oils. Z. Pflanzenern. Bodenk. 120: 71-78.
- Bernad D., Socias i Company R. 1994. Caracterización morfológica y bioquímica de algunas selecciones autocompatibles de almendro. Inf. Técn. Econ. Agrar. 90: 321-324.
- Bernad D., Socias i Company R. 1995. Characterization of some self compatible almonds. II. Flower phenology and morphology. HortScience. 30: 321-324.
- Bernad D., Socias i Company R. 1998. Bud density and shoot morphology of some self-compatible almond selections. Acta Hort. 470: 273-279.
- Bernier G., Périlleux C. 2005. A physiological overview of the genetics of flowering time control. Plant. Biotech. J. 3: 3-16.
- Bernnan R.M., Jefferies R.A. 1990. The use of chlorophyll fluorescence in assessment of low temperature hardiness in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.). Ann. Appl. Biol. 117: 667-672.
- Bezzaouia F. 1989. Caractérisation de la qualité de la floraison chez l'amandier. Influence des facteurs: variété, âge de l'arbre, incidence de la nature, de l'inclinaison et de la position des rameaux fructifères. MSc Thesis, IAMZ.
- Bezzaouia F., Grasselly, C. 1992 Divers aspects d'anomalies florales chez l'amandier. Influence de la variété et des paramètres végétatifs. Rap. EUR 14081: 139-148.
- Blanco A., Socias i Company R. 1988. Caída de frutos de melocotonero de carne amarilla dura "Sudanell-1". An. Inst. Nac. Invest. Agrar., Ser. Prod. Veg. 3: 45-57.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebenm.-Wiss. Tekhnol. 28: 25-30.
- Brétaudeau. A. 1979. Atlas d'arboriculture fruitière. J.B. Baillière (Ed.) Paris. 167 pp.
- Bonvehí J.S., Coll F.V. 1993 Oil content, stability and fatty acid composition of the main varieties of Catalanian hazelnuts (*Corlyus avellane* spp.). Food Chem. 48: 237-241.
- Broschat T.K. 1979. Principal component analysis in horticultural research. HortScience 14: 114-117.

- Brüggermann W., Linger P. 1994. Long term chilling of young tomato plants under low light. IV. Differential response of chlorophyll fluorescence quenching coefficients in *Lycopersicon* species of different chilling sensitivity. *Plant Cell Physiol.* 35: 585-591.
- Bruni R., Muzzoli M., Ballero M., Loi M.C., Fantin G., Poli F., Sacchetti G. 2004. Tocopherols, fatty acids and sterols in seeds of four Sardinian wild Euphorbia species. *Fitoterapia* 75: 50-61.
- Burgos L., Egea J. 1994. Apricot embryo-sac development in relation to fruit set. *J. Hort. Sci.* 68: 203-208.
- Büyükyılmaz M., Kester D.E. 1976. Comparative hardiness of flower buds and blossoms of some almond genotypes in relation to time of bloom and leafing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101: 344-347.
- Carballo R. 1990. Algunas aplicaciones del análisis de correspondencias a la interpretación de tablas de contingencia en la evaluación de un programa de formación profesional ocupacional. *Rev. Invest. Educ.* 16: 537-550.
- Carrera Morales M. 1975. Estudio sobre el proceso de inducción floral en variedades de peral. Tesis doctoral. Univ. Madrid. Pp 133.
- Casares R., López R. 1952. Estudio bromatológico de las almendras dulces españolas. *An. Bromatol.* 7: 71-85.
- Cavalletto K., Kader A., Kester D.E. 1985. Quality in relation to marketability of almond varieties. Project Report 84-LB11 to Almond Board of California.
- Cerdá Juan D. 1973. Economía antigua de Mallorca. En: J. Mascaró Pasarius (ed.): *Historia de Mallorca*, vol 1. J. Mascaró Pasarius, Palma de Mallorca, pp 193-200.
- Certal A.A., Almeida R.B., Bošković R., Oliviera M.M., Feijo J.A. 2002. Structural and molecular analysis of self-compatibility in almond (*Prunus dulcis*). *Sex. Plant Reprod.* 15: 13-20.
- Chandler W.H., Brown D.S. 1951. Deciduous orchards in California winters. *Calif. Agric. Exp. Serv. Circ.*, 179 pp.
- Cheung L., Cheung P., Ooi V. 2003. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chem.* 81: 249-255.
- Church R.M., Williams R.R. 1983. Comparison of flower number and pollen production of several dessert apple and ornamental *Malus* cultivars. *J. Hort. Sci.* 58: 327-336.
- Citadin L., Raseira M.C.B., Herter F.G., Silva J.B. da. 2001. Heat requirement for blooming and leafing in peach. *HortScience.* 36: 303-307.
- Cordeiro V., Oliveira M.M., Ventura J., Monteiro A. 2001. Study of some physical characters and nutritive composition of the Portuguese (local) almond varieties. *Cah. Options Méditer.* 56: 333-337.
- Correns C. 1901. Bastarde zwischen maisrassen, mit besonder Berücksichtigung der Xenien. *Bibliotheca Bot.* 53: 1-161.
- Cotta Ramusino F., Intonti R., Stachini A. 1961. Analisi del latte di mandorle e dello sciroppo di orzata. *Boll. Lab. Chim. Prov.* 12: 491-504.
- Crabbé J. 1984. Aspects particuliers de la morphologie caulinaire des végétaux ligneux et introduction à leur étude quantitative. Gembloux, Belgique: IRISA.

- Crane M.B., Lawrence W.J.C. 1947. The genetics of the garden plants. Macmillan, London.
- Curtis J.J., Brunson A.M., Hubbard J.E., Earle F.R. 1956. Effect of the pollen parent on oil content of corn kernel. *Agron. J.* 48: 551-555.
- Dale J.E. 1988. The control of leaf expansion. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39: 267-295.
- Daudin J. 1982. Analyses en composantes principales. Mathématique et Informatique. Doc. Institut National Agronomique. Paris-Grignon, 63 pp.
- Davies C.S., Neilson S.S., Nielson N.C. 1987. Flavor improvement of soybean preparations by genetic removal of lipoxygenase 2. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 61: 1428-1433.
- De Nettancourt D. 2001. Incompatibility and incongruity in wild and cultivated plants. Springer Verlag, Berlin.
- De Palma L., Godini A. 1994. Stigma/anthers spatial relationship in self-fertile and self-sterile almonds. *Acta Hort.* 373: 161-166.
- Decker E.A. 1998. Antioxidant mechanisms. En: C.C. Akoh y D.B. Min (eds.): Food Lipids. Chemistry, nutrition, and biotechnology. Marcel Dekker, New York. pp. 397-411.
- Dencker I., Hansen P. 1994. Shoot growth flowering relationships in the sour cherry 'Stevnsbaer' as affected by water and nutrient supply. *J. Hort. Sci.* 69: 15-19.
- Denisov V. P. 1968. El período de latencia en el almendro (en ruso). *Dokl. Vsesop. Akad. Nauki. Lenina*, 9.
- Denisov V.P. 1988. Almond genetic resources in the USSR and their use in production and breeding. *Acta Hort.* 224: 299-306.
- Dhatt A.S., Dhillon D.S. 1981. The gynoecial abnormalities in almond (*Prunus amygdalus* Batsch). *Sci. Culture* 47: 270-271. (*Hort. Abstr.* 52:333).
- Dicenta F. 1991. Mejora genética del almendro (*Prunus dulcis* Miller) por cruzamientos intervarietales: herencia de caracteres y selección. Tesis doctoral. Univ. Murcia. 313 pp.
- Dicenta F., García J.E. 1992. Phenotypical correlations among some traits in almond. *J. Genet. Breed.* 46: 241-246.
- Dicenta F., García J.E. 1993a. Inheritance of kernel flavour in almond. *Heredity.* 70: 308-312.
- Dicenta F., García J. E. 1993b. Inheritance of self-compatibility in almond. *Heredity.* 70: 313-317.
- Dicenta F., García J.E., Carbonell E. 1993a. Heritability of flowering, productivity and maturity in almond. *J. Hort. Sci.* 68. 113-120.
- Dicenta F., García J.E., Carbonell E. 1993b. Heritability of fruit characters in almond. *J. Hort. Sci.* 68: 121-126.
- Dicenta F., Martínez-Gómez P., Ortega E., Duval H. 2000. Cultivar pollinizer does not affect almond flavor. *HortScience* 35: 1153-1154.
- Dicenta F., Ortega E., Cánovas J.A., Egea J. 2002. Self-pollination vs. cross-pollination in almond: pollen tube growth, fruit set and fruit characteristics. *Plant Breed.* 121: 163-167.

- Dokozoguz M., Gülcan R. 1973. Almond breeding and selection. Proc. V Eucarpia Fruit Section Symposium, Canterbury, 11-14 Sept. pp 55-56.
- Dugo G., Stagno D., Cotroneo A., Salvo, F. 1979. Composizione dell'olio di mandorle. Nota I: acidi grassi, idrocarburi e steroli di alcune varietà di mandorle dolci siciliane. Riv. Ital. Sost. Grasse. 56: 201-203.
- Dure L. S. 1975. Seed formation. Annu. Rev. Plant. Physiol. 26: 259-278.
- Durner E.F., Gianfagan T.J. 1991. Peach pistil carbohydrate and moisture contents and growth during controlled deacclimation following ethephon application. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 507-511.
- Duval H. 1999. 'Mandaline', a new French almond variety. Nucis. 8: 36.
- East E.M., Jones D.F. 1920. Genetic studies on the protein content of maize. Genetics 5: 543-610.
- Eaton G.W., Jamont A.M. 1994. Embryo-sac development in apricot, *Prunus armeniaca* L. cv Constant. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 86: 95-101.
- EEC, 1991. Regulation 2568/91.
- Egea J, Burgos L. 2000. Ovule differences between single-kernelled and double-kernelled fruits in almond (*Prunus dulcis*). Ann. Appl. Biol. 73: 107-110.
- Egea J., Dicenta F., Berenguer T., García J.E. 2000. 'Antoñeta' and 'Marta' almonds. HortScience 35: 1358-1359.
- Egea J., García J.E., Dicenta F. 1995. Almond breeding for resistance to environmental stress. Nucis. 3: 2-3.
- Egea J., Ortega E., Martínez-Gómez P., Dicenta F. 2003. Chilling and heat requirement of almond cultivars for flowering. Envir. Exper. Bot. 50: 79-85.
- El Gharbi A. 1977. Risultati preliminari sul fabbisogno in freddo di alcuni incroci di mandorlo: relazioni tra la dormienza dei semi e la data di fioritura. III Coll. GREMPA, Bari, October 1977. pp. 113-126.
- El Khatib-Boujibar N. 1983. Le Maroc et Carthage. Le Memorial du Maroc (I). Nord Organisation, Paris. 140 pp.
- Esau K. 1977. Anatomy of seed plants. John Wiley and Sons, New York. 550 pp.
- Eti S., Paydaş S., Küden A.B., Kaşka N., Kurnaz Ş., Ugin M., 1994. Studies on fruit set and quality characteristics of some self and cross pollinated selected almond types. Acta Hort. 373: 57-64.
- Evreinoff V.A. 1952. Quelques observations biologiques sur l'amandier. Rev. Int. Bot. Appl. 359: 442-459.
- Falconer D.S. 1986. Introducción a la genética cuantitativa. Compañía Editorial Continental, S.A. México.
- Fanizza G. 1982. Genetic variability and fruit character associations in table olive (*Olea europea*). Riv. Ortoflorofruttic. Ital. 66: 115-120.
- Felipe A.J. 1968. Lucha contra heladas en plantaciones frutales. Cuad. Estac. Exper. Aula Dei. 3. 40 pp.
- Felipe A.J. 1977. Almendro. Estados fenológicos. Inf. Técn. Econ. Agrar. 27: 8-9.

- Felipe A.J. 1988. Observaciones sobre comportamiento frente a heladas tardías en almendro. Rap. EUR 11557: 145-148.
- Felipe A.J. 2002. Overlook on almond cultivars and rootstocks: a Life Experience. Acta Hort. 591: 29-44.
- Felipe A.J., Socias i Company, R. 1985. L'amélioration génétique de l'amandier à Saragosse. Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ, 85/I: 9-14.
- Felipe A.J., Socias i Company R. 1987. 'Aylés', 'Guara', and 'Moncayo' almonds. HortScience 22: 961-962.
- Fereres E., Aldrich T.M., Schulbach H., Martinich D.A. 1981. Response of young almond trees to late season drought. Calif. Agric. 35: 11-12.
- Fischer M., Mildenerberger G. 2002. New Naumburg/Pillnitz pear breeding results. Acta Hort. 596: 225-231.
- Flinn C.L., Ashworth E.N. 1995. The relationship between carbohydrates and flower bud hardiness among three *Forsythia* taxa. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120: 607-613.
- Folin-Ciocalteu C. 1972. In Foster de Snell and Etter, L.S: Encyclopedia of industrial chemical analysis. Interscience. Vol. 19, p 462.
- Fourie P.C., Basson D.S. 1989. Predicting occurrence of rancidity in stored nuts by means of chemical analyses. Lebensm.-Wiss. Technol. 22: 251-253.
- Fournier D., Costes E., Guédon Y. 1998. A comparison of different fruiting shoots of peach tree. Acta Hort. 465: 557-565.
- Frehner M., Scalet M., Conn E.E. 1990. Pattern of the cyanide-potential in developing fruits. Plant. Physiol. 94: 28-34.
- French A.P. 1951. Inheritance of time of ripening and other economic characters in the peach. Mass. Agric. Exper. Stat. Bull. 462: 2-31.
- Frison S., Sporns P. 2002. Variation in the flavonol glycoside composition of almond seedcoats as determined by MALDI-TOF Mass Spectrometry. J. Agric. Food Chem. 50: 6818-6822.
- Gallihier H.L., Alexander D.E., Weber E.J. 1985. Genetic variability of alpha-tocopherol and gamma-tocopherol in corn embryos. Crop Sci. 25: 547-549.
- Gandawidjaja D., Arditti J. 1982. Post-pollination phenomena in orchid flowers. XI. Autogamy in *Phajus tankervilleae* (Aiton) Bl, Orchidaceae. Amer. J. Bot. 69. 335-338.
- García J.M., Agar I.T., Streif J. 1992. Fat content and fatty acid composition in individual seeds of pistachio varieties grown in turkey. Gartenbauwissenschaft 57: 130-133.
- García J.M., Agar I.T., Streif J. 1994. Lipid characteristics of kernels from different hazelnut varieties. J. Agric. For. 18: 199-202.
- García L., García J.E., Egea J., Berenguer T., Gambín M., Patiño J.L. 1985. Variedades de almendro de la región de Murcia. CEBAS-CSIC. Murcia.
- García-Pascual P., Mateos M., Carbonell V., Salazar D.M. 2003. Influence of storage conditions on the quality of shelled and roasted almonds. Biosystems Eng. 84: 201-209.

- García-López C., Grané-Teruel N., Berenguer-Navarro V., García-García J.E., Martín-Carratalá M.L. 1996. Major fatty acid composition of 19 almond cultivars of different origins. A chemometric approach. *J. Agric. Food Chem.* 46: 963-967.
- Génard M., Bruchou C. 1992. Multivariate analysis of within-tree factors accounting for the variation of peach fruit quality. *Scientia Hort.* 52: 37-51.
- Genty B., Briantais J.M., Backer N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta.* 990: 87-92.
- Germain E., Leglise J.M., Bayol M. 1985. Création par hybridation de variétés de noyer (*Juglans regia* L.) associant floraison tardive, mise à fruit rapide et productivité élevée: premiers résultats. V Coll. Recherche Fruitières, Bordeaux. CTIFL (ed.): 157-174.
- Girard P., Guezennec J., Lanteaume M.T., LeClerc A.M. 1961. La valeur nutritive des protéines d'amandes. *Ann. Nutr. Aliment.* 16: 1-10.
- Godini A. 1977. Contributo alla conoscenza delle cultivar di mandorle (*P. amygdalus* Batsch) della Puglia: 2) Un quadriennio di ricerche sull'autocompatibilità: III Coll. GREMPA, Bari, pp. 150-159.
- Godini A. 1979. Ipotesi sulla comparsa dell'autocompatibilità nel mandorlo. *Riv. Sci. Tecn. Agrar.* 19(2/3): 3-10.
- Godini A. 1981. Observing pollen tube growth in self and crossed styles of two self-compatible almond cultivars by means of fluorescence. *Riv. Ortoflorofruttic. Ital.* 65: 135-142.
- Godini A. 1984a. The influence of fresh pericarp on the kernel production in almond. *Options Méditerr. CIHEAM-IAMZ 84/II*: 57-61.
- Godini A. 1984b. Hull, shell and kernel relationships in almond fresh fruit. *Options Méditerr. CIHEAM-IAMZ 84/II*: 53-56.
- Godini A. 2002. Almond fruitfulness and role of self-fertility. *Acta Hort.* 591: 191-204.
- Godini A., De Palma L., Palasciano M. 1992a. 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. 1992b. Sur l'autocompatibilité de quelques cultivars amers parmi la population d'amandier des Pouilles. *Rap. EUR14081*: 19-25.
- 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.
- Godini A., Barbera G., Catania F., Insero O., Mattelli B., Palasciano M., Senesi E. 2001. The Italian almond evaluation project. *Options Mediterr.* 56: 123-128.
- Goffman F.D., Becker H.C. 2001. Diallel analysis for tocopherol in seeds of rapeseed. *Crop Sci.* 41: 1072-1079.
- Goffman F.D., Velasco L., Becker H.C. 1999. Tocopherols accumulation in developing seeds and pods of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Fett/Lipid.* 101: 400-403.
- Goldhamer D.A., Viveros M. 2000. Effects of preharvest irrigation cut-off duration and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrig Sci.* 19: 125-131.

- Goldhamer D.A., Fereres E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig Sci.* 20: 115-125.
- Goldstein G., Nobel P.S. 1994. Water relations and low-temperature acclimation for cactus species varying in freezing tolerance. *Plant Physiol.* 104: 675-681.
- Gómez Aparaisi J., Carrera M., Felipe A.J. Socias i Company R. 2001. 'Garnem', 'Monegro' y 'Felinem': nuevos patrones híbridos almendro × melocotonero resistentes a nematodos y de hoja roja para frutales de hueso. *Inf. Técn. Econ. Agrar.* 97V: 282-288.
- Gou P., Díaz I., Guerrero L., Valero A., Arnau J. 2000. Physico-chemical and sensory property changes in almonds of Desmayo Langueta variety during roasting. *Food Sci. Technol. Int.* 6: 1-7.
- Gradziel T.M., Wang D. 1994. Susceptibility of California almond cultivars to aflatoxigenic *Aspergillus flavus*. *HortScience* 29: 33-35.
- Grané-Teruel N., Prats-Moya M.S., Berenguer-Navarro V., Martín-Carratalá M.L. 2001. A possible way to predict the genetic relatedness of selected almond cultivars. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 78: 617-619.
- 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. 1975. La variété d'amandier 'Ferragnès'. *Pomol. Fr.* 17: 43-49.
- Grasselly C. 1976. Origine et évolution de l'amandier cultivé. *Options Méditerran.* 32: 45-49.
- Grasselly C. 1977. Que peut-on attendre de l'amélioration génétique de l'amandier? *Pomol. Fr.* 19: 77-84.
- Grasselly C. 1978. Observation sur l'utilisation d'un mutant à floraison tardive dans un programme d'hybridation. *Ann. Amélior. Plantes.* 28: 685-695.
- Grasselly C. 1982. L'amandier. CTIFL, Paris.
- Grasselly C., Crossa-Raynaud P. 1980. L'amandier. G.P. Maisonneuve et Larousse, Paris. Pp 265.
- Grasselly C., Olivier G. 1976. Mise en évidence de quelques types auto compatibles parmi les cultivars d'amandier (*P. amygdalus* Batsch) de la population des pouilles. *Ann. Amélior. Plant.* 26: 107-108.
- Grasselly C., Olivier G. 1981. Difficulté de survie de jeunes semis d'amandier dans certaines descendance. *Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ 81/I:* 65-67.
- Grasselly C., Olivier G. 1984. Avancement du programme de création de variétés d'amandier auto compatibles. *Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ 84/II:* 129-131.
- Grasselly C., Olivier G. 1988. Phénomènes d'inbreeding dans les descendance issues d'autofécondation chez l'amandier. *Rap. EUR.* 11557: 73-78.
- Grasselly C., Crossa Raynaud P., Olivier G., Gall H. 1981. Transmission du caractère de l'auto compatibilité chez l'amandier (*Amygdalus communis*). *Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ 81/I:* 71-75.
- Grasselly C., Crossa-Raynaud P., Olivier G. 1985. Récents progrès dans l'amélioration génétique de l'amandier. V Coll. Recherches Fruitières, Bordeaux, 13-14 Nov. 1985. pp 141-155.

- Grasselly C., Olivier C., Niboucha A. 1992. Le caractère "autocompatibilité" de l'amandier dans le programme de l'I.N.R.A. Rap. EUR. 14081: 9-18.
- Greaves J.A., Wilson J.M. 1986. Assessment of the non-freezing cold sensitivity of wild and cultivated potato species by chlorophyll fluorescence analysis. *Potato Res.* 29: 509-520.
- Greaves J.A., Wilson J. M. 1987. Assessment of the sensitivity of wild and cultivated potato species by chlorophyll fluorescence analysis. *Potato Res.* 30: 381-395.
- Grosso N.R., Nepot V., Guzman G.A. 2000. Chemical composition of some wild peanut species (*Arachis L.*) seeds. *J. Agric. Food. Chem.* 48: 806-809.
- Guadagni D.G., Soderstrom E.L., Storey C.L. 1978. Effect of controlled atmosphere on flavour stability of almonds. *J. Food Sci.* 43: 1077-1080.
- Gülcan R. 1985. Almond descriptors (revised). IBPGR, Rome.
- Gurrieri F., Audergon J.M., Albagnac G., Reich M. 2001. Soluble sugars and carboxylic acids in ripe apricot fruit as parameters for distinguishing different cultivars: use of principle component analysis to characterize apricot fruit quality. *Euphytica.* 117: 183-189.
- Guy C.L. 1990. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 109: 375-380.
- Hakam N., Khanizadeh S., DeEll J., Ricker C. 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. *HortScience* 35: 184-186.
- Hall P.A., Moore G.J., Gunning B., Cook B.B. 1958. The nutritive value of fresh and roasted California-grown Nonpareil almonds. *J. Agric. Food Chem.* 6: 377-382.
- Hällegren J.E., Oquist G. 1990. Adaptations to low temperatures. En: R.G Alscher y J.R. Cummings (Eds.): *Stress response in plants: Adaptation and acclimation mechanisms.* Wisley-Liss Inc., pp. 265-293.
- Hansche P.E. 1990. The effect of plant size on the improvement of fruit and nut tree cultivars. *HortScience.* 25:389-393.
- Hansche P.E., Beres W., Forde H.I. 1972. Estimate of quantitative genetic properties of walnut and their implication for cultivars improvement. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 279-285.
- Harris N.E., Wescott D.E., Enick A.S. 1972. Rancidity in almonds: shelf life studies. *J. Food Sci.* 37: 824-827.
- Hawker J.S., Buttrose M.S. 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.
- Hedhly A., Hormaja J.I., Herrero M. 2004. Effect of temperature on pollen tube kinetics and dynamics in sweet cherry, *Prunus avium* (Rosaceae). *Amer. J. Bot.* 2004 91: 558-564
- Herralde F. de, Savé R., Biel C., Batlle I., Vargas F.J. 2001. Differences in drought tolerance in two almond cultivars: 'Lauranne' and 'Masbovera'. *Cah. Options Méditerr.* 56: 149-154.
- Herrero M. 1992. From pollination to fertilization in fruit trees. *Plant Growth Regul.* 11: 27-32.
- Hill S.J., Stephenson D.W., Taylor B.K. 1985. Almond pollination studies: pollen production and variability, flower emergence and cross pollination tests. *Austr. J. Exper. Agric.* 25: 697-704.

- Hill S.J., Stephensen D.W., Taylor B.K. 1987. Almond yield en relation to tree size. *Scientia Hort.* 33: 97-111.
- Hiratsuka S., Zhang S.L. 2002. Relationships between fruit set, pollen tube growth, and S-RNase concentration in the self compatible Japanese pear. *Scientia Hort.* 95: 309-318.
- Hirayama K., Ishida K., Tomaru N. 2005. Effects of pollen shortage and self-pollination on seed production of endangered tree *Mangnolia stellata*. *Ann. Bot.* 95: 1009-1015.
- Hofius D., Sonneewald U. 2003. Vitamin E biosynthesis: biochemistry meets cell biology. *Trends Plant Sci.* 8: 6-8.
- Hormaza J.I., Herrero M. 1996. Dynamics of pollen tube growth under different competition regimes. *Sex. Plant Reprod.* 7: 153-160.
- Hôtellier F., Delaveau P. 1972. Huiles à intérêt pharmaceutique, diététique et cosmétologiques: amande, noyau, noisette. *Ann. Pharm. Fr.* 30: 495-502.
- Iglesias D.J., Tadeo F.R., Primo-Millo E., Talón M. 2003. Fruit set dependence on carbohydrate availability in citrus trees. *Tree Physiol.* 23: 199-204.
- Imanishi H.T., Suzuki T., Masuda K., Harada T. 1998. Accumulation of raffinose and stachyose in shoot apices of *Lonicera caerulea* L. during cold acclimation. *Scientia Hort.* 72: 255-263.
- IPCC, 2001. Intergovernmental panel on climate change. Impacts, adaptation and vulnerability. J.J. MacCarty, O.F. Canziano, N.A. Leary, D.J. Dokken y K.S. White (eds). Cambridge Univ. Press, UK. 1000 pp.
- Ito P.J., Hamilton R.A. 1980. Quality and yield of "Keaubou" macadamia nuts from mixed and pure block plantings. *HortScience* 15: 307.
- Jablonski B., Krol S., Pliszka K., Zurowska Z. 1985. Nectar secretion and pollination of the blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Acta Hort.* 165: 133-144.
- Jackson J.F., Clarck G.R. 1991. Gene flow in almond orchard. *Theor. Appl. Genet.* 82: 169-175.
- Jacoboni A., Pinnola I.A. 1994. Climatological relationships of almond. *Acta Hort.* 373: 167-176.
- Janick J., Cummins J.N., Brown S.K., Hemmat M. 1996. Apples. En: J. Janick y J.N. Moore (eds.): *Fruit Breeding*, vol. I. John Wiley, New York. pp. 1-77.
- Jaouani A. 1973. Étude de l'auto-compatibilité de la variété "Mazzetto". *Rapp. Activ. Lab. Arboric. Fruit. INRA (Tunisie)*. Pp 20.
- Jaumien F. 1968. The cause of poor bearing trees of the variety 'Doyenne du Comice'. *Acta Agrobot.* 21: 75-106.
- Jáuregui M.B. 1998. Localización de marcadores moleculares ligados a caracteres agronómicos en un cruzamiento específico de almendro x melocotonero. Tesis doctoral. Univ. Barcelona, 183 pp.
- Joobeur T., Viruel M.A, Vicente M.C. de, Jáuregui M.B., Ballester J., Dettori M.T., Verde I., Truco M.J., Messeguer R., Battle I., Quarta R., Dirlewanger E., Arús P. 1998. Construction of a saturated linkage map for *Prunus* using an almond x peach F₂ progeny. *Theor. Appl. Genet.* 97: 1034-1041.
- Jraidi B., Nefzi A. 1988. Transmission de l'auto-compatibilité chez l'amandier. *Rap. EUR 11557*: 47-57.

- Jurgens G., Mayer U., Ruiz R.A.T., Beneth T., Misera S. 1991. Genetic analysis of pattern formation in the *Arabidopsis* embryo. *Development Supplement*. 1: 27-28.
- Kafkas S., Agar I.T., Kaska N., Tatar Y. 1995. Pozanti-kamisli vadisi ve sanliurfa-koruklu'da adaptasyon calismarlari yapilan bazi yerli ve yabanci kokenli badem (*Amygdalus communis*) cesitlerinin lipid karakterizasyonlari uzerinde. *Rast. Nauki*. 32: 4-13.
- Kaiser H.F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educat. Psych. Measur.* 20: 141-151.
- Kamal-Eldin A., Appelqvist L.A. 1996. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids* 31: 671-701.
- Kamal-Eldin A. Andersson R. 1997. A multivariate study of the correlation between tocopherol and fatty acid in vegetable oils. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 74: 375-376.
- Karahadian C., Lindsay R.C. 1989. Action of tocopherol type compounds in directing reactions forming flavour compounds in auto-oxidizing fish oils. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 66: 1302-1308.
- Karukstis K.K. 1991. Chlorophyll fluorescence as physiological probe of the photosynthetic apparatus. En: H. Scheer (ed.). *Chlorophylls*. CRC Press, Boca Raton, Fla. pp 769-795.
- Kervella J., Pagès L., Génard M. 1994. Genetic differences in the length-diameter relationships of branches on one year-old peach and nectarine trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119: 616-619.
- Kester D.E. 1965a. Size, shape and weight relationships in almond kernels. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 87: 204-213.
- Kester D.E. 1965b. Inheritance of time of bloom in certain progenies of almonds. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 87: 214-221.
- Kester D.E. 1971. Abnormal phenotype with virus-like appearance within seedling populations of almond. *HortScience* 6: 32.
- Kester D.E. 1976. Cultural systems and rootstocks of almond. I Congr. Int. Almendra y Avellana, Reus, pp. 784-799.
- Kester D.E. 1989. An almond development model for analyzing yield. *HortScience* 24: 133.
- Kester D.E., Asay, R.N. 1975. Almonds. En: J. Janick y J.N.Moore (eds): *Advances in Fruit Breeding*. Purdue Univ. Press, West Lafayette (IN), pp. 387-419.
- Kester D.E., Asay, R.A. 1984. Comparison of productivity factors in almond, almond-peach, and almond-almond species populations. *HortScience* 19: 494. (Abst.).
- Kester, D.E., Gradziel, T.M. 1996. Almonds. En: J. Janick y J.N. Moore (eds.): *Fruit Breeding*, vol III. J. Wiley & Sons, New York, pp. 1-97.
- Kester D.E., Gradziel T.M. 1998. The University of California almond breeding programme: I. Historical aspects. *Nucis*. 7: 8-10.
- Kester D.E., Griggs W.H. 1959. Fruit setting in the almond: the effect of cross-pollinating various percentages of flowers. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 74: 214-219.
- Kester D.E., Raddi P., Asay R.N. 1973. Correlation among chilling requirements for germination, blooming and leafing in almond (*Prunus amygdalus* Batsch). *Genetics* 74: s135.

- Kester D.E., Raddi P., Asay R.N. 1977a. Correlation of chilling requirement for germination, blooming and leafing within and among seeding populations in almond. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 145-148.
- Kester D. E., Hansche P.E., Beres V., Asay R.N. 1977b. Variance components and heritability of nut and kernel traits of almond. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102: 264-266.
- Kester, D.E., Asay, R.N., Micke W.C. 1984. 'Solano', 'Sonora' and 'Padre' almonds. *HortScience* 19: 138-139.
- Kester D.E., Gradziel T.M., Grasselly C. 1990. Almonds (*Prunus*). *Acta Hort.* 290:699-758.
- Kester D.E., Cunningham S., Kader A.A. 1993. Almonds. En: *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*. Academic Press, London. pp. 121-126.
- Kester D. E., Martin G.C., Labavitch J.M. 1996. Growth and development. En: W.C. Micke (ed.): *Almond production manual Univ. Calif. Div. Agric. Natur. Resour. Publ.* 3364, pp. 90-97.
- Kester D. E., Micke W.C., Morrison D., Curtis R. 1980. Almond variety evaluation. *Calif. Agric.* 34: 4-7.
- Khanizadeh S., DeEll J. 2001. Chlorophyll fluorescence: a new technique to screen for tolerance of strawberry flowers to spring frost. *Small Fruit Rev.* 1: 61-67.
- Khanizadeh S., DeEll J. 2002. Chlorophyll fluorescence: a new technique to screen for tolerance of strawberry flowers to spring frost. *Acta Hort.* 567: 337-339.
- Khanizadeh S., Buszard D., Fanous M.A., Zarakadas C.G. 1989. Effect of crop load on seasonal variation in chemical composition and spring frost hardiness of apple flower buds. *Can. J. Plant. Sci.* 69: 1277-1284.
- Khanizadeh S., DeEll J., Hakam N. 2000. Use of chlorophyll fluorescence to evaluate chilling tolerance in strawberry plants. *Acta Hort.* 538: 453-455.
- Kim D., Jeoung S., Lee C. 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.* 81: 321-326.
- Kishore D.K., Randhawa S.S. 1993. Wild germplasm of temperate fruits. En K.L. Chada y O.P. Parrek (eds.): *Advances in horticulture, vol 1- Fruit Crops Part 1*. Mahotra Publ. House, New Delhi, India, pp. 227-241.
- Kleczkowski L.A., Geisler M., Ciereszko I., Johansson H. 2004. UDP-glucose pyrophosphorylase, an old protein with new tricks. *Plant Physiol.* 134: 912-918.
- Klénján T., Timon B., Szabó Z. 1998. Morphological characteristics of nectarine varieties. *Acta Hort.* 465: 275-278.
- Klips R.A., Snow A.A. 1997. Delayed autonomous self-pollination in *Hibiscus laevis* (Malvaceae). *Amer. J. Bot.* 84: 48-53.
- Koch, M., Lemke R., Heise K.P., Mock H.P. 2003. Characterization of γ -tocopherol methyltransferases from *Capsicum annuum* L and *Arabidopsis thaliana*. *Eur. J. Biochem.* 270: 84-92.
- Kodad O. 2002. Caractérisation agronomique, organoleptique et moléculaire des nouvelles sélections autocompatibles et à floraison tardive de l'amandier (*Prunus amygdalus*). Tesis MSc, IAMZ.

- Kodad O., Gómez-Aparisi J., Socias i Company R. 2004. Variación de caracteres morfológicos en condiciones de sequía en el almendro y su posible utilización en un programa de mejora. Actas VI Jornadas de Experimentación en Fruticultura, Murcia, pp 24-29.
- Krekule J. 1979. Simulation and inhibition of flowering. Morphological and physiological studies. Coll. Int. C.N.R.S. Physiologie de la Floraison, 285: 19-57.
- Kriese U., Schumann E., Weber W.E., Beyer M., Brühl L., Matthäus B. 2004. Oil content, tocopherol composition and fatty acid patterns of the seeds of 51 *Cannabis sativa* L. genotypes. Euphytica 137: 339-351.
- Krings U., Berger R.G. 2001. Antioxidant activity of some roasted foods. Food Chem. 72: 223-229.
- Kumar K., Das B. 1996. Studies on xenia in almond [*Prunus dulcis* (Miller) D.A Webb] J. Hort. Sci. 71: 545-549.
- Kumar K., Kumar U. 2000. Evidence of self-compatibility in indigenous almond (*Prunus dulcis* (Miller) D.A. Webb.) selections from India. J. Amer. Pomol. Soc. 54: 68-71.
- Kurilich A.C., Tsau G.J., Brown A., Howard L., Klein B.P., Jeffery E.H., Kushab M., Walling M.A., Juvik J.A. 1999. Carotene, tocopherol, and ascorbate contents in subspecies of *Brassica oleracea*. J. Agric. Food Chem. 47: 1576-1581.
- Ladizinsky G. 1999. On the origin of almond. Gen. Res. Crop Evol. 46: 143-147.
- Lamp B.M., Connell J.H., Duncan R.A., Viveros M., Polito V.S. 2001. Almond flower development: floral initiation and organogenesis. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126: 689-696.
- Lang A. 1965. Physiology of flower initiation. En: W. Ruhland (ed.): Encyclopedia of plant physiology, Vol. XV, Part1. Springer Verlag, Berlin. pp. 1380-1536.
- Lang G.A., Early J.D, Martin G.C., Darrell R.L. 1987. Endo-, para-, and endodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. HortScience 22: 371-377.
- Lansari A., Iezzoni A.F., Kester D.E. 1994. Morphological variation within a collection of Moroccan almond clones and Mediterranean and American cultivars. Euphytica 78: 27-41.
- Larsen F.E., Johnston S., Moulton J.E. 1960. Fruit set of emasculated and hand-pollinated peach and apricot blossoms in different micro-environments. Quart. Bull. Michigan Sta. Univ. 43: 43-57.
- Lasheen A.M., Chaplin C.E. 1971. Biochemical comparison of seasonal variations in three peach cultivars differing in cold hardiness. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 154-159.
- Laurens F., Audergon J.M., Claverie J., Duval H., Germain E., Kervella J., Le Lezec M., Lauri P.E., Térouanne E., Lespinasse J.M. 1997. Relationship between the early development of apple fruiting branches and the regulatory of bearing. An approach to the strategies of various cultivars. J. Hort. Sci. 72: 519-530.
- Lavee S. 1990. Aims, methods and advances in breeding of new olive (*Olea europaea*, L.) cultivars. Acta Hort. 286: 23-36.
- Leborgne N., Teulières C., Cauvin B., Travert S., Boudet A.M. 1995. Carbohydrate content of *Eucalyptus gunnii* leaves along an annual cycle in the field and during induced frost hardening in controlled conditions. Trees 10: 86-93.

- Legave J.M., Audergon J.M., Richard J.C., Clauzel G., Viti R. 2005. Inheritance of floral abortion in apricot tree. *Acta Hort.* 663: 393-396.
- León L., Rallo L., del Río C., Martín L.M. 2004. Variability and early selection on the seedling stage for agronomic traits in progenies from olive crosses. *Plant Breed.* 123: 73-78.
- León L., Martín L.M., Rallo L. 2004. Phenotypic correlations among agronomic traits in olive progenies. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129: 271-276.
- Lespinasse Y. 1992. Breeding apple tree: aims and methods. *Proc. Joint Conf. EARP Breeding and Varietal Assessment Section.* pp 103-110.
- Levitt J. 1980. Response of plants to environmental stresses. Vol 1. Chilling, freezing and high temperature stresses. 2nd ed. New York. Academic Press. 497 pp.
- Lewis D. 1942. The physiology of incompatibility in plants. I. The effect of temperature. *Proc. Roy. Soc. Ser. B.* 31: 13-26.
- Lindgren K., Hällgren J.E. 1993. Cold acclimation for *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* assessed by chlorophyll fluorescence. *Tree Physiol.* 13: 97-106.
- Linnaeus C. 1735. A system of vegetables. London.
- Linskens H.F. 1986. Recognition during the progamic phase. En: M. Cresti., y R. Dallali. (eds.). *Biology of reproduction and cell motility in plants and animals.* Univ. Siena, Italia. pp. 21-31.
- Linskens M.F., Esser K. 1957. Über eine spezifische Anfarbung der Pollenslauche und die Zahl der Kallosporenpfropfen nach Selbstung und Fremdung. *Naturwissenschaften* 44: 16.
- London-Shafir L., Shafir S., Eisikowitch D. 2003. Amygdaline in almond nectar and pollen- facts and possible roles. *Plant Syst. Evol.* 238: 87-95.
- Longhi S. 1952. High-protein animal feed. *It. Patent* 470. 433. (Chem. Abstr. 1953, 47: 10766).
- López M.M. 2004. Mejora de almendro para auto compatibilidad utilizando técnicas biológicas y moleculares. Tesis Doctoral. Univ. Lleida. 269 pp.
- López Y., Smith O.D., Senseman S.A., Rooney W.L. 2001. Genetic factors influencing high oleic acid content in Spanish market-type peanut cultivars. *Crop Sci.* 41:51-56.
- Lynch M., Walsh B. 1998. *Genetics and analysis of quantitative traits.* M.A. Sinauer Associates, Inc., SA Sunderland, Massachusetts. USA. 630 pp.
- Maranz S., Wiesman Z. 2004. Influence of climate on the tocopherol content of shea butter. *J. Agric. Food Chem.* 52: 2934-2937.
- MAPA. 2002. Análisis de la economía de los sistemas de producción. Resultados técnico económicos de explotaciones agrícolas de Aragón en el año 2001. Dirección General de Planificación Económica y Coordinación Institucional. Madrid, Octubre. pp 84.
- Marquard R. von. 1990. Investigation on the influence of genotype and location on the tocopherol of the oil from different oil crops. *Fat Sci. Technol.* 92: 452-455.
- Martínez-Gómez P., Dicenta F., Ruiz D., Egea J. 2002. Flower bud abscission in apricot: competition between vegetative and flower buds, and effects of early defoliation and high pre-blossom temperature. *J. Hort. Sci Biotechnol.* 77: 485-488.

- Mazur P. 1969. Freezing injury in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20: 419-448.
- McAlister E.D., Meyers J. 1940. The time-course of photosynthesis and fluorescence observed simultaneously. *Smithsonian Institute Miscellaneous Collection* 99: 1-37.
- Milutinovic M. 1975. The relationship between anomalies in the development of the embryo sac, the type of fruiting branch and the position of flower in the inflorescence in some apple varieties. *Jugoslav. Vocarstvo* 8: 31-32.
- Millela A. 1963. Effetti delle basse temperatura sugli organi fiorali del mandorlo. *Studi Sassaressi* 3: 13-22.
- Miranda C., Santesteban L.G., Royo J.B. 2005. Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated *Prunus* species. *HortScience* 40: 357-361.
- Misirli A., Gülcan R., Tanrisever A. 1994. Determination of phenolic compounds of some almond cultigens. *Acta Hort.* 373: 185-192.
- Miyajima D. 2001. Floral variation and its effect on self-pollination in *Salvia splendens*. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 76: 187-194.
- Miyajima D. 2004. Pollination and seed set in vinca (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79: 771-775.
- Moing A., Gaudillère J.P. 1992. Carbon and nitrogen partitioning in peach/plum grafts. *Plant Physiol.* 10: 81-92.
- Monastra F., Della Strada G., Fidheguelli C., Quarta R. 1985. Progrès du programme d'amélioration génétique de l'amandier à l'Istituto Sperimentale per la Frutticoltura di Roma. *Options Mediterr. CIHEAM/IAMZ* 85/I: 1-6.
- Monastra F., Della Strada G., Fideghelli C., Quarta R. 1988. Supernova: une nouvelle variété d'amandier obtenu par mutagènese. *Rap. EUR* 11557: 3-7.
- Monet R. 1989. Peach genetics: past, present, and future. *Act. Hort.* 254: 49-57.
- Monet R., Bastard Y. 1971. Effets d'une température modérément élevée sur les bourgeons floraux du pêcher. *Physiol. Vég.* 9: 206-226.
- Monet R., Bastard Y. 1977. Résistance au gel et évolution physiologique des bourgeons floraux de pêcher. *Ann. Amélior. Plant.* 27: 717-728.
- Monet R., Guye A., Roy M., Dachary N. 1996. Peach mendelian genetics; a short review and new results. *Agronomie.* 16: 321-329.
- Murkovic M., Hillebrand A., Winkler J. 1996. Variability of vitamin E. content in pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). *Z. Lebensm. Unters Forsch.* 202: 275-278.
- Newton R.P., Pennock J.F. 1971. The intracellular distribution of tocopherols in plants. *Phytochemistry* 10: 2323-2328.
- Norden A.J., Gorbet D.W., Knauff D.A., Young C.T. 1987. Variability in oil quality among peanut genotypes in the Florida breeding program. *Peanut Sci.* 14: 7-11.
- Nortes P.A., Pérez-Pastor A., Egea G., Conejero W., Domingo R. 2005. Comparación of changes in stem diameter and water potential values for detecting water stress in young almond trees. *Agric. Water Manag.* 77: 296-307.

- Okie W.R., Werner D.J. 1996. Genetic influence on flower bud density in peach and nectarine exceeds that of environment. *HortScience* 31: 1010-1012.
- Orosz-Kovács Z., Nagy-Toth E., Buban T., Szabó T. 2000. Floral biological proprieties deciding in productivity of sour cherry cultivars. *Acta Hort.* 538: 749-755.
- Ortega E., Dicenta F. 2003. Inheritance of self-compatibility in almond: breeding strategies to assure self-compatibility in the progeny. *Theor. Appl. Genet.* 106: 904-911.
- Ortega E., Egea J., Dicenta F. 2004. Effective pollination period in almond cultivars. *HortScience* 39: 19-22.
- Ortega E., Egea T., Canovas J.A., Dicenta F. 2002. Pollen tube dynamics following half- and fully-compatible pollination in self-compatible almond cultivars. *Sex. Plant Rep.* 15: 47-51.
- Oukabli A., Lansari A., Wallali D.L., Abousalem A., Egea J., Micheaux-Ferrier 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.
- Oukabli A., Lansari A., Wallali D.L., Abousalem A. 2002. Effects of controlled self-pollination and cross-pollination on fruit set, embryo viability and pomological traits in the self-compatible almond 'Tuono'. *Acta Hort.* 591: 429-435.
- Özdemir F., Akinci I. 2004. Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *J. Food Engineer.* 63: 341-347.
- Özdemir M., Açıktur F., Kaplan M., Yıldız M., Löker M., Gürcan T., Biringen G., Okay A., Seyhan F.G. 2001. Evaluation of new Turkish hybrid hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties: fatty acid composition, α -tocopherol, mineral composition and stability. *Food Chem.* 73: 411-415.
- Palonen P. 1999. Relationship of seasonal changes in carbohydrates and cold hardiness in canes and buds of three red raspberry cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124: 507-513.
- Paz Aguilera M., Beltrán G., Ortega D., Fernández A., Jiménez A., Uceda M. 2005. Characterisation of virgin olive oil of Italian olive cultivars 'Frantoio' and 'Leccino', grown in Andalusia. *Food Chem.* 89: 387-391.
- Pearce R.S., Abdel Samad I.M. 1980. Changes in fatty acid content of popular lipids during ageing of seeds of peanut (*Arachis hypogaea* L.) *J. Exper. Bot.* 31: 1283-1290.
- Philippeau G. 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. ITCF Doc. Institut Technique des Céréales et des Fourrages. pp 1-28.
- Pimienta E., Polito S., Kester D.E. 1983. Pollen tube growth in cross- and self-pollinated 'Nonpareil' almond. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 643-647.
- Polito V.S., Pinney K., Heerema R., Weinbaum S.A. 2002. Flower differentiation and spur leaf area in almond. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 77: 474-478.
- Pongracz G., Weiser H., Matzinger D. 1995. Tocopherole- Antioxidantien der Natur. *Fat Sci. Technol.* 97: 90-104.
- Proebsting E.L., Mills H.H. 1978a. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103: 192-198.

- Proebsting E.L., Mills H.H. 1978b. A synoptic analysis of peach and cherry flower bud hardiness. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 842-845.
- Proebsting E.L., Jerie P.H., Irvine J. 1989. Water deficits and rooting volume modify peach tree growth and water relations. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 474-478.
- Quatrucci E. 1996. Nutritional quality of tree nuts and how they complement other foods. Cracker 3: 14-15.
- Raff J.W., Petit J.M., Knox R.B. 1981. Cytochemistry of pollen tube growth in stigma and style of *Prunus avium*. Phytomorphology 31: 214-231.
- Rallo L. 2005. La mejora genética del olivo en un cambio de época. Actas Port. Hort. 495-506.
- Ramos Carmona B. 1983. Variedades de almendro. Cuaderno I.N.I.A. 14, 257 pp.
- Raseira M.C.B., Moore J.N. 1986. Comparison of flower bud initiation in peach cultivars in northern and southern hemispheres. HortScience 21: 1367-1368.
- Rattigan K., Hill S.J. 1987. Relationship between temperature and flowering in almond: effect of location. Austral. J. Exper. Agric. 27: 905-908.
- Reina A., Giorgio V., Godini A. 1985. Autres types auto-compatibles parmi la population d'amandiers des pouilles. Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ 85/I: 25-29.
- R.H.S. 1966. RHS colour chart. Royal Hort. Soc., London.
- Rikhter A.A. 1972. Bases biológicas para la creación de cultivares de almendro y plantaciones comerciales (en ruso). Ed. AN USSR, Glavny Bot. Sad, Moscú.
- Riquelme B F., Franco S. L., Romojaro A.F. 1982. La calidad de la almendra. Agricultura 600: 543-544.
- Ristevski B. 1988. Damages on almond trees from late spring frosts in Macedonia. Rap. EUR 11557: 137-140.
- Ritzinger R., Lyrene P.M. 1999. Flower morphology in blueberry species and hybrids. HortScience 34: 130-131.
- Rizzolo A., Senesi E., Colombo C. 1994. Studies on the storage of shelled and in-shelled almonds. Acta Hort. 373: 259-261.
- Robbie F.A., Atkinson C.J., Knight J.N., Moore K.J. 1993. Branch orientation as factor determining fruit set in apple trees. J. Hort. Sci. 68: 317-325.
- Rocheford T.R., Wong J.C., Egesel C.O., Lambert R.J. 2002. Enhancement of vitamin E levels in corn. J. Amer. Coll. Nutr. 21: 191S-198S.
- Rodrigo J. 2000. Spring frosts in deciduous fruit trees: morphological damage and flower hardiness. Scientia Hort. 85: 155-173.
- Romero A., Tous J., Plana J., Guardia M.D., Díaz I. 2002. How cultivar choice affect Spanish consumer's acceptance of marzipan. Acta Hort. 591: 117-124.
- Romero M.P., Tovar M.J., Ramos T., Motilva M.J. 2003. Effect of crop season on the composition of virgin olive oil with protected designation of "Les Garrigues". J. Amer. Oil Chem. Soc. 80: 423-430.

- Romero F. 2003. La calidad de la almendra. Curso técnico de frutos secos. Confederación de Cooperativas Agrarias de España.
- Romero F., García J.E., López Andreu F.J. 1977. Estudio sobre la composición química de variedades de almendra del sureste español. An. Edafol. Agrobiol. 36: 121-131.
- Romero F., Riquelme F., Giménez J.J., Llorente S. 1988. Fat content and oil characteristics of some almond varieties. Fruit Sci. Rep. 15: 53-57.
- Rovira M., Clavé J., Romero M., Santos J., Vargas F.J. 1998. Self-compatibility in almond progenies. Acta Hort. 470: 66-71.
- Royo J.B., Sola D., Beaumont E., González J. 1990. Hábitos productivos de diferentes variedades de almendro. Consecuencias con respecto a la poda de fructificación. HortoFruticultura 1: 67-72.
- Royo J.B., Itoiz R., Santesteban G., González J. 2002. Contribución al conocimiento de la variabilidad genética del manzano autóctono del noreste español. Frutic. Prof. 128: 56-64.
- Ruiz-Sanchez M.C., Torrecillas A., del Amor F., León A., García A.L. 1989. Différences variétales d'évolution des stades phenologiques de l'amandier irrigué. Agric. Méditerr. 119: 30-35.
- Sabate J., Hook D.G. 1996. Almonds, walnuts, and serum lipids. En: G.A. Spilder (ed.): Lipids in human nutrition. CRC Press, Boca Raton, Fla. pp. 137-144.
- Sakai A., Laracher W. 1987. Frost survival of plants. Response and adaptation to freezing stress. Springer, New York.
- Sakai A., Yoshida S. 1968. The role of sugar and related compounds in variation of freezing resistance. Cryobiology 5: 160-174.
- Sánchez A.M., Oliveira M.M. 2005. S-alleles in self-compatible *Prunus webbii*. Cah. Options Mediterr. 63: 147-152.
- Sánchez-Vizcaíno E., Moreno R.R. 1978. Valores del tegumento de la almendra. III World Congr. Animal Feeding, Madrid.
- Sang S., Lapsley K., Jeong W.S., Lachance P.A., Rosen R.T. 2002. Antioxidative phenolic compounds isolated from almond skins (*Prunus amygdalus* Batsch). J. Agric. Food Chem. 50: 2459-2463.
- Sansavini S., Musacchi S. 1994. Canopy architecture, training and pruning in the modern European orchards: an overview. Acta Hort. 367: 152-153.
- Santarius K.A. 1982. The mechanism of cryoprotection of biomembrane systems by carbohydrate En: P.H. Li y A. Sakai (eds.): Plant cold hardiness and freezing stress: mechanisms and crop implications. Vol. 2. Academic Press, New York. pp. 475-486.
- Sarvisé R., Socias i Company R. 2005. Variability and heritability of bud density and branching habit in almond. Acta Hort. 663: 401-404.
- SAS Institute 2000. SAS/STAT user's guide. SAS institute, Carey, NC, USA.
- Saura-Calixto F., Cañellas J. 1982. Mineral composition of almond varieties (*Prunus amygdalus*). Z. Lebensm.-Unters Forsch. 174: 129-131.
- Saura-Calixto F., Bauzá M., Martínez de Toda F., Argamentería A. 1981. Amino acids, sugars, and inorganic elements in the sweet almond. J. Agric. Food Chem. 29: 509-511.

- Saura-Calixto F., Cañellas J., García-Rosa J. 1983. Contents of detergent-extracted dietary fibres and composition of hulls, shells and teguments of almonds. *J. Agric. Food. Chem.* 31: 1255-1259.
- Saura Calixto F., Cañellas Mut J., Soler L. 1988. La almendra: composición, variedades, desarrollo y maduración. INIA, Madrid. 173 pp.
- Savé R., Peñuelas J., Marfá O., Serrano L. 1993. Changes in leaf osmotic and elastic proprieties and canopy structure of strawberries under mild water stress. *HortScience* 28: 925-927.
- Scorza R., Bassi D., Dima A., Rizzo M. 2000. Developing new peach tree growth habits for higher density plantings. *Compact Fruit Tree* 33: 19-21.
- Scossirolli R.E., Ferrari A., Haussmann G. 1963. Genetic variability for quantitative characters in alfalfa,. En: W.D. Hanson y H.F. Robinson (eds.): *Statistical genetics and plant breeding*. Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Council, Wash., D.C. pp. 597-607.
- Schirra M. 1997. Postharvest technology and utilization of almonds. *Hort. Rev.* 20: 267-292.
- Schirra M., Nieddu G. 1992. Compositional changes in developing almond kernels in relation to rootstock and water supply. *Ann. Fac. Agric. Univ. Sassari* 34: 169-175.
- Seavey S.R., Bawa K.S. 1986. Late-acting self-compatibility in angiosperms. *Bot. Rev.* 52: 195-219.
- Sedgley M. 1976. Control by the embryo sac over pollen tube growth in the style of the avocado (*Persea americana* Mill.) *New Phytol.* 77: 149-152.
- Sedgley M. 1983. Pollen tube growth in macadamia. *Scientia Hort.* 18: 333-341.
- Sedgley M. 1990. Flowering of deciduous perennial fruit crops. *Hort. Rev.* 12: 223-264.
- Sedgley M., Collins G.G. 2002. The Australian almond breeding programme. *Acta Hort.* 591. 241-244.
- Senesi E., Rizzolo A., Colombo C., Testoni A. 1996. Influence of pre-processing storage conditions on peeled almond quality. *Ital. J. Food Sci.* 8: 115-125.
- Shintani D., DellaPenna D. 1998. Elevating the vitamin E of plants through metabolic engineering. *Science* 282: 2098-2100.
- Silva C., Garcia-Mas J., Sánchez A.M., Arús P., Oliveira M.M. 2005. Looking into flowering time in almond (*Prunus dulcis* (Mill) D.A.Webb): the candidate gene approach. *Theor. Appl. Genet.* 110: 959-968.
- Simidchev T. 1976. Pollen production of some trees. *Int. Symp. Melliferous Flora, Budapest, September 1976. Apimondia*, pp. 85-90.
- Simons R.K., Doll C.C. 1976. Morphological and anatomical response of apples to a late spring frost in relation to stage of fruit development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101: 315-320.
- Skinner D.Z., Bauchan G.R., Auricht G., Hughes S. 1999. A method for the efficient management and utilization of large germplasm collections. *Crop Sci.* 123: 604-611.
- Smillie R.M., Hetherington S.E. 1990. Screening for stress tolerance by chlorophyll fluorescence. En: Y. Hashimoto, H. Nonami, P.J. Kärmer y Strain (eds.): *Measurement technique in plant science*. Academic, San Diego. pp 229-261.
- Smith C.W., Creelman R.A. 2001. Vitamin E concentration in upland cotton seeds. *Crop Sci.* 41: 577-579.

- Snyder R.L., Connell J. 1995. Frost protection. En: W.C. Micke (ed.). 1994: Almond orchard management. Univ. Calif. Div. Agric. Sci. Publ. 3364.
- Socias i Company R. 1977. La autocompatibilidad en el almendro. Inf. Téc. Econ. Agrar. 8: 41-47.
- Socias i Company R. 1979. Aportación a las técnicas de observación de tubos polínicos. Caso del almendro. An. Inst. Nac. Invest. Agrar. Ser. Prod. Veg. 10: 233-236.
- Socias i Company R. 1983. Flower sterility in almond. Acta Hort. 139: 69-74.
- Socias i Company R. 1984. A genetic approach to the transmission of self-compatibility in almond (*Prunus amygdalus* Batsch). Options Méditerran. CIHEAM/IAMZ.84/II: 123-127.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1987. Selfcompatibility in almond: transmission and recent advances in breeding. Acta Hort. 244: 307-317.
- 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: 313-318.
- Socias i Company R. 1997. Qualitative traits in almond. Nucis. 6: 6-9.
- Socias i Company R. 1998. Fruit tree genetics at a turning point: the almond example. Theor. Appl. Genet. 96: 588-601.
- Socias i Company R. 2001a. Avances recientes en la autocompatibilidad del almendro. Inf. Téc. Econ. Agrar. 97V: 215-225.
- Socias i Company R. 2001b. Differential growth of almond pollen tubes in three environments. Options Méditerran. 56: 59-64.
- Socias i Company R. 2002. Latest advances in almond self-compatibility. Acta Hort. 591: 205-211.
- Socias i Company R., Alonso J.M. 2004. Cross-incompatibility of 'Ferragnès' and 'Ferralise' and pollination efficiency for self-compatibility transmission in almond. Euphytica 135: 333-338.
- Socias i Company R., Felipe, A.J. 1977. Heritability of self compatibility in almond. III Coll. GREEMPA, Bari, 3-7 octubre 1977, 181-182.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1979. La polinización del almendro. Hoja Téc. INIA 31, 31 pp.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1987a. Pollen tube growth and fruit set in a self-compatible almond selection. HortScience 22: 113-116.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1987b. 'Aylés', 'Guara', and 'Moncayo' almonds. HortScience 22: 961-962.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1992a. Self-compatibility and autogamy in 'Guara' almond. J. Hort. Sci. 67: 313-317.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1992b. Almond: a diverse germplasm. HortScience. 27: 717-718.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1993. La autogamia. Un nuevo reto en almendro. HortoFruticultura 4: 59-62.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1994. Cross-incompatibility of 'Ferragnès' and 'Ferralise': implication for self-compatibility transmission in almond. Acta Hort. 373: 153-156.

- Socias i Company R., Felipe A.J. 1994. Flower quality and fruit quality in almond: conflicting objectives? En: H. Schmidt y M. Kellerhals (eds): Progress in Temperate Fruit Breeding. Kluwer Academic Publishers. pp. 245-248.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 1999. 'Blanquerna', 'Cambra' y 'Felisia'. Tres nuevos cultivares autógamos de almendro. Inf. Técn. Econ. Agrar. 95V:111-117.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 2004. Proceso de selección de los almendros F-4-10 y F-4-12. Actas Hort. 43: 18-23.
- Socias i Company R., Felipe A.J. 2006. 'Belona' y 'Soleta', dos nuevos cultivares de al almendro. Inf. Técn. Econ. Agrar. (en prensa).
- Socias i Company R., Kester D.E., Bradley M.V. 1976. Effects of temperature and genotype on pollen tube growth of some self-compatible and self-incompatible almond cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 490-493.
- Socias i Company R., Espada J.L., Felipe A.J. 1994. The effect of orchard design on almond fruit set. HortTechnology 4: 377-379.
- Socias i Company R., Felipe A.J., Gómez Aparisi J., García J.E., Dicenta F. 1998. The ideotype concept in almond. Acta Hort. 470: 51-56.
- Socias i Company R., Felipe A.J., Gómez Aparaisi J. 1999a. A major gene for flowering time in almond. Plant Breed. 118: 443-448.
- Socias i Company R., Felipe A.J., Gómez Aparaisi J. 1999b. Genetics of late blooming in almond. Acta Hort. 484: 261-265.
- Socias i Company R., Felipe A.J., Gómez Aparisi J. 2003. Almond bloom in a changing climate. J. Amer. Pomol. Soc. 57: 89-92.
- Socias i Company R., Alonso J.M., Gómez Aparisi J. 2004. Fruit set and productivity in almond as related to self-compatibility, flower morphology and bud density. J. Hort. Sci Biotechnol. 79: 754-758.
- Socias i Company R., Gómez Aparisi J., Alonso J.M. 2005a. Year and enclosure effects on fruit set in an autogamous almond. Scientia Hort. 104. 369-377.
- Socias i Company R., Alonso J.M., Espiau M.T., Ansón J.M., Gómez Aparisi J. 2005b. Advances in retarding bloom in almond. IV Int. Symp. Pistachios and Almonds. Tehran. Iran.
- Socias i Company R., Kodad O., Alonso J.M. 2006. Mejora de la calidad en el almendro. III Congr. Mejora Vegetal. Valencia (en prensa).
- Soldatov K.I. 1976. Chemical mutagenesis in sunflower breeding. Proc. 7th Int. Sunflower Conf. Krasnodar. USSR. Int. Sunflower Assn., Vlaardingen, The Netherlands. pp. 352-357.
- Soll J., Shultz G. 1980. 2-Methyl-6-phytylquinol and 2,3-dimethyl-5-phytylquinol as precursor of tocopherol synthesis in spinach chloroplasts. Phytochemistry 19: 215-218.
- Soong Y.Y., Barlow P.J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. Food Chem. 88: 411-417.
- Souty M., André P., Breuils L., Jacquemin G. 1971. Étude sur la qualité des amandes: variabilité de quelques caractères biochimiques. Ann. Technol. Agric. 10: 121-130.

- Souty M., Raspail M., Jacquemin G., Breuils L. 1973. Étude de quelques caractères biochimiques des fruits de l'amandier. Bull. Techn. Inf. 279: 355-364.
- Souza V. de, Byrne D.H., Taylor J.F. 1998. Heritability, genetic and phenotypic correlations, and predict selection response of quantitative traits in peach. II. An analysis of several fruit traits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123: 604-611.
- Spach E. 1843. Monographia generis Amygdalus. Ann. Sci. Nat. (Paris) Ser. 2 19: 106-108.
- Sparks D., Madden G.D. 1985. Pistillate flower and fruit abortion in pecan as function of cultivar, time, and pollination. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 219-223.
- Spiegel-Roy P., Kochba J. 1974. The inheritance of bitter and double kernel characters in the almond (*Prunus amygdalus* Batsch). Z. Pflanzenzücht. 71: 319-329.
- Spiegel-Roy P., Kochba J. 1977. Inheritance of some kernel characters in the almond. III Coll. GREMPA, 3-7 Oct. 1977. Bari, Italia. pp. 117-119.
- Spiegel-Roy P., Kochba J. 1981. Inheritance of nut and kernel traits in almond (*Prunus amygdalus* Batsch). Euphytica. 30: 167-174.
- Stephensen A.G. 1981. Flower and fruit abortion: Proximate causes and ultimate functions. Annu. Rev. Ecol. Syst. 12: 253-279.
- Stösser R., Anvari V.P. 1982. On the senescence of ovules in cherries. Scientia Hort. 16: 29-30.
- Stylianidis D.K. 1977. New almond varieties created by breeding in Greece. III Coll. GREMPA. Bari, Octubre 1977. pp 140-149.
- Sung J.M., Jeng T.L. 1994. Lipid per-oxidation and peroxide-scavenging enzymes associated with accelerated ageing of peanut seed. Physiol. Plant. 91: 51-55.
- Szabó Z., Nyéki J., Szél I., Pedryc A., Szalay A. 1998. Low temperature injury in peach and nectarine cultivars. Acta Hort. 465: 339-404.
- Tabuenca M.C. 1972. Necesidades de frío invernal en almendro. An. Estac. Exper. Aula Dei. 11: 325-329.
- Tabuenca M.C., Mut M., Herrero J. 1972. Influencia de la temperatura en la época de floración del almendro. An. Estac. Exper. Aula Dei 11: 378-395.
- Tasei J.N. 1975. La pollinisation des arbres fruitiers. Arboric. Fruit. 261: 14-15.
- Thomashow M.F. 1999. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanism. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 571-599.
- Thompson G.A. 1989. Molecular changes in membrane lipids during cold stress. En J.H. Cherry (ed.): Environmental stress in plants, biochemical and physiological mechanisms. Springer Verlag, Berlin. pp. 249-259.
- Thomson J.D., Coodell K. 2001. Pollen removal and deposition by honeybee and bumblebee visitors to apple and almond flowers. J. Appl. Ecol. 38: 1032-1044.
- Tijskens L.M.M., Otma E.C., van Kooten O. 1994. Photosystem II quantum yield as measure of radical scavengers in chilling injury in cucumber fruits and bell peppers. A static, dynamic and statistical model. Planta 194: 478-486.

- Torre Grossa J.P., 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.
- Torrecillas A., Alarcón J.J., Domingo R., Planes J., Sánchez-Blanco M.C. 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. Plant Sci. 118: 135-143.
- Torrecillas A., Ruíz-Sánchez M.C., Del Amor F., León A. 1988. Seasonal variation on water relations of *Amygdalus communis* L. under drip irrigated and non irrigated conditions. Plant Soil 106: 215-220.
- Tovar M.J., Romero M.P., Alegre S., Girona J., Motilva M.J. 2002. Composition and organoleptic characteristics of oil from Arbequina olive (*Olea europaea* L.) trees under deficit irrigation. J. Sci. Food Agric. 82: 1755-1763.
- Travert S., Valeiro L., Fouraste I., Boudet A.M., Teulières C. 1997. Enrichment in specific soluble sugars of two Eucalyptus cell-suspension cultures by various treatments enhances their frost tolerance via a noncolligative mechanism. Plant Physiol. 114: 1433-1442.
- Trueman S.J., Turnbull C.G.N. 1994. Effect of cross-pollination and flower removal on fruit set in macadamia. Ann. Bot. 73: 23-32.
- Tyree M.T., Snyderman D.A., Wilmot T.R., Machado J.L. 1991. Water relations and hydraulic architecture of a tropical tree (*Schefflera morototoni*). Data, models, and a comparison with two temperate species (*Acer saccharum* and *Thuja occidentalis*). Plant Physiol. 96: 1105-1113.
- Vaknin Y., Gan-Mor S., Bechar A., Ronen B., Eisikowitch D. 2001a. Improving pollination of almond (*Amygdalus communis* L., Rosaceae) using electrostatic techniques. J. Hort. Sci. Biotechnol. 76: 208-212.
- Vaknin Y., Gan-Mor S., Bechar A., Ronen B., Eisikowitch D. 2001b. Are flowers morphologically adapted to take advantage of electrostatic forces in pollination? New Phytol. 152: 301-305.
- Urbina V., Royo Diaz J.B., Tura J.C., Mester J.D., Roca M.P., Latorre J.G., Imirizaldu M.J.L., Ortega J.F. 1998. Síntomas específicos provocados por las heladas primaverales en frutales de pepita y hueso. ENESA-MAPA, Madrid. 86 pp.
- Vargas F.J., Romero M.A. 1978. Androesterilidad en la variedad de almendro "Rof". I Congr. Int. Almendra y Avellana. Reus, Tarragona, 25-28 oct. 1976. pp. 523-525.
- Vargas F.J., Romero M.A. 1984. Considération autour la sélection précoce dans les programmes d'amélioration de variétés d'amandier. Options Méditerran. 84/II: 143-145.
- Vargas F.J., Romero M.A. 1985. Almendro: situación, avances e investigaciones en curso en el Centro Agropecuario "Mas Bové". I Congr. Español Frutos Secos, Reus. Pp. 223-244.
- 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.
- Vargas F.J., Romero M.A. 1994. "Masbovera", "Glorieta" and "Francoli", three new almond varieties from IRTA. Acta Hort. 373: 75-82.
- Vargas F. J., Romero M.A. 2001. Blooming time in almond progenies. Options Méditerran. 56: 29-34.
- Vargas F.J., Romero M.A., Rovira M., Girona J. 1984. Amélioration de l'amandier par croisement de variétés. Résultats préliminaires a Tarragone (Espagne). Options Méditerran. 84/II: 101-122.
- Vasilakakis M.D., Porlingis I.C. 1984. Self-compatibility in 'Truито' almond and the effect of temperature on selfed and crossed pollen tube growth. HortScience 19: 659-661.

- Velasco M., Schoner C., Lofgreen G.P. 1965. Composition and feeding value of almond hulls and hull-shell meal. *Calif. Agric.* 19: 12-14.
- Vezvaei A., Jackson J.F. 1996. Almond nut analysis. En: H.F. Linskens y J.F. Jackson (eds.): *Modern methods of plant analysis*. Vol. 18. Fruit analysis. Springer-Verlag, Berlin. pp. 135-148.
- Vinha A.F., Ferreres F., Silva B.M., Valentao P., Gonçalves A., Pereira J.A., Oliveira M.B., Seabra R.M., Andrade P.B. 2005. Phenolic profiles of Portuguese olive fruits (*Olea europaea* L.): influences of cultivar and geographical origin. *Food Chem.* 89: 561-568.
- Visser T. 1976. A comparison of apple and pear seedlings with references to the juvenile period. *Acta Hort.* 56: 215-224.
- Vithanage V. 1991. Effect of different pollen parents on seedless and quality of 'Ellendale' tanger. *Scientia Hort.* 48: 253-260.
- Walker M.A., Smith D.M., Pauls K., McKersie P. 1990. A chlorophyll fluorescence-screening test to evaluate chilling tolerance in tomato. *HortScience* 25: 334-339.
- Wallace H.M., Lee L.S. 1999. Pollen source, fruit set and xenia in mandarins. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 74: 82-86.
- Wample R.I., Bary A. 1992. Harvest date as a factor in carbohydrate storage and cold hardiness of Cabernet Sauvignon grapevines. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 32-36.
- Weinbum, S.A. 1985. Role of natural self-pollination in self-fruitfulness in almond. *Scientia Hort.* 27: 295-302.
- Welkerling E.M.L., Onorati I.A. 1956. Pistilos mal formados en flores de damasco: su posible origen genético. *Rev. Invest. Agrar. Buenos Aires* 10: 107-111.
- Werner D.J., Mowrey B.D., Chaparro J.X. 1988. Variability in flower bud number among peach and nectarine clones. *HortScience* 23: 578-580.
- Wilson F.B. 2001. Apical control of branch growth and angle in woody plants. *Amer. J. Bot.* 87: 601-607.
- Williams R.R. 1965. The effect of summer nitrogen application on the quality of apple blossom. *J. Hort. Sci.* 40: 31-41.
- Williams R.R. 1970. Techniques used in fruit set experiments. En: R.R. Williams y D. Wilson: *Towards regulated cropping*. Grower Books, London. pp 57-61
- Wu B., Quilot B., Kervella J., Génard M., Li S. 2003. Analysis of genotypic variation of sugar and acid contents in peaches and nectarines through the Principle Component Analysis. *Euphytica* 132: 375-384.
- Wyatt R. 1983. Pollinator-plant interactions and the evolution of breeding systems. En: L. Real (ed.): *Pollination biology*. Academic Press: Orlando, Florida. pp. 57-61.
- Yelenosky G., Guy C.L. 1989. Freezing tolerance of citrus, spinach and petunia leaf tissue. *Plant Physiol.* 89: 444-451.
- Yu L., Zhou K. 2004. Antioxidant properties of bran extracts from 'Platte' wheat grown at different locations. *Food. Chem.* 311-316.

- Zacheo G., Cappello A.R., Perrone L.M., Gnoni G.V. 1998. Analysis of factors influencing lipid oxidation of almond seeds during accelerated ageing. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 31: 6-9.
- Zacheo G., Cappello M.S., Gallo A., Santino A., Cappello A.R. 2000. Changes associated with postharvest ageing in almond seeds. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 33: 415-423.
- Zhang S.L., Hiratsuka S. 2000. Cultivars and developmental differences in S-protein concentration and self-compatibility in the Japanese pear. *HortScience* 35: 917-920.
- Zhou M.X., Holmes M.G., Robards K., Helliwell S. 1998. Fatty acid composition of lipids of Australian oats. *J. Cereal Sci.* 28: 311-319.
- Zubr J., Matthäus B. 2002. Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Ind. Crops Prod.* 15: 155-162.

Direcciones Webb:

- Almond Board. 2003. Almond Board of California. Almond Almanac 2003. (http://www.almondboard.com/docs/current_almond.pdf).
- FAO, 2004. FAOSTAT AGRICULTURA. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (http://www.fao.org/waicent/portal/statistics_es.asp).
- FAO, 2005. FAOSTAT AGRICULTURA. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (http://www.fao.org/waicent/portal/statistics_es.asp).
- MAPA. 2004. Anuario de estadística agroalimentaria del ministerio de agricultura Pesca y Alimentación. (<http://www.mapa.es/estadistica>).

Capítulo 16. Anejo

Anejo I

Cuadro I.1. Evaluación subjetiva de algunos caracteres morfológicos del árbol.

Selección	Porte	Vigor	Ramificación	Color de la flor
G-1-1	Semi-abierto	Intermedio	Débil	Blanco
G-1-23	Semi-abierto	Intermedio	Intermedio	Blanco
G-1-27	Semi-erecto	Intermedio	Intermedio	Blanco
G-1-38	Semi-abierto	Fuerte	Intermedio	Blanco
G-1-41	Semi-abierto	Débil	Intermedio	Blanco
G-1-44	Semi-erecto	Intermedio	Débil	Blanco a rosado
G-1-58	Semi-erecto	Intermedio	Débil	Blanco
G-1-61	Semi-erecto	Fuerte	Intermedio	Blanco
G-1-64	Semi-abierto	Débil	Débil	Blanco
G-1-67	Semi-abierto	Fuerte	Denso	Blanco a rosado
G-2-1	Semi-abierto	Fuerte	Denso	Blanco
G-2-11	Erecto	Intermedio	Denso	Blanco
G-2-2	Erecto	Fuerte	Denso	Blanco
G-2-22	Erecto	Débil	Débil	Blanco
G-2-23	Caedizo	Fuerte	Intermedio	Blanco
G-2-25	Semi-Erecto	Intermedio	Intermedio	Blanco
G-2-26	Semi-abierto	Débil	Denso	Blanco
G-2-27	Semi-Erecto	Fuerte	Denso	Blanco
G-2-7	Abierto	Intermedio	Denso	Blanco a rosado
G-3-12	Abierto	Intermedio	Denso	Blanco
G-3-24	Semi-abierto	Intermedio	Intermedio	Blanco
G-3-28	Abierto	Débil	Muy Denso	Blanco
G-3-3	Semi-abierto	Intermedio	Denso	Blanco
G-3-4	Erecto	Fuerte	Débil	Blanco a rosado
G-3-5	Semi-abierto	Fuerte	Débil	Blanco
G-3-65	Abierto	Intermedio	Débil	Blanco
G-3-8	Semi-Erecto	Fuerte	Muy Denso	Blanco a rosado
G-4-10	Semi-Erecto	Fuerte	Muy Denso	Blanco
G-4-3	Semi-abierto	Intermedio	Intermedio	Blanco a rosado
G-5-18	Caedizo	Débil	Denso	Blanco
G-5-2	Erecto	Débil	Poca	Blanco
G-5-25	Semi-erecto	Intermedio	Débil	Blanco
G-6-14	Abierto	Intermedio	Muy Denso	Blanco
G-6-24	Abierto	Débil	Débil	Blanco a rosado
G-6-39	Abierto	Débil	Intermedio	Blanco
H-1-108	Caedizo	Intermedio	Débil	Rosado
H-1-81	Semi-erecto	Intermedio	Débil	Blanco
H-2-111	Semi-erecto	Intermedio	Débil	Rosado
H-2-22	Semi-abierto	Fuerte	Intermedio	Blanco a rosado
H-3-37	Semi-abierto	Fuerte	Débil	Rosado
H-3-39	Semi-erecto	Fuerte	Denso	Rosado
I-1-95	Semi-abierto	Intermedio	Denso	Blanco
I-2-12	Semi-erecto	Fuerte	Intermedio	Blanco a rosado
I-3-10	Semi-abierto	Débil	Denso	Blanco
I-3-11	Erecto	Intermedio	Denso	Blanco a rosado
I-3-27	Semi-abierto	Intermedio	Denso	Blanco
I-3-65	Semi-abierto	Fuerte	Denso	Blanco
I-3-67	Semi-abierto	Intermedio	Denso	Blanco a rosado

Cuadro I.2 . Evolución semestral de la sección del trunco de los genotipos estudiados.

Selección	Sección del trunco en cm ²				
	20-Ene-2003	20-Jul-2003	20-Ene-2004	20-Jul-2004	20-Ene-2005
G-1-1	41,01	46,48	54,91	65,26	83,21
G-1-23	33,67	38,76	49,48	62,70	71,32
G-1-27	23,00	30,58	41,13	51,62	64,95
G-1-38	38,06	45,97	60,19	77,91	97,69
G-1-41	36,91	41,38	52,03	63,00	81,84
G-1-44	33,67	39,58	48,43	60,92	76,82
G-1-58	33,12	37,59	48,69	61,36	88,79
G-1-61	37,13	44,58	52,43	67,55	80,99
G-1-64	34,10	40,53	52,03	63,74	77,64
G-1-67	53,25	68,10	84,93	107,98	141,29
G-2-1	39,70	51,08	61,36	73,80	83,04
G-2-11	37,48	41,25	55,89	70,29	82,01
G-2-2	41,50	49,88	59,90	79,98	92,37
G-2-22	41,01	47,26	56,18	73,23	93,82
G-2-23	58,17	74,04	88,44	112,92	146,26
G-2-25	43,83	49,88	59,75	76,49	95,10
G-2-26	42,23	46,61	60,78	75,18	96,02
G-2-27	46,48	55,75	71,16	88,79	112,33
G-2-7	23,46	28,53	34,77	49,48	67,25
G-3-12	49,08	53,94	68,17	85,98	104,69
G-3-24	47,00	53,39	66,32	88,08	103,73
G-3-28	32,37	37,36	45,85	57,24	82,52
G-3-3	36,22	41,62	51,22	62,18	76,65
G-3-4	40,17	47,78	58,31	72,03	97,32
G-3-5	42,47	52,71	62,70	73,56	101,63
G-3-65	30,89	34,32	47,65	61,07	84,07
G-3-8	52,03	61,81	72,27	90,75	109,16
G-4-10	46,61	55,19	67,55	89,06	112,13
G-4-3	25,88	30,37	42,47	58,02	76,00
G-5-18	33,45	38,29	48,30	64,35	84,07
G-5-2	33,99	35,77	46,36	58,60	72,27
G-5-25	34,55	37,13	47,13	60,05	70,84
G-6-14	39,94	44,96	60,05	80,32	100,49
G-6-24	31,31	36,22	46,61	57,59	76,16
G-6-39	20,63	23,91	32,69	39,94	52,30
H-1-108	26,08	29,75	38,29	51,35	67,09
H-1-81	29,75	35,66	45,59	55,75	71,32
H-2-111	35,60	43,46	56,74	76,00	85,98
H-2-22	56,03	66,63	83,04	109,16	125,02
H-3-37	44,33	54,36	67,25	91,83	107,59
H-3-39	56,74	67,25	89,68	107,79	138,40
I-1-95	32,80	40,17	45,21	55,19	66,48
I-2-12	51,89	58,17	66,94	82,01	98,99
I-3-10	39,46	44,83	67,86	61,96	74,53
I-3-11	34,77	41,50	54,77	63,30	82,35
I-3-27	38,76	45,97	53,12	65,10	82,35
I-3-65	54,22	62,40	79,31	95,28	112,72
I-3-67	40,17	46,48	58,17	73,88	86,68

Cuadro I.3. Las variables métricas de la hoja.

Selección	z LH	LRH	LP	R	LTH	SH		Os	Ob
						2001	2002		
G-1-1	95,14	29,15	22,38	0,31	117,52	2778,49	2677,82	37,00	100,48
G-1-23	92,62	34,24	22,63	0,37	115,25	3173,86	2877,52	41,88	116,44
G-1-27	82,65	33,54	19,02	0,40	101,68	2799,78	2588,55	48,52	114,44
G-1-38	79,55	28,84	19,92	0,36	99,48	2299,39	2254,63	53,12	124,24
G-1-41	81,76	26,12	16,62	0,32	98,38	2136,54	2091,81	43,04	100,40
G-1-44	84,78	28,40	16,82	0,34	101,60	2408,17	2236,85	41,80	103,56
G-1-58	79,04	27,08	16,84	0,34	95,88	2153,66	2213,10	42,16	119,56
G-1-61	84,54	28,00	18,85	0,33	103,38	2366,35	2476,03	50,68	113,04
G-1-64	79,24	26,83	18,75	0,34	97,98	2135,92	2069,23	40,24	96,68
G-1-67	91,88	25,86	18,49	0,28	110,37	2377,31	2275,86	34,12	96,84
G-2-1	84,14	26,26	16,26	0,31	100,41	2217,02	2092,93	41,80	101,24
G-2-11	80,04	28,71	20,54	0,36	100,58	2306,82	2235,00	45,56	125,68
G-2-2	91,51	28,58	17,64	0,32	109,16	2605,67	2748,34	49,18	110,52
G-2-22	84,45	28,22	16,36	0,33	100,82	2401,27	2327,49	45,24	118,76
G-2-23	83,39	25,68	20,58	0,31	103,97	2145,34	2090,10	39,04	92,12
G-2-25	88,22	30,25	18,54	0,34	106,77	2675,34	2374,86	43,96	115,08
G-2-26	81,56	29,07	17,00	0,36	98,56	2379,92	2090,29	43,68	121,04
G-2-27	86,86	30,37	17,74	0,35	104,60	2642,57	2637,84	41,20	106,04
G-2-7	78,28	30,95	19,06	0,40	97,35	2434,43	2290,42	49,72	113,56
G-3-12	86,68	28,04	21,01	0,32	107,68	2432,21	2399,96	47,52	116,08
G-3-24	83,16	27,86	20,22	0,34	103,38	2320,29	2091,18	42,32	108,04
G-3-28	92,41	29,96	18,74	0,32	111,15	2774,96	2603,77	40,04	92,56
G-3-3	94,65	32,95	20,38	0,35	115,03	3116,32	2818,04	41,24	100,20
G-3-4	83,65	27,70	16,08	0,33	99,73	2321,24	2225,69	41,32	105,84
G-3-5	83,40	28,64	18,21	0,34	101,61	2388,95	2388,30	40,60	103,64
G-3-65	76,48	27,37	16,85	0,36	93,33	2092,31	1927,77	45,28	114,44
G-3-8	90,28	29,00	19,66	0,32	109,94	2623,23	2575,80	40,12	98,00
G-4-10	90,21	29,07	18,32	0,32	108,52	2625,49	2473,04	36,76	99,88
G-4-3	81,65	28,27	18,83	0,35	100,48	2310,41	2123,01	42,00	93,48
G-5-18	65,78	24,33	12,51	0,38	78,29	1610,94	1638,16	41,20	103,28
G-5-2	84,09	32,14	18,99	0,38	103,08	2708,59	2658,41	48,52	115,96
G-5-25	86,75	31,43	20,68	0,36	107,42	2729,84	2705,70	42,52	103,44
G-6-14	78,43	27,51	16,82	0,35	95,25	2160,69	2139,45	40,52	97,92
G-6-24	79,96	28,47	17,54	0,36	97,51	2277,08	2016,03	44,08	104,20
G-6-39	83,41	26,30	18,04	0,32	101,46	2196,02	2193,19	41,52	103,00
H-1-108	82,42	26,84	17,46	0,33	99,88	2220,27	2272,81	48,32	98,08
H-1-81	83,98	27,43	19,76	0,33	103,73	2305,31	2293,16	39,60	90,52
H-2-111	77,96	27,97	13,30	0,36	91,26	2191,89	2058,15	40,68	99,00
H-2-22	65,33	16,47	12,16	0,25	77,48	1080,05	1138,53	34,60	76,64
H-3-37	83,12	24,90	15,82	0,30	98,94	2077,77	2025,39	42,20	101,76
H-3-39	79,34	25,28	13,45	0,32	92,79	2006,68	1896,99	42,44	105,96
I-1-95	73,42	25,86	17,61	0,35	91,04	1904,70	1874,92	38,88	101,04
I-2-12	94,09	25,12	19,22	0,27	113,31	2364,66	2355,61	44,48	106,68
I-3-10	81,57	24,96	19,54	0,31	101,12	2033,60	1959,39	37,00	92,20
I-3-11	87,97	27,88	18,95	44,20	108,48	2458,74	2407,04	40,00	102,00
I-3-27	82,01	27,87	17,67	0,34	99,68	2279,24	2166,47	42,64	103,72
I-3-65	81,07	24,74	16,20	0,31	97,27	2009,92	1950,70	42,28	104,56
I-3-67	72,52	23,47	14,85	0,32	87,37	1703,23	1621,57	36,56	91,08

^z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4.

Cuadro I.4. Variables métricas de la flor consideradas en este estudio.

Selección	DC	DCa	LP	NE	A1		A2		A3	
	2002	2002	2002	2002	2002	2003	2002	2003	2002	2003
G-1-1	32	14	14,4	28,2	11,4	9,78	9,64	10,3	7,06	6,18
G-1-23	39,6	16,4	17	33,6	11,6	12,3	12,2	11,7	7,8	7,72
G-1-27	34,4	15,2	15	28,4	10,1	10,7	12,7	13,5	7,76	8,64
G-1-38	36	16,4	16,4	34	10,9	10,8	9,54	7,92	7,62	6,76
G-1-41	41,2	17,2	17,4	35,2	12	12,3	13	11,9	8,46	8,34
G-1-44	38,8	16	16,2	30,4	11,7	11,6	12,2	12,1	8,04	8,23
G-1-58	43,2	18,8	18,4	36,2	11,3	10,9	11	10,6	9,24	9,02
G-1-61	40,8	16,4	17,6	29,2	11,4	12,4	13,1	13,7	7,88	7,78
G-1-64	36	16	17,2	32,8	11,9	11,2	11,3	11	7,72	7,58
G-1-67	40,8	19,2	17,8	32,2	10,9	11,4	13,1	11,9	7,42	6,14
G-2-1	39,2	15,6	16,4	31	12	12,1	10,7	10,3	8	8,08
G-2-11	34,8	19,8	15,2	36,4	12,1	12,9	13,8	13	9,64	8,18
G-2-2	45,6	17,2	20,4	32,8	13,6	13,3	14	14,3	8,92	8,86
G-2-22	34,8	15,6	15,6	32,8	9,96	11,3	11	10,7	7,26	8,16
G-2-23	43	18,6	18,4	34,2	12,8	11,7	14,5	13,5	8,84	7,94
G-2-25	30,4	15,2	14	29	10,2	9,1	11,9	11,9	6,64	6,74
G-2-26	38,8	18,4	16	32,8	10,2	10,3	12,8	13,7	7,6	7,7
G-2-27	42	18	18,4	34,4	11,6	12,7	14,1	13,8	9,54	8,94
G-2-7	46,8	21,6	20,4	37	13,8	14,2	14,2	14,4	8,24	8,2
G-3-12	37,6	17,6	16,4	34	12,1	12,7	12,9	12,6	7,74	8,62
G-3-24	41,8	18,8	17,6	34,4	12,3	11,8	14,6	13,6	7,44	7,78
G-3-28	44,8	17,6	20,2	34	13,4	13,6	14,2	14,2	8,84	8,26
G-3-3	41,2	16,8	17,2	32,2	12,4	11,9	10,9	11,5	7,66	8,2
G-3-4	39,6	16	16,8	29,6	12,9	12,8	11,7	11,9	8,5	8,12
G-3-5	34,8	15,6	15,2	27,2	14,1	13,9	15,8	15,5	10,6	10
G-3-65	30,6	13,5	13,4	32,2	13,5	12,3	11,6	9,96	9,18	8,26
G-3-8	34,8	18,6	17	29,6	15,3	14,3	16	15	8,4	7,8
G-4-10	45,2	18	20,2	29,4	13,2	12,5	14,7	13,7	8,46	8,32
G-4-3	38,8	15,6	17,8	35,6	11,3	11,2	11,2	11,7	7,84	8,22
G-5-18	40,4	17,2	17,8	33,4	14	13,8	15	15,3	7,94	7,24
G-5-25	32,8	14	14,6	31,8	11,8	11,5	10,9	11,8	7,78	7,64
G-6-14	41,2	17,6	16,2	31,6	12,8	12,7	13,3	13,6	9,4	8,44
G-6-24	34,8	16,4	16,2	30	9,8	10,3	13	13,1	8,68	7,02
G-6-39	38	16	17,4	33,2	11,7	10,2	15,3	14,1	8,12	7,84
H-3-37	50	20	20,8	36	14,1	14,9	12,9	11,8	8,04	7,7
H-3-39	49,6	18	21,2	33	11,7	11,3	12,2	12,7	7,56	7,6
I-1-95	39,2	18,4	16,4	30,4	13	12,8	13,2	13,3	7,88	8
I-2-12	47,6	20,4	20,2	33,4	13,7	14,1	14,2	14,4	7,82	7,84
I-3-10	38	18,8	15,8	33	14	13	15,6	14,5	7,66	8,02
I-3-11	39,6	17	18,8	32	15,1	14,6	14,1	13,9	7,84	8,08
I-3-27	32,4	14,8	14,6	27,2	11,3	10,6	11	10,7	7,16	7,7
I-3-65	40,8	17,6	18	33,4	13,1	12,7	11,1	10,8	8,06	8,62
I-3-67	43,2	18,2	16,8	31,6	13,8	13,8	12,7	10,8	8,44	7,76

^z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 3.4.

Anejo II

Cuadro II.1. Datos de densidad floral y sus componentes del año 2003.

Genotipo	Sec	LRP	LRA	LTR	IR	Dra	Dsp	NYT	DFsp	DF	DFS	CF
G-1-1	1,00	71,50	60,13	144,88	0,33	0,06	0,26	153,75	4,87	1,07	1,55	157,29
G-1-23	2,49	79,50	46,13	139,13	0,24	0,07	0,17	98,50	4,62	0,67	0,93	40,21
G-1-27	1,10	89,75	44,88	138,88	0,10	0,05	0,05	65,00	2,71	0,46	1,45	64,65
G-1-38	1,32	57,00	84,25	143,75	0,21	0,13	0,08	59,00	5,17	0,41	0,80	50,23
G-1-41	0,81	75,00	28,13	108,50	0,15	0,04	0,11	54,75	5,35	0,51	0,94	70,32
G-1-44	0,89	77,25	42,25	122,25	0,11	0,06	0,05	48,75	5,17	0,39	0,92	60,53
G-1-58	1,16	77,00	56,75	143,88	0,21	0,08	0,14	87,25	3,76	0,60	0,88	80,15
G-1-61	1,02	90,25	41,25	141,88	0,19	0,06	0,13	85,50	3,52	0,60	1,22	83,82
G-1-64	1,24	82,25	60,00	160,00	0,35	0,09	0,26	128,50	3,95	0,78	1,00	111,54
G-1-67	1,12	78,88	78,63	165,38	0,20	0,08	0,12	91,00	4,08	0,54	1,13	82,69
G-2-1	0,94	73,63	81,75	163,63	0,23	0,09	0,13	92,00	3,52	0,57	0,80	104,65
G-2-11	1,19	80,00	67,38	159,00	0,29	0,12	0,18	115,75	5,82	0,72	1,17	98,22
G-2-2	1,28	74,38	44,75	123,50	0,14	0,07	0,07	58,75	3,26	0,50	1,03	51,99
G-2-22	1,36	70,00	63,53	141,78	0,27	0,14	0,14	108,75	4,84	0,76	1,13	87,62
G-2-23	1,91	90,00	81,63	181,25	0,24	0,12	0,12	76,50	2,74	0,42	0,63	41,30
G-2-25	0,88	96,50	25,25	126,13	0,10	0,04	0,06	36,50	5,42	0,28	0,73	40,42
G-2-26	1,48	94,50	28,63	136,63	0,21	0,05	0,16	71,00	3,60	0,53	0,73	49,87
G-2-27	1,93	106,50	79,23	193,73	0,14	0,08	0,06	79,25	2,27	0,40	0,75	40,19
G-2-7	1,38	72,50	87,00	165,00	0,22	0,14	0,09	82,25	3,87	0,44	0,82	57,62
G-3-12	1,08	75,50	33,25	114,63	0,22	0,10	0,12	54,00	4,61	0,47	0,66	51,68
G-3-24	2,00	75,50	90,88	173,63	0,22	0,09	0,13	38,75	2,89	0,28	0,30	28,84
G-3-28	1,21	60,75	95,13	159,88	0,24	0,15	0,08	85,75	2,89	0,53	0,78	70,99
G-3-3	1,01	79,00	59,25	144,25	0,17	0,10	0,08	78,75	4,24	0,57	1,10	85,71
G-3-4	1,17	95,50	75,63	182,63	0,25	0,12	0,13	115,75	3,08	0,63	1,06	100,48
G-3-5	1,50	75,38	43,63	136,75	0,38	0,10	0,28	146,25	4,60	1,04	1,43	119,37
G-3-65	0,72	71,25	79,00	162,50	0,35	0,13	0,22	117,50	5,31	0,73	0,76	168,77
G-3-8	0,89	79,25	39,50	131,75	0,30	0,08	0,23	117,50	3,80	0,90	1,76	132,74
G-4-10	1,13	75,75	63,13	144,75	0,25	0,12	0,12	85,75	4,98	0,60	0,94	75,92
G-4-3	1,47	72,00	102,88	183,13	0,26	0,13	0,13	116,00	4,25	0,64	0,91	80,52
G-5-18	1,14	59,63	52,13	121,88	0,31	0,09	0,22	60,25	3,70	0,57	0,67	63,40
G-5-2	1,18	78,13	36,38	120,63	0,14	0,06	0,08	47,00	2,25	0,40	0,92	55,83
G-5-25	1,42	78,50	73,38	161,88	0,23	0,09	0,14	110,75	4,66	0,64	0,83	82,45
G-6-14	1,26	91,75	43,63	143,38	0,28	0,17	0,11	93,75	3,99	0,64	1,46	73,87
G-6-24	0,90	68,50	49,13	125,88	0,26	0,10	0,17	62,50	4,59	0,51	0,56	83,27
G-6-39	1,47	62,88	91,38	163,38	0,34	0,19	0,16	114,25	4,02	0,71	0,90	76,82
H-1-108	0,82	66,00	38,00	108,75	0,14	0,05	0,09	50,75	4,71	0,47	0,86	42,31
H-1-81	0,78	79,25	28,63	113,38	0,11	0,05	0,06	31,00	2,86	0,28	0,44	40,68
H-2-111	0,50	64,75	37,25	103,25	0,07	0,06	0,01	2,75	0,50	0,03	0,06	55,83
H-2-22	0,63	76,38	71,75	150,50	0,12	0,08	0,04	23,50	2,25	0,16	0,43	5,97
H-3-37	0,80	42,23	71,90	118,88	0,29	0,19	0,10	42,75	2,56	0,38	0,49	69,25
H-3-39	0,70	65,38	70,63	142,63	0,26	0,11	0,14	62,00	3,95	0,45	0,75	87,85
I-1-95	0,83	61,25	46,75	118,25	0,37	0,11	0,26	128,50	6,36	1,08	1,27	161,38
I-2-12	1,91	84,25	41,00	148,25	0,38	0,08	0,31	91,75	4,26	0,62	0,54	56,45
I-3-10	1,00	62,25	61,63	135,25	0,36	0,11	0,26	52,75	2,51	0,39	0,26	62,88
I-3-11	1,54	93,00	50,88	154,13	0,24	0,07	0,16	80,00	4,16	0,53	0,78	52,95
I-3-27	0,98	87,00	48,88	145,13	0,24	0,06	0,18	88,00	5,84	0,64	0,92	92,68
I-3-65	0,90	84,25	69,13	158,63	0,14	0,07	0,07	35,25	3,31	0,23	0,46	44,25
I-3-67	0,59	67,25	30,75	113,13	0,34	0,07	0,27	80,50	3,69	0,70	0,76	141,80
A-10-6	1,04	78,25	49,13	155,63	0,35	0,09	0,26	83,25	2,03	0,62	0,45	75,62
Bertina	0,93	62,50	14,90	98,28	0,33	0,08	0,27	145,50	6,12	1,52	1,85	160,85
D,L	0,82	76,50	165,00	252,00	0,28	0,20	0,08	100,50	2,06	0,39	0,47	126,10
Guara	1,03	64,50	42,13	122,50	0,35	0,09	0,26	120,00	3,73	0,98	1,70	115,01
Felisia	0,91	53,25	47,75	109,75	0,27	0,14	0,13	86,50	3,46	0,79	1,24	108,47
Ferragnes	0,80	76,50	1,25	98,88	0,30	0,00	0,30	58,25	2,47	0,58	0,10	77,92
Marcona	0,84	79,75	91,00	187,88	0,30	0,12	0,19	128,25	3,22	0,79	1,32	201,10
Moncayo	0,69	65,25	57,13	136,38	0,31	0,12	0,19	139,75	4,89	1,00	1,57	201,05

^z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 4.1.

Cuadro II.2. Datos de densidad floral y sus componentes del año 2004

Genotipo	Sec	LRP	LRA	LRT	IR	Dra	Dsp	NYT	DFsp	DFS	DF	CF
G-1-1	2,31	93,75	123,00	235,38	0,33	0,14	0,19	128,50	4,00	0,43	0,54	56,87
G-1-23	2,60	92,25	142,63	247,13	0,29	0,16	0,13	139,00	3,96	0,86	0,64	62,51
G-1-27	1,10	84,25	52,88	145,38	0,15	0,05	0,11	42,50	3,55	0,45	0,32	38,21
G-1-38	1,99	79,50	210,63	314,63	0,59	0,27	0,31	305,00	4,27	1,06	0,97	165,52
G-1-41	1,57	97,00	47,00	157,38	0,19	0,05	0,14	50,00	2,64	0,31	0,29	29,87
G-1-44	1,14	88,50	102,25	197,75	0,18	0,08	0,10	44,50	3,75	0,28	0,22	37,74
G-1-58	1,90	87,75	254,50	355,25	0,35	0,19	0,17	109,00	3,13	0,41	0,40	75,44
G-1-61	1,47	105,75	111,63	235,75	0,30	0,10	0,20	102,00	3,29	0,38	0,43	68,02
G-1-64	1,29	81,00	161,88	256,63	0,39	0,16	0,23	133,50	4,47	0,54	0,55	104,03
G-1-67	1,73	106,75	125,13	250,25	0,28	0,10	0,18	151,50	3,90	0,70	0,62	89,34
G-2-1	1,98	95,50	185,25	285,13	0,15	0,10	0,05	61,25	2,69	0,27	0,22	31,14
G-2-11	2,48	87,00	147,50	260,50	0,40	0,11	0,29	193,25	4,45	0,51	0,71	79,03
G-2-2	2,87	102,00	173,63	286,25	0,22	0,12	0,10	134,75	4,12	0,52	0,45	46,09
G-2-22	2,37	70,00	249,63	336,25	0,56	0,30	0,26	219,25	3,98	0,61	0,65	94,18
G-2-23	1,78	82,63	81,25	189,13	0,43	0,13	0,30	167,25	3,99	0,93	0,88	103,79
G-2-25	1,72	105,50	106,38	228,88	0,26	0,08	0,18	125,25	3,26	0,60	0,53	73,04
G-2-26	1,79	107,50	30,50	149,75	0,13	0,04	0,09	11,75	0,68	0,12	0,08	7,32
G-2-27	2,03	107,00	168,75	285,13	0,22	0,10	0,12	127,25	4,75	0,57	0,48	67,14
G-2-7	2,22	82,50	274,88	373,88	0,48	0,25	0,23	168,25	4,26	0,36	0,45	72,01
G-3-12	1,90	79,63	57,25	145,88	0,20	0,07	0,13	31,00	2,89	0,10	0,20	16,17
G-3-24	1,15	69,50	38,13	116,00	0,20	0,07	0,13	38,75	2,54	0,61	0,32	33,46
G-3-28	1,38	73,00	87,00	167,25	0,24	0,12	0,12	47,50	3,28	0,26	0,27	32,29
G-3-3	1,36	99,50	104,13	217,88	0,26	0,08	0,18	85,25	3,46	0,39	0,42	66,97
G-3-4	1,97	107,50	102,63	228,88	0,31	0,19	0,22	157,50	3,35	0,97	0,72	90,41
G-3-5	2,04	97,25	104,00	223,88	0,36	0,12	0,24	135,25	4,29	0,37	0,61	66,42
G-3-65	1,56	94,75	85,25	192,25	0,25	0,09	0,16	85,75	3,16	0,62	0,46	74,24
G-3-8	1,08	87,50	61,75	165,38	0,32	0,08	0,24	86,25	4,09	0,31	0,50	82,38
G-4-10	2,46	75,25	125,13	220,63	0,43	0,15	0,28	101,50	2,85	0,45	0,50	45,12
G-4-3	1,80	92,50	202,75	309,63	0,38	0,14	0,24	169,75	5,70	0,45	0,57	90,61
G-5-18	1,69	96,63	150,00	264,38	0,36	0,13	0,24	145,75	4,38	0,57	0,62	98,11
G-5-2	2,00	98,25	271,88	384,50	0,31	0,16	0,15	114,25	2,09	0,33	0,32	64,09
G-5-25	2,89	103,13	160,00	279,25	0,24	0,09	0,15	92,50	2,05	0,32	0,34	33,99
G-6-14	1,49	88,50	97,88	195,00	0,20	0,08	0,12	65,50	4,26	0,36	0,31	40,21
G-6-24	1,39	76,50	68,00	163,00	0,29	0,10	0,19	68,50	2,09	0,45	0,41	49,01
G-6-39	1,64	73,63	134,25	219,38	0,34	0,19	0,15	58,75	1,74	0,27	0,25	33,93
H-1-108	1,28	80,38	82,38	174,38	0,29	0,12	0,17	49,50	3,20	0,18	0,28	41,29
H-1-81	1,82	93,50	272,50	373,88	0,25	0,17	0,08	34,25	1,84	0,13	0,11	21,15
H-2-111	0,55	81,00	64,25	151,50	0,19	0,11	0,08	50,25	2,96	0,45	0,31	89,58
H-2-22	0,99	89,75	116,88	217,38	0,24	0,12	0,12	94,25	3,72	0,60	0,46	90,88
H-3-37	1,07	64,88	114,75	194,13	0,34	0,13	0,20	74,75	2,57	0,34	0,39	74,50
H-3-39	1,39	89,75	129,75	232,75	0,30	0,14	0,16	133,75	3,89	1,12	0,64	94,67
I-1-95	1,39	85,00	62,63	165,63	0,36	0,08	0,28	107,50	4,39	0,47	0,60	79,01
I-2-12	2,40	87,50	78,25	190,75	0,48	0,11	0,37	142,00	4,72	0,32	0,74	60,11
I-3-10	1,56	93,00	191,88	311,25	0,47	0,20	0,28	151,50	2,96	0,31	0,46	95,51
I-3-11	2,18	104,75	95,38	222,13	0,37	0,11	0,26	130,50	3,38	0,60	0,57	59,37
I-3-27	1,47	95,50	28,50	137,00	0,27	0,05	0,22	74,00	4,50	0,87	0,55	50,52
I-3-65	0,97	70,63	109,13	200,88	0,49	0,19	0,30	62,25	2,24	0,16	0,31	71,22
I-3-67	0,83	78,00	56,25	155,00	0,42	0,07	0,35	114,25	3,90	0,59	0,76	136,12
A-10-6	1,16	83,25	66,75	174,38	0,28	0,12	0,15	46,00	0,99	0,28	0,25	39,42
Guara	1,42	89,00	60,00	181,25	0,31	0,10	0,21	103,25	2,00	0,68	0,55	78,02
Bertina	0,66	90,25	44,13	142,75	0,19	0,04	0,16	51,50	4,69	0,60	0,39	77,50
DL	1,61	105,25	395,75	510,75	0,34	0,28	0,06	204,75	2,15	0,49	0,42	146,22
Felisía	0,95	62,50	80,13	163,50	0,47	0,21	0,26	103,75	2,25	0,70	0,63	118,30
Ferragnès	1,24	103,25	37,38	176,00	0,29	0,04	0,25	53,25	1,18	0,51	0,31	42,71
Marcona	1,23	84,50	62,75	169,50	0,38	0,08	0,30	154,75	3,70	1,15	0,92	133,10
Moncayo	1,09	85,75	120,75	221,50	0,38	0,11	0,27	117,75	5,70	0,28	0,53	107,83

^z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 4.1.

Cuadro II.3. Datos de densidad floral y sus componentes del año 2005.

Genotipo	Sec	LRP	LRA	LTR	IR	Dra	Dsp	NYT	DFsp	DFRS	DF	CF
G-1-1	4,65	112,00	216,88	347,75	0,29	0,14	0,15	242,00	6,39	0,51	0,70	56,71
G-1-23	4,40	100,95	184,43	305,88	0,29	0,13	0,16	162,75	4,01	0,65	0,57	39,58
G-1-27	1,76	92,25	128,63	234,75	0,25	0,08	0,17	120,00	4,39	0,44	0,52	77,53
G-1-38	3,27	89,50	281,88	422,50	0,70	0,28	0,43	374,75	5,35	0,68	0,88	126,96
G-1-41	2,33	116,00	77,13	222,13	0,33	0,08	0,25	195,50	3,51	1,33	0,87	90,88
G-1-44	3,40	127,00	263,13	412,50	0,29	0,10	0,19	180,00	3,79	0,33	0,44	56,20
G-1-58	4,16	110,25	323,38	478,50	0,49	0,20	0,29	365,00	5,60	0,64	0,80	109,42
G-1-61	2,71	115,75	255,13	395,75	0,35	0,17	0,18	286,00	4,85	0,77	0,73	105,00
G-1-64	2,93	106,00	271,00	407,00	0,46	0,17	0,29	319,00	4,70	0,67	0,78	112,57
G-1-67	3,77	136,00	239,38	409,75	0,34	0,12	0,22	247,00	4,17	0,50	0,61	65,82
G-2-1	3,15	96,50	243,25	351,50	0,25	0,12	0,12	192,75	3,09	0,63	0,52	63,82
G-2-11	3,44	93,00	330,25	469,25	0,58	0,22	0,36	338,25	4,52	0,52	0,68	94,83
G-2-2	5,92	123,75	363,38	517,00	0,39	0,18	0,22	250,50	5,03	0,33	0,53	49,91
G-2-22	4,32	106,25	510,00	636,75	0,43	0,28	0,15	325,00	4,64	0,51	0,51	82,41
G-2-23	3,46	96,75	236,38	370,50	0,60	0,17	0,43	316,25	4,57	0,51	0,82	90,05
G-2-25	3,75	115,25	213,88	374,50	0,41	0,16	0,24	231,50	3,73	0,58	0,62	67,77
G-2-26	3,37	94,50	125,50	247,50	0,39	0,13	0,26	198,50	4,39	0,81	0,82	61,25
G-2-27	5,57	128,50	360,13	509,00	0,29	0,13	0,16	245,25	4,18	0,48	0,49	43,21
G-2-7	5,32	92,50	325,38	455,00	0,56	0,20	0,36	355,00	4,56	0,60	0,78	63,12
G-3-12	4,84	124,25	143,00	298,75	0,41	0,09	0,32	181,50	3,53	0,43	0,70	38,10
G-3-24	2,69	88,50	72,88	208,50	0,55	0,08	0,47	216,75	3,99	0,59	1,06	81,05
G-3-28	3,31	95,25	207,25	326,25	0,38	0,15	0,23	214,50	4,10	0,60	0,66	64,79
G-3-3	3,55	134,00	337,00	496,25	0,32	0,15	0,17	268,00	4,68	0,55	0,55	74,87
G-3-4	3,41	131,00	346,13	518,00	0,44	0,21	0,24	397,00	4,10	0,76	0,79	120,70
G-3-5	4,61	122,50	273,13	439,00	0,47	0,17	0,30	284,00	3,88	0,60	0,68	64,20
G-3-65	2,39	108,75	253,38	389,75	0,51	0,14	0,37	340,75	4,56	0,62	0,88	170,71
G-3-8	3,33	96,25	220,00	360,25	0,61	0,19	0,42	337,50	4,47	0,83	0,94	106,18
G-4-10	3,49	88,50	103,38	233,00	0,52	0,11	0,41	257,00	4,82	0,73	1,09	74,05
G-4-3	3,61	103,50	246,00	374,00	0,44	0,20	0,24	279,50	4,57	0,67	0,75	81,28
G-5-18	3,45	100,75	191,50	329,50	0,46	0,15	0,31	287,50	4,96	0,72	0,88	84,56
G-5-2	4,21	106,00	255,50	382,00	0,32	0,16	0,16	176,25	4,04	0,43	0,47	48,59
G-5-25	4,81	119,75	255,25	404,25	0,36	0,12	0,23	210,75	4,22	0,39	0,53	45,26
G-6-14	4,85	125,00	259,13	415,00	0,36	0,12	0,24	278,00	4,70	0,56	0,71	58,40
G-6-24	3,41	103,75	154,38	308,25	0,53	0,11	0,42	264,00	4,16	0,49	0,83	76,51
G-6-39	2,99	95,00	238,13	384,00	0,67	0,22	0,45	394,25	4,72	0,74	1,01	131,37
H-1-108	2,10	93,25	72,88	182,75	0,23	0,05	0,17	99,00	4,64	0,41	0,53	50,14
H-1-81	1,46	91,00	134,88	241,25	0,24	0,11	0,13	77,25	4,08	0,22	0,33	58,54
H-2-111	2,05	102,75	158,38	281,00	0,32	0,15	0,18	132,25	2,54	0,44	0,40	56,34
H-2-22	2,79	114,00	228,50	361,50	0,33	0,14	0,20	201,75	3,25	0,68	0,61	75,20
H-3-37	2,40	101,00	320,13	452,75	0,48	0,26	0,22	279,00	4,19	0,56	0,60	110,69
H-3-39	3,49	110,50	375,38	535,50	0,59	0,23	0,36	427,25	5,03	0,64	0,83	123,71
I-1-95	3,46	97,25	206,13	349,50	0,65	0,13	0,52	416,00	5,32	0,74	1,18	144,10
I-2-12	3,92	126,50	117,63	316,00	0,57	0,04	0,53	371,25	4,75	0,57	1,22	112,93
I-3-10	3,38	102,25	318,88	458,50	0,55	0,17	0,39	315,50	4,29	0,53	0,82	95,51
I-3-11	5,55	129,50	403,00	568,75	0,40	0,16	0,24	373,75	4,15	0,61	0,66	77,46
I-3-27	3,79	107,75	196,00	365,50	0,64	0,11	0,53	401,25	5,07	0,53	1,15	109,68
I-3-65	2,37	88,00	254,38	390,75	0,77	0,20	0,57	286,75	3,74	0,35	0,70	128,44
I-3-67	1,39	87,75	184,50	300,75	0,45	0,16	0,30	157,00	3,76	0,42	0,58	116,08
A-10-6	1,92	96,25	109,38	252,50	0,46	0,10	0,36	198,00	4,13	0,65	0,82	100,36
Bertina	1,76	89,50	66,75	197,25	0,46	0,10	0,36	245,50	4,69	1,41	1,22	143,39
DL	2,71	99,00	542,50	676,75	0,73	0,52	0,21	435,25	3,48	0,67	0,64	194,13
Guara	1,77	83,25	145,25	263,25	0,53	0,26	0,27	332,50	5,66	1,56	1,29	192,71
Felesia	1,48	91,00	270,00	376,00	0,40	0,28	0,12	247,00	3,58	0,82	0,68	170,48
Ferragnes	1,81	108,50	50,38	244,75	0,57	0,10	0,47	224,25	3,52	0,73	0,91	126,65
Marcona	1,98	82,75	263,75	392,50	0,70	0,32	0,38	420,75	5,03	0,97	1,06	223,60
Moncayo	2,37	114,25	94,00	237,75	0,31	0,09	0,22	154,00	3,57	0,83	0,66	67,94

^z Abreviaturas correspondientes en el cuadro 4.1.

Anejos III

Cuadro III.1 . Evolución de la floración en el año 2002.

Selección	F-5%	F-25%	F-50%	F-90%	G
G-1-1	16-Mar	19-Mar	21-Mar	24-Mar	27-Mar
G-1-23	13-Mar	15-Mar	18-Mar	22-Mar	25-Mar
G-1-27	17-Mar	19-Mar	24-Mar	27-Mar	29-Mar
G-1-38	28-Feb	2-Mar	6-Mar	8-Mar	11-Mar
G-1-41	15-Mar	17-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar
G-1-44	15-Mar	18-Mar	20-Mar	22-Mar	25-Mar
G-1-58	2-Mar	5-Mar	8-Mar	10-Mar	13-Mar
G-1-61	13-Mar	15-Mar	17-Mar	19-Mar	21-Mar
G-1-64	11-Mar	13-Mar	16-Mar	18-Mar	21-Mar
G-1-67	27-Feb	2-Mar	5-Mar	9-Mar	11-Mar
G-2-1	11-Mar	13-Mar	16-Mar	19-Mar	21-Mar
G-2-11	24-Feb	27-Feb	1-Mar	5-Mar	8-Mar
G-2-2	11-Mar	13-Mar	16-Mar	20-Mar	23-Mar
G-2-22	8-Mar	11-Mar	15-Mar	17-Mar	20-Mar
G-2-23	24-Feb	27-Feb	4-Mar	7-Mar	10-Mar
G-2-25	13-Mar	15-Mar	17-Mar	19-Mar	21-Mar
G-2-26	27-Feb	2-Mar	7-Mar	10-Mar	13-Mar
G-2-27	14-Mar	16-Mar	19-Mar	21-Mar	25-Mar
G-2-7	27-Feb	1-Mar	4-Mar	7-Mar	11-Mar
G-3-12	5-Mar	8-Mar	10-Mar	12-Mar	15-Mar
G-3-24	22-Feb	24-Feb	1-Mar	5-Mar	8-Mar
G-3-28	14-Mar	17-Mar	19-Mar	24-Mar	26-Mar
G-3-3	15-Mar	17-Mar	19-Mar	21-Mar	25-Mar
G-3-4	13-Mar	15-Mar	17-Mar	19-Mar	22-Mar
G-3-5	11-Mar	13-Mar	15-Mar	18-Mar	21-Mar
G-3-65	27-Feb	1-Mar	6-Mar	8-Mar	11-Mar
G-3-8	11-Mar	13-Mar	16-Mar	19-Mar	21-Mar
G-4-10	14-Mar	16-Mar	19-Mar	23-Mar	26-Mar
G-4-3	8-Mar	11-Mar	15-Mar	17-Mar	20-Mar
G-5-18	27-Feb	1-Mar	5-Mar	10-Mar	13-Mar
G-5-25	13-Mar	15-Mar	17-Mar	19-Mar	21-Mar
G-6-14	15-Mar	17-Mar	21-Mar	24-Mar	26-Mar
G-6-24	2-Mar	4-Mar	7-Mar	12-Mar	15-Mar
G-6-39	2-Mar	4-Mar	8-Mar	10-Mar	12-Mar
H-1-108	26-Feb	1-Mar	3-Mar	5-Mar	9-Mar
H-1-81	4-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	13-Mar
H-2-111	22-Feb	24-Feb	27-Feb	1-Mar	4-Mar
H-3-37	22-Feb	24-Feb	26-Feb	1-Mar	3-Mar
H-3-39	20-Feb	22-Feb	26-Feb	1-Mar	4-Mar
I-1-95	20-Feb	22-Feb	28-Feb	4-Mar	9-Mar
I-2-12	22-Feb	24-Feb	2-Mar	6-Mar	9-Mar
I-3-10	1-Mar	3-Mar	6-Mar	9-Mar	11-Mar
I-3-11	11-Mar	13-Mar	15-Mar	17-Mar	19-Mar
I-3-27	14-Mar	16-Mar	19-Mar	21-Mar	24-Mar
I-3-65	28-Feb	3-Mar	7-Mar	9-Mar	11-Mar
I-3-67	26-Feb	2-Mar	5-Mar	8-Mar	11-Mar

Cuadro III.2. Evolución de la floración en el año 2003.

Selección	F-5%	F-25%	F-50%	F-90%	G
G-1-1	20-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar	28-Mar
G-1-23	22-Mar	24-Mar	26-Mar	28-Mar	30-Mar
G-1-27	27-Mar	29-Mar	31-Mar	2-Abr	3-Abr
G-1-38	6-Mar	8-Mar	10-Mar	12-Mar	14-Mar
G-1-41	18-Mar	20-Mar	22-Mar	24-Mar	27-Mar
G-1-44	21-Mar	23-Mar	25-Mar	27-Mar	30-Mar
G-1-58	8-Mar	10-Mar	11-Mar	12-Mar	14-Mar
G-1-61	20-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar	29-Mar
G-1-64	16-Mar	18-Mar	20-Mar	22-Mar	25-Mar
G-1-67	1-Mar	3-Mar	5-Mar	7-Mar	9-Mar
G-2-1	15-Mar	17-Mar	19-Mar	22-Mar	24-Mar
G-2-11	4-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	11-Mar
G-2-2	17-Mar	19-Mar	20-Mar	22-Mar	24-Mar
G-2-22	17-Mar	19-Mar	20-Mar	22-Mar	25-Mar
G-2-23	4-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	12-Mar
G-2-25	24-Mar	26-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-2-26	4-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	11-Mar
G-2-27	15-Mar	17-Mar	19-Mar	22-Mar	25-Mar
G-2-7	2-Mar	4-Mar	6-Mar	10-Mar	11-Mar
G-3-12	10-Mar	12-Mar	13-Mar	15-Mar	19-Mar
G-3-24	4-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	11-Mar
G-3-28	20-Mar	22-Mar	24-Mar	27-Mar	30-Mar
G-3-3	17-Mar	19-Mar	22-Mar	25-Mar	27-Mar
G-3-4	17-Mar	19-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar
G-3-5	17-Mar	19-Mar	20-Mar	23-Mar	26-Mar
G-3-65	5-Mar	28-Mar	10-Mar	11-Mar	12-Mar
G-3-8	17-Mar	19-Mar	23-Mar	26-Mar	28-Mar
G-4-10	20-Mar	22-Mar	25-Mar	27-Mar	29-Mar
G-4-3	18-Mar	20-Mar	22-Mar	24-Mar	27-Mar
G-5-18	2-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	11-Mar
G-5-2	24-Mar	26-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-5-25	20-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar	28-Mar
G-6-14	20-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar	29-Mar
G-6-24	2-Mar	4-Mar	6-Mar	8-Mar	11-Mar
G-6-39	6-Mar	8-Mar	10-Mar	11-Mar	13-Mar
H-1-108	26-Feb	1-Mar	4-Mar	8-Mar	10-Mar
H-1-81	26-Feb	2-Mar	4-Mar	8-Mar	11-Mar
H-2-111	23-Feb	24-Feb	26-Feb	1-Mar	4-Mar
H-2-22	24-Feb	26-Feb	28-Feb	2-Mar	5-Mar
H-3-37	26-Feb	28-Feb	2-Mar	4-Mar	6-Mar
H-3-39	26-Feb	28-Feb	2-Mar	4-Mar	6-Mar
I-1-95	4-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	12-Mar
I-2-12	4-Mar	6-Mar	8-Mar	10-Mar	13-Mar
I-3-10	6-Mar	8-Mar	10-Mar	12-Mar	14-Mar
I-3-11	17-Mar	19-Mar	20-Mar	22-Mar	25-Mar
I-3-27	18-Mar	20-Mar	22-Mar	24-Mar	27-Mar
I-3-65	6-Mar	8-Mar	10-Mar	12-Mar	14-Mar
I-3-67	1-Mar	3-Mar	5-Mar	8-Mar	10-Mar

Cuadro III.3 . Evolución de la floración en el año 2004.

Selección	F-5%	F-25%	F-50%	F-90%	G
G-1-1	22-Mar	24-Mar	26-Mar	29-Mar	31-Mar
G-1-23	19-Mar	20-Mar	22-Mar	25-Mar	29-Mar
G-1-27	31-Mar	2-Abr	4-Abr	6-Abr	8-Mar
G-1-38	27-Feb	1-Mar	5-Mar	7-Mar	9-Mar
G-1-41	21-Mar	23-Mar	26-Mar	29-Mar	31-Mar
G-1-44	24-Mar	26-Mar	28-Mar	31-Mar	2-Abr
G-1-58	5-Mar	7-Mar	10-Mar	11-Mar	12-Mar
G-1-61	19-Mar	20-Mar	22-Mar	25-Mar	28-Mar
G-1-64	18-Mar	20-Mar	21-Mar	23-Mar	26-Mar
G-1-67	5-Mar	7-Mar	10-Mar	12-Mar	16-Mar
G-2-1	18-Mar	19-Mar	20-Mar	22-Mar	25-Mar
G-2-11	21-Feb	24-Feb	27-Feb	1-Mar	5-Mar
G-2-2	20-Mar	21-Mar	24-Mar	25-Mar	29-Mar
G-2-22	19-Mar	20-Mar	21-Mar	24-Mar	29-Mar
G-2-23	5-Mar	7-Mar	9-Mar	12-Mar	15-Mar
G-2-25	29-Mar	31-Mar	2-Abr	6-Abr	8-Abr
G-2-26	25-Feb	28-Feb	3-Mar	5-Mar	10-Mar
G-2-27	19-Mar	20-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar
G-2-7	20-Feb	23-Feb	26-Feb	1-Mar	5-Mar
G-3-12	15-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar	23-Mar
G-3-24	27-Feb	3-Mar	5-Mar	7-Mar	11-Mar
G-3-28	22-Mar	24-Mar	27-Mar	30-Mar	1-Abr
G-3-3	20-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar	29-Mar
G-3-4	19-Mar	21-Mar	22-Mar	25-Mar	27-Mar
G-3-5	18-Mar	19-Mar	21-Mar	22-Mar	24-Mar
G-3-65	27-Feb	1-Mar	5-Mar	7-Mar	10-Mar
G-3-8	20-Mar	22-Mar	23-Mar	25-Mar	27-Mar
G-4-10	22-Mar	24-Mar	26-Mar	29-Mar	1-Abr
G-4-3	18-Mar	20-Mar	22-Mar	24-Mar	28-Mar
G-5-18	22-Feb	27-Feb	1-Mar	5-Mar	9-Mar
G-5-2	22-Mar	24-Mar	29-Mar	31-Mar	2-Abr
G-5-25	22-Mar	25-Mar	29-Mar	31-Mar	1-Abr
G-6-14	22-Mar	24-Mar	26-Mar	29-Mar	31-Mar
G-6-24	24-Feb	27-Feb	1-Mar	5-Mar	7-Mar
G-6-39	22-Feb	24-Feb	27-Feb	1-Mar	6-Mar
H-1-108	22-Feb	25-Feb	2-Mar	8-Mar	14-Mar
H-1-81	17-Feb	20-Feb	22-Feb	27-Feb	4-Mar
H-2-111	15-Feb	17-Feb	19-Feb	23-Feb	27-Feb
H-2-22	19-Feb	23-Feb	27-Feb	3-Mar	5-Mar
H-3-37	14-Feb	16-Feb	18-Feb	20-Feb	24-Feb
H-3-39	12-Feb	16-Feb	17-Feb	19-Feb	23-Feb
I-1-95	27-Feb	3-Mar	5-Mar	7-Mar	10-Mar
I-2-12	22-Feb	27-Feb	1-Mar	3-Mar	5-Mar
I-3-10	1-Mar	5-Mar	7-Mar	10-Mar	12-Mar
I-3-11	17-Mar	19-Mar	21-Mar	23-Mar	24-Mar
I-3-27	21-Mar	23-Mar	26-Mar	29-Mar	1-Abr
I-3-65	4-Mar	5-Mar	7-Mar	10-Mar	12-Mar
I-3-67	24-Feb	1-Mar	3-Mar	5-Mar	7-Mar

Cuadro III.4. Evolución de la floración en el año 2005.

Selección	5%	25%	50%	90%	Fase G
G-1-1	26-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-1-23	26-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-1-27	2-Abr	4-May	5-Abr	7-Sep	9-Abr
G-1-38	16-Mar	17-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar
G-1-41	26-Mar	27-Mar	29-Mar	31-Mar	2-Abr
G-1-44	29-Mar	30-Mar	1-Abr	3-Abr	5-Abr
G-1-58	19-Mar	20-Mar	21-Mar	22-Mar	23-Mar
G-1-61	25-Mar	26-Mar	27-Mar	29-Mar	1-Abr
G-1-64	24-Mar	25-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar
G-1-67	16-Mar	17-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar
G-2-1	24-Mar	25-Mar	27-Mar	29-Mar	31-Mar
G-2-11	15-Mar	16-Mar	18-Mar	19-Mar	20-Mar
G-2-2	28-Mar	30-Mar	31-Mar	2-Abr	3-Abr
G-2-22	26-Mar	27-Mar	29-Mar	30-Mar	1-Abr
G-2-23	16-Mar	18-Mar	19-Mar	20-Mar	21-Mar
G-2-25	30-Mar	1-Abr	2-Mar	4-Abr	5-Abr
G-2-26	16-Mar	17-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar
G-2-27	24-Mar	26-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar
G-2-7	15-Mar	16-Mar	19-Mar	20-Mar	21-Mar
G-3-12	20-Mar	21-Mar	22-Mar	24-Mar	26-Mar
G-3-24	16-Mar	18-Mar	19-Mar	20-Mar	22-Mar
G-3-28	26-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-3-3	25-Mar	26-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-3-4	26-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-3-5	25-Mar	27-Mar	29-Mar	31-Mar	2-Abr
G-3-65	17-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar	23-Mar
G-3-8	25-Mar	26-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar
G-4-10	25-Mar	26-Mar	27-Mar	29-Mar	31-Mar
G-4-3	26-Mar	27-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr
G-5-18	15-Mar	16-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar
G-5-2	29-Mar	30-Mar	1-Abr	2-Abr	4-Abr
G-5-25	27-Mar	28-Mar	29-Mar	1-Abr	3-Abr
G-6-14	28-Mar	30-Mar	1-Abr	3-Abr	5-Abr
G-6-24	16-Mar	17-Mar	18-Mar	20-Mar	22-Mar
G-6-39	16-Mar	17-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar
H-1-108	14-Mar	16-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar
H-1-81	13-Mar	14-Mar	16-Mar	19-Mar	20-Mar
H-2-111	14-Mar	16-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar
H-2-22	15-Mar	16-Mar	17-Mar	19-Mar	20-Mar
H-3-37	12-Mar	14-Mar	16-Mar	17-Mar	19-Mar
H-3-39	11-Mar	12-Mar	14-Mar	16-Mar	19-Mar
I-1-95	17-Mar	18-Mar	19-Mar	20-Mar	22-Mar
I-2-12	16-Mar	18-Mar	19-Mar	20-Mar	22-Mar
I-3-10	18-Mar	19-Mar	20-Mar	21-Mar	23-Mar
I-3-11	24-Mar	25-Mar	27-Mar	30-Mar	1-Abr
I-3-27	27-Mar	28-Mar	30-Mar	1-Abr	3-Abr
I-3-65	17-Mar	18-Mar	20-Mar	21-Mar	23-Mar
I-3-67	16-Mar	17-Mar	18-Mar	19-Mar	21-Mar

Anejo IV

Cuadro IV.1. Datos biométricos del fruto y de la pepita del año 2001-2002

Genotipo	Pf	Lf	LrF	EPF	R1	R2	R3	Tf	Dgf	of	Suf	PQ	EPQ	Pn	LP	LrP	EPN	R4	R5	R6	Tn	DgP	oN	SuP	Rdtc
G-1-1	4,0	36,2	24,5	15,5	0,7	0,4	0,6	13800,6	23,9	0,7	1803,4	3,2	4,2	0,8	24,2	14,6	5,4	0,6	0,2	0,4	1929,9	12,4	0,5	483,4	19,9
G-1-23	3,4	31,2	22,3	15,0	0,7	0,5	0,7	10465,2	21,8	0,7	1500,1	2,7	3,6	0,7	20,3	13,4	5,7	0,7	0,3	0,4	1569,5	11,5	0,6	420,7	21,2
G-1-27	2,9	27,8	23,3	15,7	0,8	0,6	0,7	10194,6	21,6	0,8	1473,6	2,1	3,3	0,8	19,1	13,0	8,7	0,7	0,5	0,7	2153,9	12,9	0,7	523,5	28,9
G-1-38	4,4	33,8	22,4	16,9	0,7	0,5	0,8	12839,1	23,3	0,7	1717,8	3,0	3,3	1,4	24,4	14,9	8,2	0,6	0,3	0,6	2988,5	14,3	0,6	649,2	31,2
G-1-41	3,0	28,5	21,2	14,9	0,7	0,5	0,7	9045,1	20,8	0,7	1359,0	2,4	3,6	0,6	19,5	12,7	5,3	0,6	0,3	0,4	1314,5	10,9	0,6	375,9	20,2
G-1-58	4,2	33,2	24,0	17,9	0,7	0,5	0,7	14228,6	24,2	0,7	1843,2	2,9	3,8	1,3	23,9	14,5	8,2	0,6	0,3	0,6	2822,2	14,1	0,6	626,5	32,0
G-1-61	4,0	32,7	23,4	15,8	0,7	0,5	0,7	12241,0	23,0	0,7	1662,0	3,0	3,5	0,9	23,1	14,1	7,0	0,6	0,3	0,5	2292,0	13,1	0,6	542,8	23,7
G-1-64	4,4	33,5	24,6	17,5	0,7	0,5	0,7	14508,5	24,3	0,7	1865,0	3,6	3,9	0,8	22,8	14,3	5,5	0,6	0,2	0,4	1787,7	12,1	0,5	462,0	19,1
G-1-67	4,3	35,9	22,7	16,8	0,6	0,5	0,7	13743,9	23,9	0,7	1798,2	3,1	3,3	1,2	25,9	13,4	7,5	0,5	0,3	0,6	2608,5	13,7	0,5	594,2	29,1
G-2-1	4,4	34,8	23,8	16,1	0,7	0,5	0,7	13410,2	23,7	0,7	1767,5	3,6	3,7	0,8	22,1	13,7	5,6	0,6	0,3	0,4	1757,0	11,9	0,5	451,8	18,7
G-2-11	3,9	33,5	22,7	17,1	0,7	0,5	0,8	13032,9	23,5	0,7	1738,5	2,7	3,6	1,2	24,9	13,5	8,3	0,5	0,3	0,6	2785,6	14,1	0,6	621,1	31,6
G-2-2	4,6	34,1	24,3	15,6	0,7	0,5	0,6	12937,2	23,5	0,7	1729,7	3,4	3,5	1,2	24,8	15,3	7,2	0,6	0,3	0,5	2734,0	13,9	0,6	612,5	25,3
G-2-22	4,3	33,8	24,4	16,8	0,7	0,5	0,7	13863,6	24,0	0,7	1810,0	3,1	3,6	1,2	26,0	14,7	7,3	0,6	0,3	0,5	2795,7	14,0	0,5	621,3	28,1
G-2-23	6,7	39,3	27,9	18,1	0,7	0,5	0,6	19923,7	27,1	0,7	2307,6	5,0	4,7	1,7	28,1	17,4	7,4	0,6	0,3	0,4	3606,0	15,3	0,5	738,4	25,8
G-2-25	5,1	34,4	24,9	16,6	0,7	0,5	0,7	14281,1	24,2	0,7	1847,5	4,0	3,7	1,2	23,6	15,5	7,5	0,7	0,3	0,5	2741,2	14,0	0,6	613,7	22,8
G-2-26	4,6	36,2	23,8	16,7	0,7	0,5	0,7	14466,2	24,3	0,7	1862,1	3,2	3,5	1,4	27,0	14,9	7,7	0,6	0,3	0,5	3076,7	14,5	0,5	662,7	30,1
G-2-27	1,5	27,2	17,9	13,1	0,7	0,5	0,7	6440,2	18,5	0,7	1083,5	0,9	2,1	0,6	19,7	10,9	6,3	0,5	0,3	0,6	1355,4	11,0	0,6	383,0	42,4
G-2-7	5,6	40,0	25,8	16,7	0,6	0,4	0,7	17301,7	25,8	0,6	2097,0	4,0	3,8	1,6	30,2	14,9	7,7	0,5	0,3	0,5	3478,6	15,1	0,5	719,3	29,1
G-3-12	3,9	35,1	24,0	16,6	0,7	0,5	0,7	14048,2	24,1	0,7	1826,8	2,6	3,6	1,3	26,6	13,9	7,3	0,5	0,3	0,5	2724,8	13,9	0,5	612,1	33,8
G-3-24	3,9	32,5	23,5	16,7	0,7	0,5	0,7	12807,7	23,4	0,7	1717,8	2,8	3,8	1,2	24,2	14,8	7,5	0,6	0,3	0,5	2696,5	13,9	0,6	607,5	30,1
G-3-28	4,9	37,0	24,5	15,5	0,7	0,4	0,6	14147,7	24,1	0,7	1833,2	3,6	3,4	1,2	26,4	14,8	6,5	0,6	0,2	0,4	2547,0	13,6	0,5	585,3	26,0
G-3-3	4,5	32,3	24,0	15,5	0,7	0,5	0,6	12121,2	22,9	0,7	1654,0	3,4	3,5	1,1	24,0	15,3	6,4	0,6	0,3	0,4	2387,3	13,3	0,6	558,5	24,9
G-3-4	5,2	34,9	26,6	16,0	0,8	0,5	0,6	14893,0	24,6	0,7	1898,6	4,0	3,8	1,2	25,4	16,9	6,5	0,7	0,3	0,4	2812,8	14,1	0,6	623,5	23,0
G-3-5	4,1	33,4	23,4	16,3	0,7	0,5	0,7	12834,2	23,4	0,7	1717,8	2,9	3,4	1,2	24,2	13,8	7,4	0,6	0,3	0,5	2467,4	13,5	0,6	572,5	29,0
G-3-65	3,6	29,5	21,8	17,0	0,7	0,6	0,8	10914,7	22,2	0,8	1545,3	2,5	3,3	1,1	21,7	13,3	8,0	0,6	0,4	0,6	2306,6	13,2	0,6	548,1	30,3
G-3-8	4,7	35,7	25,1	16,9	0,7	0,5	0,7	15163,1	24,7	0,7	1923,1	3,1	3,2	1,6	27,2	15,2	8,5	0,6	0,3	0,6	3508,2	15,2	0,6	724,3	33,4
G-4-10	4,3	34,1	24,8	16,7	0,7	0,5	0,7	14076,4	24,1	0,7	1830,0	3,3	4,1	1,0	23,6	15,4	6,1	0,7	0,3	0,4	2207,6	13,0	0,6	531,0	22,8
G-4-3	3,6	29,7	23,2	15,5	0,8	0,5	0,7	10630,0	22,0	0,7	1517,8	2,9	3,6	0,7	21,4	13,1	5,3	0,6	0,2	0,4	1516,8	11,4	0,5	410,2	21,0
G-5-18	3,8	38,7	21,2	15,2	0,5	0,4	0,7	12518,6	23,2	0,6	1692,5	2,5	2,9	1,3	29,5	12,5	7,7	0,4	0,3	0,6	2843,0	14,2	0,5	630,2	34,4
G-5-2	3,0	26,7	21,3	13,5	0,8	0,5	0,6	7717,0	19,7	0,7	1223,8	2,5	3,1	0,6	19,1	11,8	5,7	0,6	0,3	0,5	1269,3	10,8	0,6	367,7	18,7
G-5-25	4,9	36,5	25,6	15,3	0,7	0,4	0,6	14258,9	24,2	0,7	1846,3	3,7	3,4	1,2	25,4	14,9	6,5	0,6	0,3	0,4	2503,3	13,4	0,5	573,5	23,8
G-6-14	3,9	31,0	25,8	16,0	0,8	0,5	0,6	12825,1	23,4	0,8	1718,7	2,9	3,6	1,0	23,3	15,1	7,3	0,6	0,3	0,5	2546,4	13,6	0,6	585,3	26,6
G-6-24	5,4	36,5	25,9	16,5	0,7	0,5	0,6	15654,7	25,0	0,7	1965,2	3,8	3,7	1,6	27,9	16,8	7,3	0,6	0,3	0,4	3441,8	15,1	0,5	715,5	29,7
G-6-39	2,7	32,6	20,9	15,4	0,6	0,5	0,7	10562,1	21,9	0,7	1506,7	1,6	2,6	1,1	25,8	11,9	7,6	0,5	0,3	0,6	2328,1	13,2	0,5	550,6	41,5
H-1-108	5,8	34,9	25,2	18,6	0,7	0,5	0,7	16645,1	25,4	0,7	2034,3	4,4	4,5	1,4	25,2	15,5	7,7	0,6	0,3	0,5	3011,7	14,4	0,6	653,6	24,0
H-1-81	4,5	33,6	23,1	14,9	0,7	0,4	0,6	11620,3	22,6	0,7	1609,2	3,6	3,7	0,9	23,1	13,7	5,9	0,6	0,3	0,4	1901,0	12,3	0,5	478,9	19,9
H-2-111	4,5	33,4	23,3	16,5	0,7	0,5	0,7	12857,2	23,4	0,7	1721,9	3,5	4,0	1,1	22,8	14,4	7,2	0,6	0,3	0,5	2363,0	13,3	0,6	555,9	23,6
H-3-37	3,5	27,1	23,3	17,8	0,9	0,7	0,8	11270,5	22,4	0,8	1576,5	2,2	3,2	1,3	21,2	14,8	8,5	0,7	0,4	0,6	2674,5	13,9	0,7	604,4	36,5
H-3-39	4,9	28,6	24,4	17,4	0,9	0,6	0,7	12159,2	23,0	0,8	1659,8	3,8	4,1	1,1	21,8	15,7	7,4	0,7	0,3	0,5	2531,8	13,6	0,6	583,1	22,8
I-1-95	4,4	36,1	22,9	15,3	0,6	0,4	0,7	12648,4	23,3	0,6	1703,9	3,2	3,7	1,2	27,1	13,5	6,8	0,5	0,3	0,5	2509,3	13,6	0,5	579,1	27,4
I-2-12	4,6	39,5	21,5	16,5	0,5	0,4	0,8	14194,9	24,1	0,6	1833,4	3,0	3,5	1,6	30,5	13,7	8,2	0,5	0,3	0,6	3508,7	15,0	0,5	718,1	34,7
I-3-10	3,3	28,8	21,7	15,4	0,8	0,5	0,7	9613,7	21,2	0,7	1418,8	2,3	3,4	1,0	21,9	13,0	7,5	0,6	0,3	0,6	2144,4	12,9	0,6	522,1	29,5
I-3-11	4,0	33,3	22,6	15,5	0,7	0,5	0,7	11893,0	22,7	0,7	1626,9	3,1	3,6	1,0	22,8	13,2	6,6	0,6	0,3	0,5	2042,8	12,5	0,6	500,0	24,5
I-3-27	4,9	32,5	25,5	16,3	0,8	0,5	0,6	13580,4	23,8	0,7	1784,6	3,7	3,5	1,2	23,2	16,1	6,7	0,7	0,3	0,4	2509,9	13,5	0,6	577,9	24,2
I-3-65	4,9	34,9	25,4	17,6	0,7	0,5	0,7	15637,5	25,0	0,7	1962,2	3,6	4,2	1,3	25,7	15,3	6,7	0,6	0,3	0,4	2647,1	13,8	0,5	599,5	26,4
I-3-67	4,9	36,7	23,7	17,4	0,6	0,5	0,7	15223,0	24,7	0,7	1922,6	3,5	3,7	1,4	27,8	14,9	7,7	0,5	0,3	0,5	3198,2	14,7	0,5	679,4	29,3
A-10-6	3,7	29,7	21,4	16,9	0,7	0,6	0,8	10740,6	22,0	0,7	1526,6	2,7	4,0	1,0	22,1	14,0	6,9	0,6	0,3	0,5	2151,4	12,9	0,6	522,9	27,5
Bertina	4,5	33,7	23,9	15,5	0,7	0,5	0,7	12531,8	23,2	0,7	1693,4	3,0	3,6	1,4	27,2	15,4	7,6	0,6	0,3	0,5	3159,8	14,7	0,5	675,8	31,8
DLargueta	5,5	38,9	24,2	14,2	0,6	0,4	0,6	13391,1	23,7	0,6	1769,7	4,1	3,6	1,4	29,2	14,0	7,0	0,5	0,2	0,5	2868,5	14,2	0,5	633,7	25,0
Felisia	2,4	27,4	20,1	15,1	0,7	0,6	0,8	8342,3	20,3	0,7	1291,2	1,6	2,6	0,8	20,2	12,3	7,3	0,6	0,4	0,6	1807,1	12,2	0,6	465,6	34,2
Ferragnès	5,5	39,8	24,8	18,9	0,6	0,5	0,8	18688,2	26,5	0,7	2210,8	3,4	3,2	2,1	30,7	16,1	8,8	0,5	0,3	0,5	4337,8	16,3	0,5	835,4	39,2
Guara	2,5	31,4	21,2	15,0	0,																				

Cuadro VI.2. Datos biométricos del fruto y de la pepita del año 2002-2003.

Genotipo	Pf	Lf	LrF	EFP	R1	R2	R3	Tf	Dgf	Øf	Suf	PQ	EPQ	Pn	LP	LrP	EPN	R4	R5	R6	Tn	Dgp	Øp	SuP	Rdtc	PT	Rdtr
G-1-1	4,2	35,4	23,6	15,4	0,7	0,4	0,7	12875,9	23,4	0,7	1723,4	3,3	3,5	0,8	23,5	14,0	6,0	0,6	0,3	0,4	1965,9	12,5	0,5	492,1	20,9	0,111	94,7
G-1-23	3,4	29,6	21,5	15,4	0,7	0,5	0,7	9839,3	21,4	0,7	1441,1	2,6	3,0	0,8	21,7	12,2	7,7	0,6	0,4	0,6	2029,4	12,6	0,6	502,9	24,7	0,06	92,6
G-1-27	3,0	26,9	23,0	15,6	0,9	0,6	0,7	9684,5	21,3	0,8	1424,5	2,0	3,2	1,0	19,4	13,0	8,4	0,7	0,4	0,6	2123,9	12,8	0,7	518,3	33,3	0,04	93,4
G-1-38	2,8	31,7	20,6	12,8	0,7	0,4	0,6	8353,7	20,3	0,6	1292,0	3,0	2,2	1,0	24,0	13,8	7,6	0,6	0,3	0,5	2514,1	13,6	0,6	580,7	35,0	0,07	94,8
G-1-41	4,0	25,0	25,0	15,4	1,0	0,6	0,6	9701,7	21,3	0,9	1426,0	3,1	2,9	0,9	22,3	13,8	5,4	0,6	0,2	0,4	1674,6	11,8	0,5	439,9	23,8	0,05	91,7
G-1-58	4,0	33,6	23,2	16,1	0,7	0,5	0,7	12592,6	23,2	0,7	1698,6	2,6	3,1	1,4	24,8	13,2	8,1	0,5	0,3	0,6	2646,5	13,8	0,6	600,3	35,4	0,06	95,9
G-1-61	3,6	31,2	23,6	15,8	0,8	0,5	0,7	11663,8	22,7	0,7	1614,0	2,9	3,4	0,7	21,8	13,4	6,6	0,6	0,3	0,5	1939,9	12,4	0,6	487,4	21,1	0,04	94,6
G-1-64	3,7	32,3	24,2	16,8	0,7	0,5	0,7	13206,8	23,6	0,7	1751,2	2,8	3,2	0,9	22,6	14,0	5,9	0,6	0,3	0,4	1867,0	12,3	0,5	475,0	25,4	0,06	93,1
G-1-67	4,9	41,3	23,9	16,9	0,6	0,4	0,7	16734,5	25,5	0,6	2051,3	3,4	3,4	1,6	30,4	13,6	7,3	0,4	0,2	0,5	3030,4	14,5	0,5	657,3	32,6	0,05	95,5
G-2-1	4,5	34,6	24,3	16,3	0,7	0,5	0,7	13774,9	23,9	0,7	1803,4	3,5	3,9	1,0	22,6	13,7	6,2	0,6	0,3	0,5	1931,7	12,4	0,5	485,7	23,2	0,06	92,6
G-2-11	5,0	37,3	24,7	17,6	0,7	0,5	0,7	16267,5	25,3	0,7	2015,0	3,5	3,8	1,4	26,1	14,9	7,8	0,6	0,3	0,5	3035,2	14,4	0,6	657,0	29,1	0,05	95,6
G-2-2	3,9	32,4	22,2	14,4	0,7	0,4	0,7	10352,1	21,8	0,7	1491,2	2,9	2,9	1,0	22,5	13,9	6,7	0,6	0,3	0,5	2136,1	12,8	0,6	519,2	25,4	0,05	95,2
G-2-22	3,6	31,8	24,5	15,8	0,8	0,5	0,6	12338,9	23,1	0,7	1675,5	2,6	3,3	0,9	23,2	14,5	7,0	0,6	0,3	0,5	2356,6	13,3	0,6	554,3	27,4	0,07	94,6
G-2-23	7,8	42,2	29,4	18,2	0,7	0,4	0,6	22712,7	28,3	0,7	2514,1	6,0	4,6	1,8	28,6	16,9	7,1	0,6	0,2	0,4	3419,2	15,0	0,5	711,7	23,4	0,09	94,5
G-2-25	4,4	35,5	24,5	16,8	0,7	0,5	0,7	14666,7	24,4	0,7	1879,5	3,1	3,4	1,3	24,1	15,0	7,5	0,6	0,3	0,5	2703,7	13,9	0,6	607,8	29,5	0,07	94
G-2-26	2,8	29,8	23,1	16,6	0,8	0,6	0,7	11403,9	22,5	0,8	1590,5	2,0	3,2	0,9	23,0	11,9	6,3	0,5	0,3	0,5	1722,6	12,0	0,5	450,7	30,9	0,06	95,9
G-2-27	2,2	29,6	18,2	13,8	0,6	0,5	0,8	7458,8	19,5	0,7	1197,8	1,4	1,9	0,8	22,2	13,1	7,3	0,6	0,3	0,6	2125,7	12,8	0,6	518,5	36,3	0,04	93,3
G-2-7	5,0	40,0	24,6	15,5	0,6	0,4	0,6	15387,4	24,8	0,6	1937,5	3,5	3,5	1,5	30,2	14,3	7,7	0,5	0,3	0,5	3305,2	14,9	0,5	696,6	29,9	0,07	95,5
G-3-12	3,6	32,7	22,8	15,6	0,7	0,5	0,7	11689,0	22,7	0,7	1616,0	2,5	3,3	1,0	24,9	13,4	6,4	0,5	0,3	0,5	2134,6	12,9	0,5	520,1	29,0	0,06	95,6
G-3-24	5,9	39,7	27,2	18,7	0,7	0,5	0,7	20252,4	27,2	0,7	2332,0	4,3	4,6	1,5	27,1	16,2	7,4	0,6	0,3	0,5	3232,6	14,8	0,5	686,4	26,5	0,05	95,6
G-3-28	5,9	40,3	27,6	16,7	0,7	0,4	0,6	18567,4	26,4	0,7	2200,6	4,4	4,4	1,5	28,9	16,7	7,1	0,6	0,2	0,4	3426,0	15,1	0,5	713,3	26,2	0,08	93,9
G-3-3	3,7	20,8	16,4	13,3	0,8	0,6	0,8	4520,5	16,5	0,8	858,7	2,9	2,8	0,8	21,2	14,1	6,2	0,7	0,3	0,4	1865,7	12,3	0,6	474,6	21,2	0,05	95,4
G-3-4	4,7	34,9	24,2	15,3	0,7	0,4	0,6	12914,1	23,4	0,7	1727,4	3,6	3,6	1,0	24,1	15,1	6,1	0,6	0,3	0,4	2216,5	13,0	0,5	533,4	22,8	0,07	94,3
G-3-5	4,2	30,0	21,9	14,2	0,7	0,5	0,7	9350,6	21,0	0,7	1393,0	3,3	3,4	1,0	22,2	13,7	6,5	0,6	0,3	0,5	1980,1	12,5	0,6	494,5	23,1	0,05	95,7
G-3-65	4,0	32,2	23,2	15,9	0,7	0,5	0,7	11916,9	22,8	0,7	1639,0	2,8	3,4	1,2	23,0	13,5	7,2	0,6	0,3	0,5	2242,7	13,1	0,6	538,1	29,3	0,05	95,5
G-3-8	5,2	36,3	25,8	15,3	0,7	0,4	0,6	14524,6	24,3	0,7	1859,9	3,9	3,1	1,3	26,6	15,5	6,7	0,6	0,2	0,4	2762,1	14,0	0,5	617,2	25,8	0,07	95,4
G-4-10	5,2	34,6	25,9	16,9	0,7	0,5	0,7	15174,1	24,7	0,7	1922,0	4,1	3,9	1,1	23,6	15,8	5,8	0,7	0,2	0,4	2162,9	12,9	0,5	524,2	21,0	0,07	92,7
G-4-3	3,8	31,4	23,5	15,3	0,7	0,5	0,7	11328,2	22,4	0,7	1583,1	3,0	3,6	0,8	22,9	13,4	5,5	0,6	0,2	0,4	1682,2	11,9	0,5	443,0	21,8	0,07	90,7
G-5-18	4,5	41,5	22,1	15,0	0,5	0,4	0,7	13699,7	23,9	0,6	1797,0	3,1	3,0	1,4	30,7	12,9	7,2	0,4	0,2	0,6	2881,2	14,2	0,5	633,9	30,7	0,06	95,2
G-5-2	3,3	29,3	22,1	14,6	0,8	0,5	0,7	9429,5	21,1	0,7	1401,2	2,5	2,4	0,7	21,9	13,4	5,9	0,6	0,3	0,4	1749,4	12,0	0,6	455,3	22,7	0,03	93,8
G-5-25	5,2	39,9	28,2	15,0	0,7	0,4	0,5	17058,4	25,7	0,6	2075,1	3,9	3,1	1,3	26,1	15,5	6,5	0,6	0,2	0,4	2614,0	13,7	0,5	594,3	26,2	0,08	93,3
G-6-14	3,8	31,3	25,0	15,4	0,8	0,5	0,6	12153,2	22,9	0,7	1655,4	3,0	3,3	0,9	20,4	13,8	6,0	0,7	0,3	0,4	1727,0	11,9	0,6	449,3	22,9	0,07	95,4
G-6-24	4,3	36,7	25,1	15,1	0,7	0,4	0,6	14157,4	24,1	0,7	1829,7	3,1	3,1	1,2	25,0	13,9	6,1	0,6	0,2	0,4	2167,9	12,9	0,5	522,9	29,5	0,05	95,8
G-6-39	2,4	31,9	18,1	13,7	0,6	0,4	0,8	7916,8	19,9	0,6	1243,8	1,4	2,4	1,0	25,4	11,8	7,2	0,5	0,3	0,6	2152,5	12,9	0,5	523,3	40,1	0,05	94,5
H-1-108	4,4	31,9	22,9	17,9	0,7	0,6	0,8	13138,7	23,5	0,7	1745,6	3,3	3,5	1,0	22,7	12,8	7,5	0,6	0,3	0,6	2197,8	13,0	0,6	529,2	24,2	0,06	93,6
H-1-81	4,3	33,9	23,4	15,0	0,7	0,4	0,6	11914,3	22,8	0,7	1636,0	3,4	3,8	0,9	23,0	13,4	5,9	0,6	0,3	0,4	1845,8	12,2	0,5	471,3	20,0	0,06	94,8
H-2-111	4,4	25,8	19,0	13,4	0,7	0,5	0,7	6636,3	18,7	0,7	1104,0	3,5	2,6	0,9	19,8	11,5	6,8	0,6	0,3	0,6	1552,8	11,6	0,6	420,6	20,7	0,05	95,2
H-3-37	3,8	28,8	24,3	18,3	0,8	0,6	0,8	12877,9	23,4	0,8	1722,8	2,5	3,2	1,4	22,5	16,0	8,5	0,7	0,4	0,5	3058,8	14,5	0,6	661,3	36,0	0,06	95,5
H-3-39	4,5	31,1	24,9	15,2	0,8	0,5	0,6	11818,9	22,7	0,7	1627,4	3,5	3,4	1,0	23,9	14,3	5,6	0,6	0,2	0,4	1916,6	12,4	0,5	482,3	22,6	0,05	95,6
I-1-95	4,9	32,7	24,8	17,1	0,8	0,5	0,7	13921,1	24,0	0,7	1816,3	3,7	4,1	1,3	23,4	14,5	7,7	0,6	0,3	0,5	2610,5	13,7	0,6	594,8	26,1	0,07	93,7
I-2-12	5,5	45,2	25,7	16,4	0,6	0,4	0,6	19077,4	26,7	0,6	2240,4	3,8	3,9	1,7	32,5	15,1	6,8	0,5	0,2	0,4	3330,6	14,9	0,5	700,1	30,7	0,10	93,9
I-3-10	3,6	30,8	22,5	15,4	0,7	0,5	0,7	10695,0	22,0	0,7	1522,5	2,5	2,9	1,1	22,6	13,2	7,1	0,6	0,3	0,5	2111,8	12,8	0,6	516,9	30,4	0,05	95,4
I-3-11	3,5	31,5	22,7	14,2	0,7	0,4	0,6	10182,6	21,6	0,7	1473,7	2,7	3,4	0,8	21,0	13,6	6,6	0,6	0,3	0,5	1870,9	12,3	0,6	476,4	23,3	0,05	95
I-3-27	4,8	33,0	26,3	16,9	0,8	0,5	0,6	14655,0	24,5	0,7	1880,2	3,5	3,4	1,3	24,4	16,3	7,4	0,7	0,3	0,5	2942,9	14,3	0,6	643,6	27,3	0,07	94,4
I-3-65	4,9	35,9	26,1	18,5	0,7	0,5	0,7	17482,4	25,9	0,7	2108,5	3,8	4,8	1,1	26,5	15,6	6,9	0,6	0,3	0,4	2829,5	14,1	0,5	627,8	23,5	0,07	94,8
I-3-67	3,4	32,4	21,5	14,5	0,7	0,4	0,7	10155,0	21,6	0,7	1470,7	2,5	3,4	0,9	24,2	13,6	6,4	0,6	0,3	0,5	2093,2	12,8	0,5	513,1	26,6	0,08	94,4
A-10-6	3,9	28,6	21,0	16,3	0,7	0,6	0,8	9845,7	21,4	0,7	1441,7	2,9	3,6	1,0	21,7	13,3	7,6	0,6	0,3	0,6	2192,0	13,0	0,6	529,8	26,3	0,06	94,4
Bertina	7,7	38,5	28,5	17,9	0,7	0,5	0,6	19803,7	27,0	0,7	2294,0	5,8	4,1	1,9	31,3	17,1	7,4	0,5									

Cuadro IV.3. Datos biométricos del fruto y de la pepita del año 2003-2004.

Genotipo	Pf	Lf	Lrf	EPF	R1	R2	R3	TF	Dgf	Øf	SuF	FQ	EPQ	RQ	Pn	LP	LrP	ESP	R4	R5	R6	Tn	Dgp	Øp	SuP	Rdtc	PT	Rdtr
G-1-1	3,9	34,5	25,0	15,8	0,7	0,5	0,6	13697,4	23,9	0,7	1795,8	3,2	3,7	0,4	0,8	25,0	15,1	6,6	0,6	0,3	0,4	2500,5	13,6	0,5	578,4	20,1	10,048	95,3
G-1-23	3,5	30,8	21,8	15,4	0,7	0,5	0,7	10338,3	21,8	0,7	1490,3	2,7	3,4	0,5	0,8	21,4	13,2	7,1	0,6	0,3	0,5	2010,2	12,6	0,6	499,2	24,0	10,040	95,2
G-1-27	3,3	30,2	22,4	16,2	0,8	0,5	0,7	11941,1	22,8	0,8	1638,3	2,5	3,3	0,3	0,8	21,3	14,2	6,8	0,7	0,3	0,5	2052,5	12,7	0,6	506,0	23,8	10,038	95,9
G-1-38	3,1	31,7	22,0	13,4	0,7	0,4	0,6	9354,6	21,1	0,7	1393,8	2,1	2,6	0,5	1,0	25,1	13,7	8,0	0,5	0,3	0,6	2728,6	14,0	0,6	613,4	34,4	10,062	94,5
G-1-41	3,9	32,6	24,4	16,4	0,7	0,5	0,7	13086,8	23,6	0,7	1743,7	2,8	3,3	0,4	1,1	23,2	14,9	7,3	0,6	0,3	0,5	2511,7	13,6	0,6	580,3	29,3	10,057	95,1
G-1-58	4,9	34,2	26,3	20,5	0,8	0,6	0,8	18503,9	26,4	0,8	2195,8	3,1	3,8	0,5	1,8	24,9	15,5	7,6	0,6	0,3	0,5	2946,0	14,3	0,6	645,1	37,4	10,061	95,5
G-1-61	4,1	33,6	23,7	15,9	0,7	0,5	0,7	12673,9	23,3	0,7	1705,9	3,1	3,5	0,2	1,0	23,5	14,0	6,1	0,6	0,3	0,4	2006,0	12,6	0,5	498,9	24,3	10,050	95,4
G-1-64	3,7	34,1	25,7	16,3	0,8	0,5	0,6	14340,1	24,3	0,7	1851,3	2,8	3,4	0,2	1,0	24,8	15,0	5,9	0,6	0,2	0,4	2231,2	13,6	0,5	533,6	26,4	10,066	93,4
G-1-67	5,2	39,8	26,1	20,6	0,7	0,5	0,8	21390,4	27,7	0,7	2418,9	3,9	3,3	1,0	1,3	27,1	14,5	7,5	0,5	0,3	0,5	2958,3	14,3	0,5	646,8	25,4	10,059	95,8
G-2-1	5,1	36,4	25,6	17,1	0,7	0,5	0,7	15982,6	25,1	0,7	1988,5	3,3	3,9	0,4	1,2	25,5	15,7	6,7	0,6	0,3	0,4	2694,7	13,9	0,5	607,8	24,5	10,075	95,1
G-2-11	5,0	38,0	27,6	17,0	0,7	0,5	0,6	18526,9	26,4	0,7	2197,3	3,8	4,4	0,9	1,2	26,3	14,9	6,6	0,6	0,2	0,4	2573,1	13,7	0,5	589,7	23,9	10,048	95,8
G-2-2	4,1	34,2	23,7	15,0	0,7	0,4	0,6	12212,5	23,0	0,7	1663,4	3,0	3,0	0,4	1,0	24,4	15,1	7,2	0,6	0,3	0,5	2605,6	13,8	0,6	604,1	25,0	10,045	96,0
G-2-22	3,2	30,4	24,2	16,5	0,8	0,5	0,7	12209,0	23,0	0,8	1664,6	2,1	3,2	0,9	1,1	22,3	14,7	7,0	0,7	0,3	0,5	2272,2	13,1	0,6	542,2	34,8	10,048	95,4
G-2-23	8,3	42,1	32,1	20,4	0,8	0,5	0,6	27523,7	30,2	0,7	2861,6	6,7	5,6	0,8	1,6	29,0	19,3	7,3	0,7	0,2	0,4	4074,0	16,0	0,5	800,5	19,2	10,090	95,4
G-2-25	5,2	36,6	25,9	17,3	0,7	0,5	0,7	16397,4	25,4	0,7	2026,5	3,8	3,7	0,3	1,5	26,1	15,7	8,1	0,6	0,3	0,5	3310,2	14,9	0,6	697,3	28,6	10,069	95,0
G-2-26	3,0	33,1	23,7	17,0	0,7	0,5	0,7	13338,7	23,7	0,7	1765,8	1,9	3,4	0,1	1,1	24,3	13,4	7,7	0,6	0,3	0,6	2497,6	13,6	0,6	578,9	28,1	10,049	95,9
G-2-27	2,3	32,2	20,4	14,2	0,6	0,4	0,7	9335,5	21,0	0,7	1391,9	1,4	1,6	0,2	0,9	24,6	12,6	7,1	0,5	0,3	0,6	2215,9	13,0	0,5	533,3	41,4	10,057	94,6
G-2-7	4,8	41,0	28,0	17,9	0,7	0,4	0,6	20683,5	27,3	0,7	2359,0	3,2	4,5	1,0	1,6	29,7	16,2	6,6	0,5	0,2	0,4	3145,5	14,6	0,5	674,3	32,6	10,064	95,4
G-3-12	4,4	32,0	24,9	16,7	0,8	0,5	0,7	13333,3	23,7	0,7	1763,3	3,4	4,3	0,5	1,1	23,3	14,4	7,1	0,6	0,3	0,5	2385,6	13,3	0,6	559,7	24,0	10,052	94,3
G-3-24	4,9	36,0	26,8	17,8	0,7	0,5	0,7	17162,8	25,7	0,7	2086,4	3,8	4,3	0,4	1,1	24,0	16,2	7,0	0,7	0,3	0,4	2710,7	13,9	0,6	609,9	23,1	10,058	95,6
G-3-28	6,3	42,9	27,5	16,7	0,6	0,4	0,6	19931,1	27,0	0,6	2299,6	4,9	3,8	0,7	1,4	31,4	16,3	6,8	0,5	0,2	0,4	3501,2	15,1	0,5	722,6	22,7	10,099	94,3
G-3-3	4,0	31,5	24,5	15,9	0,8	0,5	0,6	12233,3	23,0	0,7	1666,9	3,0	3,3	0,8	1,0	22,8	15,3	6,6	0,7	0,3	0,4	2312,3	13,2	0,6	548,7	24,4	10,046	95,8
G-3-4	4,9	32,7	25,6	16,4	0,8	0,5	0,6	13735,6	23,9	0,7	1798,2	3,8	3,9	0,1	1,1	24,0	16,6	6,5	0,7	0,3	0,4	2587,6	13,7	0,6	589,8	22,6	10,054	95,4
G-3-5	2,9	31,2	22,6	14,7	0,7	0,5	0,7	10358,8	21,8	0,7	1492,3	1,9	2,5	0,4	1,0	23,6	14,4	7,0	0,6	0,3	0,5	2361,2	13,3	0,6	556,6	37,2	10,052	95,2
G-3-65	3,9	29,8	24,2	18,0	0,8	0,6	0,7	13013,1	23,5	0,8	1736,9	2,7	3,5	0,8	1,2	20,8	14,4	7,5	0,7	0,4	0,5	2497,6	13,1	0,6	538,9	30,7	10,048	95,6
G-3-8	5,5	36,5	27,5	17,2	0,8	0,5	0,6	17285,9	25,8	0,7	2098,0	3,8	3,4	0,5	1,8	27,2	16,5	7,8	0,6	0,3	0,5	3481,1	15,1	0,6	720,4	31,9	10,065	95,9
G-4-10	5,1	35,8	25,8	18,0	0,7	0,5	0,7	16666,3	25,5	0,7	2048,8	4,0	3,6	0,7	1,2	25,7	16,0	7,0	0,6	0,3	0,4	2909,0	14,2	0,6	639,1	22,8	10,061	95,3
G-4-3	4,4	29,3	24,2	16,5	0,8	0,6	0,7	11766,6	22,7	0,8	1622,8	3,7	3,1	0,5	0,7	22,7	14,8	7,3	0,7	0,3	0,5	2445,0	13,5	0,6	589,6	16,9	10,054	95,1
G-5-18	4,0	33,9	23,1	16,0	0,6	0,4	0,7	14465,4	24,3	0,6	1863,9	2,7	3,3	0,7	1,3	29,6	13,6	7,7	0,5	0,3	0,6	3088,2	14,5	0,5	665,4	33,7	10,070	95,7
G-5-2	3,7	32,1	24,7	15,2	0,8	0,5	0,6	12070,8	22,9	0,7	1651,1	2,9	3,1	0,7	0,8	22,1	13,9	5,6	0,6	0,3	0,4	1719,7	11,9	0,5	440,0	22,9	10,045	94,2
G-5-25	5,6	39,1	27,1	16,2	0,7	0,4	0,6	17151,1	25,8	0,7	2088,4	4,2	3,6	0,5	1,4	27,0	16,5	6,7	0,6	0,2	0,4	2961,3	14,3	0,5	647,0	25,2	10,066	95,5
G-6-14	4,0	31,7	26,2	17,5	0,8	0,6	0,7	14597,3	24,4	0,8	1874,9	3,0	3,5	0,3	1,0	22,9	14,7	6,9	0,6	0,3	0,5	2326,7	13,2	0,6	550,4	24,7	10,042	96,4
G-6-24	4,5	35,4	26,2	16,3	0,7	0,5	0,6	15173,1	24,7	0,7	1922,3	3,2	3,4	0,2	1,3	26,2	16,2	6,7	0,6	0,3	0,4	2868,6	14,2	0,5	632,7	30,5	10,068	94,9
G-6-39	2,4	31,3	21,9	15,4	0,6	0,5	0,8	9265,5	21,0	0,7	1385,4	1,5	2,2	0,8	0,9	23,8	11,8	7,4	0,5	0,3	0,6	2074,8	12,7	0,5	510,8	37,0	10,037	96,1
H-1-108	4,2	32,6	27,0	18,2	0,8	0,6	0,7	16092,5	25,2	0,8	1997,5	3,3	4,7	1,0	1,0	22,6	14,2	6,0	0,6	0,3	0,4	1926,5	12,4	0,5	485,2	23,1	10,077	94,4
H-1-81	4,4	34,3	23,9	15,3	0,7	0,4	0,6	12581,6	23,2	0,7	1697,7	3,5	3,9	0,9	1,0	22,4	13,3	5,9	0,6	0,3	0,4	1748,0	12,0	0,5	455,4	21,5	10,042	95,1
H-2-111	4,2	34,2	24,6	16,7	0,7	0,5	0,7	14180,6	24,1	0,7	1833,9	3,2	4,1	0,3	1,0	22,3	14,1	6,9	0,6	0,3	0,5	2162,3	12,9	0,6	523,9	24,9	10,059	95,4
H-3-37	3,8	30,4	24,9	19,2	0,8	0,6	0,8	14568,3	24,4	0,8	1872,4	2,5	3,3	0,2	1,3	23,1	16,7	8,3	0,7	0,4	0,5	3211,4	14,7	0,6	682,8	34,3	10,064	95,6
H-3-39	5,4	30,3	25,6	18,9	0,8	0,6	0,7	14623,6	24,4	0,8	1878,2	4,4	5,5	1,0	1,1	23,3	15,7	7,1	0,7	0,3	0,5	2610,4	13,8	0,6	595,4	19,8	10,053	95,6
I-1-95	4,5	30,5	25,1	18,0	0,8	0,6	0,7	13813,2	24,0	0,8	1808,0	3,3	4,4	0,8	1,2	22,5	15,8	8,3	0,7	0,4	0,5	2956,8	14,3	0,6	646,4	26,2	10,045	96,0
I-2-12	5,0	41,0	25,5	16,8	0,6	0,4	0,7	17702,6	26,0	0,6	2129,8	3,8	4,4	0,6	1,2	31,6	15,6	6,5	0,5	0,2	0,4	3210,8	14,7	0,5	682,3	23,3	10,065	94,6
I-3-10	4,0	29,5	24,5	16,5	0,8	0,6	0,7	11948,5	22,8	0,8	1639,2	2,9	3,7	0,8	1,1	22,8	14,5	7,1	0,6	0,3	0,5	2351,6	13,3	0,6	554,2	28,3	10,046	96,0
I-3-11	3,6	33,1	23,8	15,6	0,7	0,5	0,7	12302,3	23,1	0,7	1673,2	2,6	3,5	0,5	1,0	23,9	14,7	7,1	0,6	0,3	0,5	2501,6	13,5	0,6	577,8	28,5	10,050	95,5
I-3-27	4,4	32,7	25,5	16,9	0,8	0,5	0,7	14067,2	24,1	0,7	1829,3	3,3	3,7	0,6	1,0	23,6	16,2	6,8	0,7	0,3	0,4	2590,6	13,7	0,6	590,7	23,6	10,059	95,2
I-3-65	5,4	37,8	27,5	19,9	0,7	0,5	0,7	20643,5	27,4	0,7	2362,7	4,1	5,3	0,9	1,3	27,8	16,1	6,7	0,6	0,2	0,4	2998,8	14,4	0,5	652,9	23,5	10,064	95,2
I-3-67	4,1	37,8	25,0	15,4	0,7	0,4	0,6	14507,2	24,4	0,6	1868,6	2,9	5,2	0,9	1,2	27,5	15,8	6,9	0,6	0,2	0,4	2981,0</						