



Universidad Politécnica de Cartagena



Centro de Edafología y Biología
Aplicada de Segura

TESIS DOCTORAL

Biología Reproductiva del Albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.): Diversos Aspectos que Influyen en la Fructificación

Directores:

Dr. José Egea Caballero

Dr. Lorenzo Burgos Ortíz

Nuria Alburquerque Ferrando
Ingeniera Agrónoma
Murcia, 2001



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**

Departamento de Producción Agraria

D. Rafael Domingo Miguel, Dr. Ingeniero Agrónomo y Profesor Titular del Departamento de Producción Agraria de la Universidad Politécnica de Cartagena,
AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada: "BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL ALBARICOQUERO (*PRUNUS ARMENIACA* L.); DIVERSOS ASPECTOS QUE INFLUYEN EN LA FRUCTIFICACIÓN", realizada por la Ingeniera Agrónoma Dña. Nuria Albuquerque Ferrando en las instalaciones del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC), bajo la dirección de los Drs. JOSÉ EGEA CABALLERO Y LORENZO BURGOS ORTÍZ.

Y para que conste a los efectos oportunos, como tutor de la arriba citada, doy mi visto bueno a la mencionada memoria.

En Cartagena, a 7 de Septiembre de 2001.

Dr. Rafael Domingo Miguel



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**



**Centro de Edafología y Biología
Aplicada de Segura**

José Egea Caballero y Lorenzo Burgos Ortíz, Investigador Científico y Científico Titular del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC),

AUTORIZAN:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada “Biología reproductiva del albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.): Diversos aspectos que influyen en la fructificación”, realizada por Dña. Nuria Alburquerque Ferrando, bajo nuestra dirección y supervisión, en el Departamento de Mejora y Patología Vegetal del CEBAS, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena.

En Cartagena, a 7 de Septiembre de 2001

LOS DIRECTORES DE TESIS

Fdo.: José Egea Caballero

Fdo.: Lorenzo Burgos Ortíz



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**

(Autorización del Departamento responsable)

Jose Antonio Franco Leemhuis, Profesor Doctor del Área de Producción Vegetal y Director del Departamento de Producción Agraria,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada “Biología reproductiva del albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.): Diversos aspectos que influyen en la fructificación”, ha sido realizada por Doña Nuria Albuquerque Ferrando, bajo la dirección y supervisión de Don José Egea Caballero y Don Lorenzo Burgos Ortiz y que el Departamento ha dado su conformidad para que sea presentada ante la Comisión General de Doctorado.

En Cartagena, a 7 de Septiembre de 2001

EL DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO

Fdo.: Jose Antonio Franco Leemhuis

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han ayudado y apoyado de una u otra forma en la realización de esta memoria:

A mis directores, los Doctores José Egea Caballero y Lorenzo Burgos Ortíz, porque además de haber contribuido a mi formación científica y ayudarme a que esta Tesis viera la luz, me han mostrado su apoyo y comprensión en todo momento, tanto en el plano profesional como en el personal. Gracias.

A mis compañeros del Departamento de Mejora y Patología Vegetal del CEBAS: Olaya, Pedro, Paco, Quique, Alicia, por esos ratos de conversación que hicieron más ameno el día a día. A Federico, Jose, Manolo, Encarna, Mariano, Blanca, Cañi, Silvia, Amari, Juana, por compartir conmigo cafés y comidas en el CEBAS.

En especial quiero agradecer la valiosa ayuda de Adeli Martínez, mi "profesora" de técnicas de laboratorio, porque sin ella esta tesis no habría acabado nunca. A Pati por su labor de campo y por arreglar lo inarreglable.

A las doctoras Margaret Sedgley y Meredith Wallwork por la buena acogida y excelente trato que recibí en Adelaide (Australia), además de los conocimientos científicos que allí adquirí.

A mi tutor de tesis, el Dr. Rafael Domingo del Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Cartagena, por su constante apoyo y el buen trato recibido en todo momento.

A todos los compañeros del CEBAS que directa o indirectamente me han ayudado en el desarrollo de esta Tesis y en especial a Andrés Marín por su ayuda en la edición de la parte gráfica.

Mi reconocimiento al Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) por poner a mi disposición sus instalaciones y servicios, así como a la Fundación Séneca por concederme la beca que me ha permitido realizar este trabajo.

A mis amigos y amigas de toda la vida por los ratos tan agradables que hemos pasado juntos y por el ánimo que me han dado y me dan.

Muy especialmente a mis padres porque sin su incondicional ayuda no hubiera llegado hasta aquí, por su infinita comprensión y cariño. A mis hermanos por su apoyo en todo momento y a mis sobrinos por la alegría que me transmiten.

A mi niña, María. Ella sabe mejor que nadie como ha sido la elaboración de esta Tesis, porque lo ha vivido conmigo. Gracias por darle mucho sentido a mi vida.

Y finalmente, de forma muy especial, a mi marido, Domingo, por soportarme en los momentos más difíciles, por ser el mejor compañero en todos los sentidos y por darme constantemente ánimo para continuar. Muchas gracias por TODO.

A Domingo y María

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN | 1 |
| EL ALBARICOQUERO | 3 |
| 1. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE LA ESPECIE..... | 3 |
| 2. ORIGEN Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CULTIVO..... | 5 |
| 3. IMPORTANCIA DEL CULTIVO Y APROVECHAMIENTOS..... | 6 |
| 4. VARIEDADES CULTIVADAS..... | 9 |
| 5. DIFICULTADES PRODUCTIVAS..... | 11 |
| LA FRUCTIFICACIÓN EN FRUTALES. INFLUENCIA DE DIVERSOS FACTORES | 12 |
| 1. HUMEDAD EN EL SUELO..... | 13 |
| 1.1. Influencia sobre las yemas de flor e inducción floral..... | 13 |
| 1.2. Influencia sobre la floración..... | 13 |

| | |
|--|---------------|
| 1.3. Influencia sobre la formación y desarrollo de los gametofitos masculino y femenino... | 14 |
| 1.4. Influencia sobre la fructificación final..... | 16 |
| 1.5. Efecto sobre la producción de yemas de flor..... | 16 |
| 2. EFECTO DE LA TEMPERATURA DURANTE LA DIFERENCIACIÓN Y EL DESARROLLO DE LA FLOR..... | 18 |
| 2.1. Influencia sobre el desarrollo de yemas de flor..... | 18 |
| 2.2. Influencia sobre la floración..... | 21 |
| 2.3. Influencia sobre el estado de los gametos y la fertilidad floral..... | 22 |
| 2.4. Influencia sobre la fructificación final..... | 25 |
| 3. ESTADO DEL ÓVULO A LA APERTURA DE LA FLOR..... | 29 |
| 3.1. Influencia de la especie en la madurez del óvulo en antesis. Consecuencias sobre la fructificación..... | 29 |
| 3.2. Malformaciones del óvulo..... | 32 |
| 4. DESARROLLO DEL SACO EMBRIONARIO. PROCESO DE FERTILIZACIÓN FLORAL..... | 36 |
| 5. RELACIONES ENTRE EL MOMENTO DE LA POLINIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN..... | 40 |
| 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS..... | 45 |
| 3. MATERIAL VEGETAL..... | 51 |
| 4. EMPLAZAMIENTOS..... | 61 |
| 1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS..... | 63 |
| 2. NECESIDADES DE FRÍO..... | 64 |
| 2.1. Registro de temperaturas y frío acumulado en las distintas localizaciones..... | 64 |
| 2.2. Cálculo de las necesidades de frío para la variedad "Guillermo"..... | 69 |
| 3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO..... | 69 |
| 5. YEMAS DE FLOR..... | 71 |
| INTRODUCCIÓN..... | 73 |
| 1. DENSIDAD FLORAL..... | 73 |
| 2. CAÍDAS DE YEMAS DE FLOR..... | 74 |
| 3. EVOLUCIÓN DE LAS YEMAS DE FLOR..... | 75 |
| 4. FRUCTIFICACIÓN..... | 76 |

| | |
|--|------------|
| MATERIALES Y MÉTODOS | 77 |
| 1. DENSIDAD FLORAL | 77 |
| 2. CAÍDAS DE YEMAS DE FLOR | 77 |
| 2.1. <i>Caídas de yemas de flor de distintas variedades</i> | 77 |
| 2.2. <i>Caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ sometido a distintas condiciones de frío invernal</i> | 78 |
| 2.3. <i>Caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ sometido a distintas condiciones de riego</i> | 78 |
| 2.4. <i>Caídas de yemas de flor en brotes jóvenes y vigorosos de la variedad ‘Guillermo’</i> | 80 |
| 3. EVOLUCIÓN DE LAS YEMAS DE FLOR | 80 |
| 3.1. <i>Metodología y medidas realizadas</i> | 80 |
| 3.2. <i>Influencia del frío invernal en el desarrollo de las yemas florales de la variedad ‘Guillermo’</i> | 81 |
| 3.3. <i>Influencia del riego en el desarrollo de las yemas florales de la variedad ‘Guillermo’</i> | 82 |
| 3.4. <i>Análisis de yemas de flor necrosadas</i> | 82 |
| 3.5. <i>Análisis de yemas de flor de brotes vigorosos</i> | 82 |
| 4. FRUCTIFICACIÓN | 83 |
| 4.1. <i>Fructificación de distintas variedades</i> | 83 |
| 4.2. <i>Fructificación en la variedad ‘Guillermo’ sometida a distintas condiciones de riego</i> | 84 |
| 4.3. <i>Fructificación en brotes vigorosos de la variedad ‘Guillermo’</i> | 84 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 84 |
| 1. DENSIDAD FLORAL | 84 |
| 2. CAÍDAS DE YEMAS DE FLOR | 87 |
| 2.1. <i>Caídas de yemas de flor de distintas variedades</i> | 87 |
| 2.2. <i>Caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ sometida a distintas condiciones de frío invernal</i> | 90 |
| 2.3. <i>Caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ sometida a distintas condiciones de riego</i> | 92 |
| 2.4. <i>Caídas de yemas de flor en brotes vigorosos de ‘Guillermo’</i> | 93 |
| 3. EVOLUCIÓN DE LAS YEMAS DE FLOR | 95 |
| 3.1. <i>Influencia del frío invernal en el desarrollo de las yemas florales de la variedad ‘Guillermo’</i> | 95 |
| 3.2. <i>Influencia del riego en el desarrollo de las yemas florales de la variedad ‘Guillermo’</i> | 99 |
| 3.3. <i>Análisis de yemas de flor necrosadas</i> | 103 |
| 3.4. <i>Análisis de yemas de flor de brotes jóvenes vigorosos</i> | 106 |
| 4. FRUCTIFICACIÓN | 108 |

| | |
|--|------------|
| 4.1. Fructificación en distintas variedades | 108 |
| 4.2. Fructificación en la variedad "Guillermo" sometida a distintas condiciones de frío invernal..... | 111 |
| 4.3. Fructificación en la variedad "Guillermo" sometida a distintas condiciones de riego... | 114 |
| 4.4. Fructificación en brotes vigorosos de la variedad "Guillermo"..... | 115 |
| | |
| 6. EFECTO DE LAS TEMPERATURAS ELEVADAS PREVIAS Y POSTERIORES A LA FLORACIÓN..... | 117 |
| INTRODUCCIÓN..... | 119 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 121 |
| 1. TEMPERATURAS ELEVADAS PREVIAS A LA FLORACIÓN..... | 121 |
| 2. TEMPERATURAS ELEVADAS POSTERIORES A LA FLORACIÓN..... | 123 |
| 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS..... | 124 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 125 |
| 1. TEMPERATURAS ELEVADAS PREVIAS A LA FLORACIÓN..... | 125 |
| 1.1. Efecto de las bolsas en el incremento de la temperatura diurna..... | 125 |
| 1.2. Caídas de yemas de flor..... | 126 |
| 1.3. Fructificación..... | 130 |
| 2. TEMPERATURAS ELEVADAS POSTERIORES A LA FLORACIÓN..... | 133 |
| 2.1. Fructificación..... | 133 |
| | |
| 7. ESTADO DEL ÓVULO A LA APERTURA DE LA FLOR..... | 137 |
| INTRODUCCIÓN..... | 139 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 142 |
| 1. TOMA DE MUESTRAS Y METODOLOGÍA EMPLEADA..... | 142 |
| 2. MADUREZ DEL ÓVULO EN DISTINTAS VARIEDADES CULTIVADAS EN SANTOMERA..... | 145 |
| 3. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS DE RIEGO..... | 146 |
| 4. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTAS CONDICIONES DE FRÍO INVERNAL..... | 146 |
| 5. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A ELEVADAS TEMPERATURAS PRE-FLORALES..... | 146 |

| | |
|--|-----|
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 147 |
| <i>1. MADUREZ DEL ÓVULO EN DISTINTAS VARIEDADES CULTIVADAS EN SANTOMERA</i> | 147 |
| <i>2. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS DE RIEGO</i> | 156 |
| <i>3. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTAS CONDICIONES DE FRÍO INVERNAL</i> | 158 |
| <i>4. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A ELEVADAS TEMPERATURAS PRE-FLORALES</i> | 160 |
| | |
| 8. EVOLUCIÓN DE LA MADUREZ DEL ÓVULO Y AVANCE DEL TUBO POLÍNICO | 163 |
| INTRODUCCIÓN | 165 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 167 |
| <i>1. MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS</i> | 167 |
| <i>2. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL SACO EMBRIONARIO</i> | 168 |
| <i>3. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL TUBO POLÍNICO</i> | 168 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 170 |
| <i>1. EVOLUCIÓN DEL SACO EMBRIONARIO Y DEL TUBO POLÍNICO EN LAS VARIEDADES 'BELIANA' Y 'GUILLERMO'</i> | 170 |
| <i>2. EVOLUCIÓN DEL SACO EMBRIONARIO Y DEL TUBO POLÍNICO EN LAS VARIEDADES 'PALSTEIN' Y 'BERGERÓN'</i> | 175 |
| | |
| 9. PROCESO DE FERTILIZACIÓN | 179 |
| INTRODUCCIÓN | 181 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 182 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 185 |
| | |
| 10. MALFORMACIONES DEL SACO EMBRIONARIO | 193 |
| INTRODUCCIÓN | 195 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 197 |
| <i>1. MALFORMACIONES DE ÓVULOS EN LAS PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO</i> | 197 |
| <i>2. MALFORMACIONES EN ÓVULOS DESARROLLADOS</i> | 197 |

| | |
|--|-----|
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 199 |
| <i>1. MALFORMACIONES EN ÓVULOS DURANTE LAS PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO</i> | 199 |
| <i>2. MALFORMACIONES EN ÓVULOS DESARROLLADOS</i> | 204 |
| <i>2.1. Influencia de la polinización en la aparición de óvulos malformados</i> | 204 |
| <i>2.2. Malformaciones en óvulos desarrollados de distintas variedades observadas tras 2000 GDHs</i> | 207 |
| | |
| <i>11. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN, LA FERTILIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN</i> | 211 |
| INTRODUCCIÓN | 213 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 214 |
| <i>1. MATERIAL VEGETAL</i> | 214 |
| <i>2. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FERTILIZACIÓN</i> .. | 215 |
| <i>3. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN</i> | 215 |
| <i>4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i> | 217 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 217 |
| <i>1. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FERTILIZACIÓN</i> .. | 217 |
| <i>2. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN</i> | 219 |
| | |
| <i>12. RESUMEN Y CONCLUSIONES</i> | 225 |
| <i>RESUMEN</i> | 227 |
| <i>CONCLUSIONES</i> | 231 |
| | |
| <i>13. BIBLIOGRAFÍA</i> | 233 |
| | |
| <i>14. ANEXOS</i> | 251 |
| <i>ANEXO I: Análisis de suelos</i> | 253 |
| <i>ANEXO II: Índice de tablas</i> | 257 |
| <i>ANEXO III: Índice de figuras</i> | 263 |

EL ALBARICOQUERO

1. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA Y BOTÁNICA DE LA ESPECIE

El albaricoquero ha sido cultivado desde hace milenios en las zonas montañosas de Asia Central y China, y actualmente se extiende por los cinco continentes. Su fruto, el albaricoque, es considerado como uno de los más dulces y sabrosos.

El albaricoquero pertenece a la familia *Rosaceae*, subfamilia *Prunoidea*, género *Prunus* y subgénero *Prunophora*. El género *Prunus* es uno de los más importantes desde el punto de vista agrícola, con más de 100 especies cultivadas (Bailey y Hough, 1975). La mayoría de los albaricoqueros cultivados pertenecen a la especie *Prunus armeniaca* (Linneo), también denominada *Armeniaca vulgaris* (Lamark) (Forte, 1992).

El género *Prunus* alberga gran número de especies frutales. Dentro de la especie *P. armeniaca* existe una gran diversidad varietal. En Europa, por ejemplo, hay descritos más de 1.300 cultivares diferentes (Audergon, 1995). Por otro lado, existen censados en el mundo más de 60 bancos de germoplasma de albaricoquero, según la Comisión de Recursos Fitogenéticos de la FAO.

El árbol, de porte globoso, raíz pivotante, tronco erguido, corteza parda y hojas brillantes alternas, puede alcanzar entre 3 y 7 metros de altura. Presenta diferentes tipos de órganos vegetativos, que configuran la forma y estructura natural del árbol. Éstos pueden ser (Villarrubia y Mataix, 2000):

-Dardos: son brotaciones pequeñas, espinosas con una yema de madera en el ápice. En vegetación, el dardo está rodeado por una roseta de hojas, siendo su longitud de unos 2 a 7 cm. A partir del segundo año aparecen formaciones de yemas de flor capaces de producir fruta de buena calidad, ya que se encuentran situados en ramas gruesas por las que la circulación de savia es buena.

-Brindillas: son brotaciones cortas, delgadas y flexibles, de una longitud entre 10 y 30 cm, con entrenudos cortos y cuya posición respecto al ramo que la soporta es más o menos inclinado u horizontal. A partir del segundo año, en estas brotaciones, se forman yemas de flor y de madera, lo que favorece una rápida entrada en producción con fruta de buena calidad.

-Ramos mixtos: son brotaciones largas y vigorosas que pueden alcanzar en un solo año una longitud de entre 0,5 y 3 metros. Fructifica a partir de 2 o más años, dependiendo de su situación y vigor. Tienen capacidad de vestirse de ramos mixtos más pequeños, brindillas o dardos. En este tipo de formación se encuentran los frutos de mayor calidad y calibre.

-Ramos anticipados: son yemas de madera de ramos mixtos que evolucionan en el mismo año en que se forman. Dependiendo del vigor y su situación darán lugar a nuevos ramos mixtos, brindillas o dardos. Estos órganos tienen capacidad de formar yemas de flor dando lugar a frutos en la floración siguiente.

-Chupones: son brotaciones muy vigorosas que pueden alcanzar longitudes de más de 2 metros y un grosor de 3 a 5 cm de diámetro. Se sitúan en ramas gruesas de zonas centrales del árbol, aprovechando su verticalidad y el buen paso de savia, o bien en zonas bajas donde se haya estimulado con los cortes de poda la brotación de las yemas inferiores al corte. Producen yemas de madera y tienen tendencia a emitir anticipados.

Las flores, hermafroditas, suelen ser de color blanco o ligeramente rosadas, sésiles y solitarias o reunidas en grupos de 2 ó 3. El fruto es una drupa de forma oval dividida por un surco central, con la pulpa de color amarillo, más o menos intenso y un dulzor característico. Su longevidad supera los 50 años, aunque comercialmente su cultivo no suele superar los 25-30 años (Forte, 1992).

2. ORIGEN Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CULTIVO

El origen de la especie albaricoquero fue localizado por el botánico Vavilov en Asia en tres centros diferentes: Centro Chino, Centro de Asia Central y Centro del Cercano Oriente. Desde estos centros se ha distribuido posteriormente al resto del mundo (Bailey y Hough, 1975; Lichou y Audubert, 1989; Mehlenbacher *et al.*, 1991).

El cultivo del albaricoquero ya se conocía en China en el año 2000 a.C. De ahí se extendió a Europa, llegando a España en los siglos II al IV d.C. También fue introducido en nuestro país por los árabes hacia el siglo VII procedente del Norte de África (Forte, 1992), desarrollándose fuertemente su cultivo entre los siglos XVI y XVIII. Desde Europa fue introducido al resto de los continentes a partir del siglo XVII (Lichou y Audubert, 1989).

El origen del cultivo del albaricoquero en Murcia es distinto del de otras zonas de España. En esta Región las variedades cultivadas en la actualidad son el resultado de la confluencia de los materiales que se desarrollaron en Oriente Medio y se extendieron, unos por el Norte de África, y otros por los países de la Europa mediterránea. Esta parece ser la explicación de la peculiaridad de algunas variedades cultivadas en Murcia (Egea et al., 1988b).

A pesar de la plasticidad manifestada por la especie (se cultiva en lugares tan distintos como Sudáfrica o Canadá), se observa una gran especificidad en cuanto a la adaptación de las variedades cultivadas en cada zona (Bailey y Hough, 1975). Por ejemplo, a pesar del elevado número de variedades existentes, el 80 % de la producción mundial se basa en menos de 30 (Audergon, 1995).

3. IMPORTANCIA DEL CULTIVO Y APROVECHAMIENTOS

Aunque su centro de origen es el Extremo Oriente, en la actualidad la producción se concentra en algunos países de la cuenca mediterránea. En esta área, según las estadísticas más recientes, se produce más del 40 % del total mundial. En términos de producción, el albaricoquero ocupa el décimo tercer lugar dentro de los cultivos frutales a escala mundial. Turquía es el primer productor y España ocupa el cuarto lugar tras Irán y Pakistán (Tabla 1.1), siendo el principal país productor de la Comunidad Europea.

En España, la Región de Murcia es la primera productora, superando las 89.000 Tm en 1998. Le siguen las Comunidades de Valencia y Castilla-La Mancha como zonas importantes del cultivo (MAPA (Ministerio de Agricultura, 1997) (Tablas 1.2 y 1.3).

La superficie de cultivo en España experimentó un gran aumento en los años 70 y se encuentra estabilizada en unas 24.500 hectáreas, lo que supone un 6% de la superficie mundial cultivada con albaricoquero, según la base de datos de la FAO. Dentro de España se ha producido un desplazamiento de las áreas de producción. Zonas como Aragón han disminuido su superficie en favor de otras como es el caso de Castilla-La Mancha, que se ha convertido en la tercera región productora, detrás de Murcia y Valencia.

Tabla 1.1.- Principales países productores de albaricoque (miles de toneladas)

| PAÍSES | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| China | 43 | 96 | 99 | 55 | 55,5 |
| EE.UU. | 55 | 72 | 126 | 107 | 118 |
| España | 139 | 198 | 142 | 150 | 148 |
| Francia | 101 | 176 | 158 | 80 | 180 |
| Grecia | 44 | 48 | 40 | 38 | 40 |
| Irán | 193 | 215 | 225 | 243 | 243 |
| Italia | 105 | 137 | 103 | 135 | 219 |
| Marruecos | 88 | 90 | 104 | 117 | 106 |
| Pakistán | 191 | 188 | 189 | 190 | 190 |
| Turquía | 281 | 241 | 306 | 538 | 538 |
| Producción Mundial | 2.089 | 2.533 | 2.375 | 2.500 | 2.720 |

(Fuente: FAOSTAT, base de datos de la FAO, 1995-1999)

Tabla 1.2.- Superficie cultivada y producción de albaricoque en la Comunidad Autónoma de Murcia

| AÑO | SUPERFICIE | | PRODUCCIÓN | |
|------|------------|-------|------------|-------|
| | ha | % | tm | % |
| 1995 | 12.089 | 53,72 | 79.532 | 62 |
| 1996 | 11.803 | 50,65 | 107.400 | 67,5 |
| 1997 | 11.777 | 48,12 | 66.798 | 53,3 |
| 1998 | 11.700 | 47,75 | 89.797 | 69,3 |
| 1999 | 11.727 | 47,86 | 78.199 | 52,84 |

Fuente: (FECOAM (Federación de Cooperativas Agrarias de la Región de Murcia), 1998) y FAOSTAT, base de datos de la FAO, 1995-1999
 (%: porcentajes respecto al total español)

Tabla 1.3. Producción de albaricoque en otras comunidades españolas

| Años | Castilla- La Mancha (tm) | Valencia (tm) | Total España (tm) | CM/Esp (%) | V/Esp (%) |
|------|--------------------------------|------------------|----------------------|---------------|--------------|
| 1995 | 5.600 | 38.000 | 128.100 | 4,4 | 29,7 |
| 1996 | 21.000 | 41.000 | 159.000 | 13,2 | 25,8 |
| 1997 | 5.800 | 45.000 | 124.600 | 4,7 | 36,1 |
| 1998 | 12.000 | 23.000 | 129.600 | 9,3 | 17,7 |
| 1999 | 10.300 | 20.000 | 100.050 | 10,3 | 20 |

CM/Esp: producción de Castilla la Mancha respecto del total de España

V/Esp: producción de Valencia respecto del total de España

Fuente: (FECOAM (Federación de Cooperativas Agrarias de la Región de Murcia), 1998)

En cuanto a los aprovechamientos del albaricoquero, entre un 10 y un 20 % de la producción se destina a la exportación como fruto fresco, siendo España el primer país exportador europeo. La industria de transformación emplea sobre el 30 % y el resto (50-60 %) se destina a consumo interno (Egea et al., 1994a).

Las exportaciones de albaricoquero en la Región de Murcia se elevaron a 5.795 millones de pesetas en 1996. En términos relativos suponen más del 60 % de las exportaciones españolas, siendo su destino casi exclusivo los países de la Unión Europea y en concreto Alemania (33%), Italia (28 %) y Francia (22 %) (DGEP (Dirección General de Economía y Planificación), 1999).

4. VARIEDADES CULTIVADAS

La estructura varietal española se caracteriza por la existencia de pocas variedades de mucha importancia, si bien hay multitud de variedades cultivadas localmente. Las más extendidas son, por orden de importancia, 'Búlida', 'Canino', 'Moniquí', 'Real Fino' y 'Paviot' (Egea et al., 1994b). La distribución varietal es diferente según las zonas. Para (Egea, 1998) las variedades más importantes en cada región son en Murcia: 'Búlida', 'Pepito del Rubio', 'Mauricio', 'Moniquí', 'Currot' y 'Real Fino'; en Valencia: 'Canino', 'Palau', 'Currot', 'Ginesta' y 'Galta Rotja'; y en Aragón: 'Paviot' y 'Moniquí'.

Existe un grupo de variedades denominadas 'Clases' (Martínez-Valero, 1981) que tienen una gran calidad y tamaño de fruta y maduran durante los primeros 20 días de junio (Egea et al., 1988b) y se dedican al consumo en fresco. Algunas de ellas son 'Moniquí', 'Velázquez Fino', 'Pepito del Rubio', 'Pepito del Cura', 'Guillermo', 'Colorao', 'Upa', 'Gitano', 'Carrascal', 'Candelo', etc.

La producción de albaricoque en la Región de Murcia de los últimos cinco años, pone de manifiesto que la variedad más importante es 'Búlida', seguida del grupo de las 'Clases' (Tabla 1.4).

En cuanto a los patrones más empleados en España son los francos procedentes de semillas de las variedades 'Real Fino' y 'Canino'. También el ciruelo pollizo (*Prunus insititia*) es utilizado frecuentemente en Murcia. De menor importancia son el ciruelo mirobolano (*Prunus cerasifera*) y Mariana (híbrido *Prunus cerasifera* x *Prunus salicina*) y los híbridos almendro x melocotonero 'Adafuel' y 'GF-677' (*Prunus amygdalus* Batsch. x *Prunus persica* (L.) Batsch.) (Felipe, 1989).

Tabla 1.4.- Producción de albaricoque en la Región de Murcia (tm)

| VARIEDADES CULTIVADAS | PRODUCCIÓN (tm) | | | | |
|--------------------------|-----------------|---------|--------|--------|--------|
| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| Tempranos | 13.970 | 14.750 | 13.560 | 14.163 | 14.100 |
| 'Búlida' | 48.260 | 72.260 | 36.588 | 55.328 | 45.839 |
| 'Clases' | 11.882 | 14.060 | 13.260 | 16.622 | 12.140 |
| 'Real Fino' | 5.420 | 6.330 | 3.390 | 3.684 | 6.120 |
| TOTAL | 79.532 | 107.400 | 66.798 | 89.797 | 78.199 |

(Fuente: Estadística Agraria de la Región de Murcia. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Datos de 1995-1997. Datos de 1998 y 1999, comunicados por el Servicio de Estadística Agraria)

5. DIFICULTADES PRODUCTIVAS

El albaricoquero presenta una gran plasticidad como especie, ya que ocupa localizaciones geográficas que van desde los climas costeros a los continentales, en numerosos países de casi todos los continentes. Sin embargo, la plasticidad varietal de esta especie es muy limitada. Las variedades de albaricoquero tienen áreas de adaptación restringidas, casi exclusivamente, a las localizaciones en que han sido seleccionadas y de las que son originarias (Barack, 1961; Crossa-Raynaud, 1961; Egea *et al.*, 1975; Paunovic, 1980). Esta escasa plasticidad varietal hace difícil trasladarlas con éxito de unas localizaciones a otras y ha dado lugar a que no haya en la especie albaricoquero variedades nacionales o internacionales, como en otras especies de frutales de hueso o pepita.

Pero además, entre las variedades cultivadas en la Región de Murcia, el comportamiento errático productivo es muy frecuente en muchas de ellas, especialmente en las denominadas 'de Clase'. Estos fracasos productivos no responden a las causas conocidas tradicionalmente que influyen la fructificación (alternancia, debida generalmente a una escasa producción de botones florales, heladas, lluvias o nieblas durante la floración, condiciones varias desfavorables para la polinización, etc.). Después de un periodo de incertidumbre tras la floración, en donde todo parece transcurrir con normalidad, los porcentajes de fructificación finalmente obtenidos son muy bajos e insuficientes para obtener una cosecha aceptable. En Murcia, la principal región española productora de albaricoque, estas pérdidas por causas no establecidas pueden ser muy importantes y alcanzar un gran peso económico.

LA FRUCTIFICACIÓN EN FRUTALES. INFLUENCIA DE DIVERSOS FACTORES

Con frecuencia se dan fallos de fructificación en árboles frutales. Tales fallos de cosecha han sido desde largo tiempo objeto de atención de los investigadores, siendo múltiples y variados los enfoques desplegados en los intentos de averiguar las causas del problema.

Como es sabido, la humedad del suelo es un factor muy importante para el desarrollo, tanto vegetativo, como reproductivo de los árboles frutales. También las temperaturas que se dan durante el periodo de diferenciación floral o durante la floración afectan directamente a la producción de muchas especies frutales, así como el estado de madurez del gametofito femenino cuando abre la flor puede influir en el correcto desarrollo de los procesos de fertilización, incidiendo en los porcentajes finales de fructificación. Otro factor frecuentemente analizado es el periodo en el que la polinización es efectiva.

Por lo tanto, numerosos condicionantes de los procesos productivos han sido estudiados por diversos autores, en diferentes especies, tratando de establecer la influencia de éstos en una u otra etapa de dichos procesos (desarrollo de yemas de flor, inducción floral, desarrollo de los gametos, etc.).

1. HUMEDAD EN EL SUELO

1.1. INFLUENCIA SOBRE LAS YEMAS DE FLOR E INDUCCIÓN FLORAL

Tufts y Morrow (1925) citaban resultados no publicados de Wiggans (1923) que parecían indicar que un aumento del riego podría retardar la diferenciación de las yemas florales de frutales y su posterior desarrollo. Estudios llevados a cabo aplicando diferentes tratamientos de riego en albaricoquero (Brown, 1952), pusieron de manifiesto que el déficit hídrico al final del verano reduce marcadamente la diferenciación de las yemas de flor y madera, y retrasa el posterior desarrollo de las mismas. En un trabajo posterior Brown (1953) estableció que prolongados periodos de sequía edáfica durante julio, agosto y septiembre conducen, en albaricoquero, a una reducción en el número de yemas de flor que se diferencian, a un retraso en la época de diferenciación y a una mayor lentitud en el desarrollo de las yemas que se diferenciaron en su tiempo normal.

Hendrickson y Veihmeyer (1950) en un conjunto de experimentos de riego en albaricoquero pusieron de manifiesto una importante reducción de la cosecha, asociada al tratamiento de riego llevado a cabo durante el año anterior, notando una ausencia importante de yemas de flor en los tratamientos más deficitarios. Tras otros estudios en albaricoquero se estableció la necesidad de una adecuada situación hídrica en el suelo, en el momento de la diferenciación floral, para obtener una cosecha adecuada al año siguiente (Uriu, 1964). Sin embargo, otros autores indican que en la planta del café (*Coffea arabica* L.) es necesario un estrés hídrico para la salida del reposo de las yemas de flor y su desarrollo hasta la antesis (Schuch *et al.*, 1992).

1.2. INFLUENCIA SOBRE LA FLORACIÓN

Trabajos realizados sobre el olivo (*Olea europaea* L.) indicaron que la proporción de flores imperfectas, con pistilo abortado, era dependiente de la variedad (Brooks, 1948) y más tarde se relacionaron estas anomalías florales con la

humedad aprovechable del suelo (Hartmann y Hoffman, 1953). En esta misma especie, otras investigaciones dieron como resultados que la reducción de superficie foliar alimentando la inflorescencia daba lugar a un incremento de pistilos abortados, y que el periodo crítico parece presentarse, aproximadamente, un mes antes de plena floración (Uriu, 1959).

Hartmann y Panetsos (1961) encontraron que la producción de inflorescencias se veía severamente afectada por el estrés hídrico al comienzo del desarrollo floral, mientras que cuando el estrés se producía al final de ese periodo, tenía como consecuencia un gran aumento en el número de pistilos abortados en olivo.

Analizando las yemas florales de jojoba (*Simmondsia chinensis* (Link.) Schneider) que salen del letargo se encontró que sólo completarán su morfogénesis adecuadamente si tienen agua disponible (Benzoni *et al.*, 1992). Otros trabajos indican que en esta especie un estrés hídrico puede causar un incremento de las necesidades de frío de las yemas para cubrir el reposo invernal y esto provocaría un retraso en la floración (Ferriere *et al.*, 1989).

Proebsting *et al.* (1989) sometieron melocotoneros (*Prunus persica* (L.) Batsch) en invierno a déficit hídrico y la floración de la estación siguiente se vio muy afectada. En otro ensayo llevado a cabo con melocotoneros regados por goteo y otros no regados (Layne *et al.*, 1994), se comprobó que el riego no incidía en la floración pero retrasaba la defoliación.

1.3. INFLUENCIA SOBRE LA FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LOS GAMETOFITOS MASCULINO Y FEMENINO

El estrés hídrico durante la antesis y el desarrollo temprano del grano de polen provoca una serie de anomalías en los órganos florales de algunas especies, lo que interfiere en los procesos de polinización o fertilización, induciendo el

aborto de los granos de polen recién formados o la abscisión de flores (Herrero y Johnson, 1981; O'Toole y Namuco, 1983; Westgate y Boyer, 1986; Ekanayake *et al.*, 1989; Ekanayake *et al.*, 1990; Turner, 1993; Westgate and Peterson, 1993) (citados por Saini, 1997).

El déficit hídrico que sufre la planta del trigo (*Triticum spp.*) en el estado de meiosis de los granos de polen induce a la esterilidad de estos (Skazkin, 1961; Saini y Aspinall, 1981)(citados por Saini, 1997). También ocurre lo mismo con el arroz (*Oryza sativa* L.) (Sheoran y Saini, 1996) y el maíz (*Zea mays* L.) (Downey, 1969)(citados por Saini, 1997).

El gametofito femenino suele ser generalmente más tolerante al estrés hídrico y sólo se han observado daños en escasas ocasiones en las que se le sometió a un prolongado y severo estrés (Skazkin y Lukomskaya, 1962; Moss y Downey, 1971) (citados por Saini, 1997).

Saini (1997) , en una amplia revisión de trabajos sobre este tema, concluye que un déficit hídrico afecta a la fertilidad del gametofito masculino de numerosas especies, inhibiendo un buen desarrollo del mismo cuando el estrés se da durante la meiosis de las células madre de las microsporas. El déficit hídrico en este estado inhibe el futuro desarrollo de microsporas o granos de polen, causando esterilidad masculina. Este daño, aparentemente, no es consecuencia directa de la desecación de los tejidos reproductivos, pero parece ser consecuencia indirecta de la escasez de agua en órganos vegetativos, como las hojas. En contraste, la fertilidad de los órganos reproductivos femeninos es bastante inmune al estrés hídrico.

Trabajos llevados a cabo con albaricoqueros adultos que se sometieron a estrés hídrico tras la recolección de frutos (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1999), mostraron que el porcentaje de germinación de los granos de polen de flores obtenidas en la siguiente floración, tras el periodo de sequía post-cosecha, era más bajo que el obtenido en polen procedente de flores de árboles continuamente regados.

1.4. INFLUENCIA SOBRE LA FRUCTIFICACIÓN FINAL

En muchas ocasiones los trabajos de investigación se han centrado en estudiar el efecto del estrés hídrico en la producción final de diferentes especies. En manzano (*Malus domestica* Borkh) trabajando con las variedades ‘Cox’s Orange Pippin’ y ‘Queen Cox’ se analizó la influencia del riego en la obtención de cosecha (Atkinson *et al.*, 1998), encontrando que los árboles no regados dieron los frutos más pequeños.

Árboles de melocotonero se sometieron a tres tratamientos de riego tras la cosecha (Larson *et al.*, 1988). Se hicieron observaciones del número de flores y de frutos cuajados en la primavera siguiente a los tratamientos. Curiosamente los resultados mostraron que los árboles menos regados tenían más flores y un mayor porcentaje de cuajado que los árboles sometidos a los otros dos tratamientos, uno con riego intermedio y otro con riego muy escaso. Huslig *et al.* (1993), para determinar si influía el riego en la cosecha y el tamaño de fruta de la variedad de melocotonero ‘Crest Haven’, establecieron distintos tratamientos de riego y observaron diferencias respecto a la densidad de yemas, el cuajado y tamaño de fruta entre los árboles regados y los no regados, incrementándose estos parámetros en aquellos que no sufrieron estrés hídrico.

Así mismo, en albaricoquero se ha comprobado que se da una disminución de la cosecha del año siguiente cuando los árboles se someten a un periodo de sequía durante un mes y medio aproximadamente después de la recolección de frutos (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1999; Torrecillas *et al.*, 2000). Esto se debe a un mayor porcentaje de caídas de frutos en los árboles con estrés hídrico frente a los que no lo padecen durante el periodo crítico citado. Además, se estableció otro periodo crítico de sequía que afectó al tamaño del fruto y a su maduración (Torrecillas *et al.*, 2000), que fue durante el estado III de crecimiento del fruto (segundo periodo rápido de crecimiento del fruto). Los árboles no regados durante

ese tiempo produjeron frutos de menor tamaño y que maduraron antes que los frutos producidos por los árboles control.

1.5. EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE YEMAS DE FLOR

La capacidad de producción de frutos de un árbol o potencial productivo está determinada básicamente por dos factores: la menor o mayor abundancia de yemas de flor producidas y la capacidad de cada flor para transformarse en fruto (Williams, 1970a). En cuanto al potencial de producción de yemas de flor, la variabilidad presente entre las diferentes variedades de una especie, habitualmente se ha pretendido expresar como “densidad floral”, definiendo parámetros representativos de este concepto. Bellini y Gianelli (1975) trabajando con melocotonero, en donde la producción se asienta básicamente sobre ramos mixtos, definieron el “índice de fertilidad” como el número de yemas de flor en un tramo dividido por la longitud del tramo en centímetros. Se clasifica, según los citados autores en escaso (menor de 0,30), medio (entre 0,30 y 0,70) y elevado (mayor de 0,70).

Otros parámetros desarrollados con el mismo objetivo determinan la “densidad floral” teniendo en cuenta las yemas de flor sobre una rama y el diámetro de la misma o la superficie determinada por un corte transversal de la base de esa rama. También se determina a veces el número de yemas de flor en una longitud determinada de rama. Sin embargo, para la determinación de esos parámetros hay que tener en cuenta que la “densidad floral” está relacionada con la cosecha del año anterior y con la tendencia de la variedad a la alternancia productiva, por lo que deberían ser determinados durante varios años, especialmente en las variedades muy alternantes.

2. EFECTO DE LA TEMPERATURA DURANTE LA DIFERENCIACIÓN Y EL DESARROLLO DE LA FLOR

2.1. INFLUENCIA SOBRE EL DESARROLLO DE YEMAS DE FLOR

Otro factor frecuentemente estudiado en relación con los fallos de cosecha ha sido la temperatura. A veces se ha examinado la influencia de este factor sobre la evolución y posibles daños sobre las yemas florales. Weinberger (1954) trabajando con melocotonero encontró que temperaturas moderadamente altas y continuas durante diciembre retrasaron la ruptura del letargo de las yemas de flor, más que lo hicieron breves periodos de elevadas temperaturas. Trabajos posteriores (Weinberger, 1956) mostraron que temperaturas extremadamente altas en noviembre o principios de invierno, e incluso en febrero, pueden producir daños en las yemas de flor. Así mismo, este autor relacionó las temperaturas cálidas máximas de noviembre y diciembre con la velocidad a la que se desarrolla la ruptura del letargo de las yemas florales de melocotonero, siendo estas el principal determinante (Weinberger, 1968). También en yemas de melocotonero se estudió la influencia del ciclo 8 horas de calor/ 16 horas de frío en la ruptura del letargo (Overcash y Campbell, 1955). Cuando el frío continuo afectaba a los árboles, un número más elevado de yemas salieron del reposo que cuando se sometieron a calor y frío alternativamente, aún siendo igual el total de horas frío acumuladas. Monet y Bastard (1971) al someter a una temperatura moderadamente elevada (25°C) las yemas florales de melocotonero pusieron de manifiesto una incidencia negativa creciente a partir del mes de septiembre sobre dichas yemas, destruyendo prácticamente la totalidad de las mismas cuando se aplicaban los 25°C en los meses de noviembre y diciembre. En enero, cuando ya se habían alcanzado etapas avanzadas en la salida del letargo, el efecto negativo fue prácticamente inexistente.

En manzano, después de someter tres variedades a cuatro temperaturas controladas, empezando a principio de agosto y finalizando en floración plena, se estableció que la aparición de yemas florales y su desarrollo hasta la completa floración era favorecida por un otoño suave (cálido), en comparación con un otoño

severo (frío) que aumentaba la caída de yemas de flor (Abbott, 1962). Un incremento forzado de temperatura siete semanas después de la cosecha provocó una reducción de las yemas de flor formadas en la variedad de manzano 'Cox's Orange Pippin' (Tromp, 1976).

Jonker (1979) realizó dos experimentos con manzano y peral (*Pyrus communis* L.) en invernadero, creciendo en rangos de temperaturas entre 9 y 25°C. Después de cubrir las necesidades de frío de estos frutales, se estudió la ruptura del letargo de las yemas y la tendencia fue la de mostrar un reposo más intenso cuando las yemas se formaron a temperaturas más altas. También se observó un retraso en el desarrollo de las yemas que sufrieron altas temperaturas durante su formación, a pesar de haber cubierto bien sus necesidades de frío. Así mismo, yemas de manzanos que mantuvieron la hoja durante el otoño debido a temperaturas elevadas, necesitaron más unidades de frío para romper el letargo (Walser *et al.*, 1981).

Brown y Abi-Fadel (1953) estudiaron el estado de desarrollo de yemas florales de albaricoquero expuestas a diferentes cantidades de frío. Las de los árboles sometidos a más frío y regados, alcanzaron estados avanzados antes que las de los restantes. En las yemas que no se sometieron a frío se observó deterioro de los tejidos. En un trabajo realizado con albaricoquero 'Royal', Brown (1957) evaluó el periodo de reposo de las yemas florales relacionando el tiempo de floración con las temperaturas experimentadas en la estación precedente. Los resultados mostraron que el reposo es más intenso en octubre. El frío en noviembre, diciembre y enero fue particularmente efectivo para la ruptura del letargo y además acortó el periodo hasta la floración. También se observó un adelanto de la floración cuando se registraron bajas temperaturas durante unas pocas semanas al principio de la primavera anterior, cuando se estaban formando las nuevas yemas. En un trabajo posterior (Brown, 1958) se establecieron correlaciones entre el número de yemas de flor de melocotonero que caían y las temperaturas de otoño e invierno. Así pues, temperaturas cálidas a últimos de

septiembre y principios de octubre pueden causar ruptura del letargo y caídas de yemas florales. Las temperaturas de últimos de octubre y noviembre no son tan significativas a este respecto, pero las temperaturas por encima de las medias habituales en diciembre y enero se pudieron relacionar con un aumento de la caída de yemas.

Al estudiar el mal comportamiento productivo en una zona mediterránea de algunas variedades de albaricoquero de origen continental (Clanet y Salles, 1974), se establecieron como causas de la baja productividad una iniciación floral débil, un escaso número de formaciones fructíferas y la aparición de un porcentaje elevado de yemas de flor de diferenciación incompleta. Aunque la determinación de esos factores no pudo ser precisada, algunos hechos permiten pensar que el origen de estos comportamientos podría estar en formas diferentes de crecimiento y estructura del árbol para cada variedad, dependiendo de la región en la que se cultiva y, por tanto, de la influencia directa que el clima tiene sobre estos factores. Otros autores (Carraut, 1968; Tabuenca, 1965) atribuyen las frecuentes anomalías florales de algunas variedades de albaricoquero a necesidades de frío, insuficientemente satisfechas durante el periodo de reposo de las yemas florales. Legave (1975) indicó que el albaricoquero es especialmente sensible a las condiciones del medio que no corresponden a sus exigencias específicas. Las anomalías que presenta en estas condiciones pueden ser encontradas en otras especies. Lo que sin embargo es propio de esta especie es la frecuente aparición de anomalías en ciertas condiciones desfavorables del medio. Además, las malformaciones en las yemas florales dependen del cultivar del que se trate. En un trabajo posterior (Legave, 1978) intentó explicar las necrosis florales que se producen en albaricoquero antes de la floración, y concluyó que, el origen de las caídas de yemas florales está en una insuficiente satisfacción de las necesidades de frío para salir del reposo. Este autor emitió entonces la hipótesis de que el grado de salida del letargo influye directamente en la "calidad" de las yemas florales y la falta de "calidad" podría ser la causa directa del fenómeno de las necrosis.

2.2. INFLUENCIA SOBRE LA FLORACIÓN

Las temperaturas son un factor determinante en la época de floración de numerosas especies frutales que se cultivan en zonas templadas, influyendo en el tiempo en el que aparece la floración, así como en el desarrollo de la misma. En general, cubierto el periodo de frío necesario para la ruptura del letargo de las yemas florales, temperaturas cálidas estimulan la ruptura del reposo y la iniciación de la floración. Cuando los botones florales ya están formados su evolución también depende, en gran medida, de las temperaturas, siendo acelerada por las temperaturas elevadas.

La duración del periodo de floración y el número de inflorescencias abiertas decreció cuando plantas de aguacate (*Persea americana* Mill.) se sometieron a elevadas temperaturas diurnas y nocturnas (Sedgley, 1977). Además el crecimiento reproductivo fue inhibido en favor del vegetativo.

El Ahmadi y Stevens (1979) estudiaron la tolerancia de algunos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a altas temperaturas y su influencia en la floración, obteniéndose una reducción en el número de flores en la mayoría de los cultivares. Exposiciones tan cortas como 4 horas a 40°C producen la caída de las flores en la mayor parte de las variedades de tomate (Bar-Tsur, 1977).

Beppu *et al.* (1997) sometieron árboles de una variedad de cerezo dulce (*Prunus avium* L.) a diferentes temperaturas diurnas (10, 15, 20 y 25°C) durante un mes antes de la apertura de la flor, observándose que las altas temperaturas aceleraban la floración, aunque el tamaño de las flores fue menor.

Estudiando las causas de las dificultades productivas de algunas variedades de albaricoquero, Guerriero *et al.* (1985) detectaron la presencia de ovarios abortados o necróticos y de pistilos muy cortos. La aparición de flores anómalas

fue atribuida a daños que se producen en las yemas de flor durante otoños muy cálidos.

2.3. INFLUENCIA SOBRE EL ESTADO DE LOS GAMETOS Y LA FERTILIDAD FLORAL

El microclima es un factor muy importante que incide directamente sobre los procesos reproductivos y la fertilidad floral de numerosas plantas (Corbet, 1990). Esta influencia puede ser sobre el momento de apertura de la flor, la extrusión de las anteras y su dehiscencia, la viabilidad y germinación del polen o la receptividad del estigma.

Eaton (1959) llevó a cabo estudios en el megagametofito del cerezo dulce para determinar la influencia que podían tener la inmadurez, las irregularidades citológicas o la degeneración de este megagametofito sobre los habituales fallos de cosecha observados en esta especie. Encontró que bajas temperaturas justo antes de la apertura de la flor pueden inhibir el desarrollo del óvulo más que el de las partes externas de la flor, encontrándose el gametofito femenino más inmaduro que cuando las temperaturas previas a la antesis fueron más cálidas.

El cuajado de la variedad 'Italian' de ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.) se vio muy afectado durante dos años por bajas temperaturas post-florales (Thompson y Liu, 1973). Estas bajas temperaturas retrasaron el crecimiento del tubo polínico y los sacos embrionarios degeneraron, impidiendo la fertilización. La combinación de factores genéticos y ambientales interrumpió el proceso de fecundación y se redujo el porcentaje de cuajado.

En aguacate se observó que el saco embrionario y el endospermo se desarrollaban bien cuando las plantas estaban sometidas a un régimen de temperaturas cálidas durante el día y la noche (25°C/20°C), pero no ocurría así

cuando el régimen era de temperaturas frías ($17^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$) o muy cálidas ($33^{\circ}\text{C}/28^{\circ}\text{C}$) (Sedgley, 1977).

Ewart y Kliewer (1977) estudiaron el efecto de temperaturas diurnas cálidas previas a la floración en vid (*Vitis vinifera* L.). Éstas duplicaron la fertilidad del óvulo, observándose también un número mayor de semillas por fruto. En otro trabajo realizado con algunos cultivares de vid, Kliewer (1977) intentó relacionar las elevadas temperaturas diurnas posteriores a la floración con la fertilidad del óvulo, encontrando que ésta era mayor cuando las temperaturas fueron de 25°C en vez de $35\text{-}40^{\circ}\text{C}$, indicando que a mayores temperaturas los óvulos degeneran antes.

La viabilidad de los gametos masculinos y femeninos de seis cultivares de tomate fue analizada cuando estos se sometieron a un régimen de temperaturas elevadas ($38/27^{\circ}\text{C}$ día/noche) (El Ahmadi y Stevens, 1979). Los resultados mostraron una reducción en la producción de polen en todos los cultivares y una pérdida de la dehiscencia. Algunos de ellos mostraron pérdida de viabilidad de los gametos masculinos o femeninos, dependiendo del cultivar.

En un trabajo realizado con manzano se demostró que existía una correlación negativa entre las elevadas temperaturas en los meses de prefloración y la fertilidad floral de la variedad 'Cox' Orange Pippin' (Jackson *et al.*, 1983). Miller *et al.* (1987) observaron que flores de manzano sometidas a temperaturas suaves en los meses pre-florales presentaban la mayor parte de los óvulos maduros justo antes de la apertura de la flor. Por el contrario, muchos sacos embrionarios de las flores tratadas con temperaturas pre-florales frías estaban inmaduros en la misma fase de desarrollo. Petropoulou y Alston (1998) indicaron que las bajas temperaturas durante la polinización son una de las principales causas de la producción irregular del manzano en Inglaterra. Por tanto, una selección de cultivares con crecimiento activo del tubo de polen y elevada receptividad en el estilo a bajas temperaturas contribuiría a conseguir mejores cosechas.

La degeneración de los óvulos de una variedad de cerezo amargo (*Prunus cerasus* L.) se estudió cuando se sometieron a cinco temperaturas diferentes (5, 10, 15, 20 y 25°C) (Cerovic y Ruzic, 1992). Se encontró una correlación positiva entre la velocidad de senescencia de los óvulos y la temperatura en la que se desarrollaban. En otro trabajo posterior también se analizó la viabilidad de los óvulos de dos variedades de cerezo dulce y tres de amargo, sometiéndolas a 5, 10, 15 ó 25°C (Postweiler, *et al.*, 1985). Los resultados coincidieron, encontrándose que, a temperaturas mayores, la viabilidad de los óvulos era apreciablemente menor, alcanzando la senescencia antes que a temperaturas bajas.

Beppu *et al.* (1997) realizaron otro experimento con la variedad de cerezo dulce 'Satohnishiki', sometiéndola a altas y bajas temperaturas diurnas durante un mes antes de la floración y hasta la caída de pétalos. Los resultados fueron un escaso crecimiento del ovario y óvulos pequeños a altas temperaturas. A la apertura de la flor, la mayoría de los sacos embrionarios estaban inmaduros en ambos tratamientos, pero los de flores sometidas a altas temperaturas degeneraron rápidamente. Sin embargo, a bajas temperaturas un 48% de los sacos embrionarios se desarrollaron plenamente.

Estudios realizados en ciruelo (Moreno *et al.*, 1992) demostraron que temperaturas elevadas aceleraban la senescencia del óvulo en dos variedades analizadas.

En almendro (*Prunus dulcis* Mill.) (Egea y Burgos, 1995) se encontró una notable caída en el número de semillas con frutos dobles cuando las temperaturas máximas de los meses pre-florales fueron incrementadas en 3-4°C, durante las horas de insolación. Esto indicaba, probablemente, una degradación prematura del óvulo secundario.

McKee y Richards (1998), tras estudiar el efecto de la temperatura en la producción de semillas de cinco especies de primula (*Primula vulgaris* Huds., *P.*

veris L., *P. frondosa* Janka., *P. farinosa* L. y *P. scotica*), encontraron resultados que apuntan a que un incremento global de la temperatura en floración podría afectar negativamente la cantidad y calidad de las semillas en algunas especies.

Pressman *et al.* (1998) analizaron la influencia de las bajas temperaturas nocturnas en la fertilidad de las flores de dos cultivares de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.). Uno de ellos se mostró muy sensible a estas bajas temperaturas, con menor diámetro del ovario, un estilo más largo, una menor funcionalidad de los órganos femeninos y una reducción del número de granos de polen viables por flor. Además, se vio perjudicada la germinabilidad del polen.

Cuando se analizaron óvulos de albaricoquero de algunas variedades cultivadas en la Región de Murcia (Egea y Burgos, 1998), se comprobó que, si bien todos los óvulos mostraban inmadurez a la apertura de la flor, existían pequeñas diferencias en el grado de madurez entre las mismas variedades cuando se cultivaban en una localización con un microclima más cálido y cuando estaban en una localización más fría. Los sacos embrionarios eran ligeramente más maduros en la zona fría, lo cual implicaría que las temperaturas previas a la floración más elevadas inducen a un retraso en la madurez del óvulo.

2.4. INFLUENCIA SOBRE LA FRUCTIFICACIÓN FINAL

El estudio de la influencia de las temperaturas sobre la fructificación ha sido abordado desde el análisis de las consecuencias climáticas sobre la cosecha, tomando ésta como indicador de tales influencias en numerosas especies.

Las elevadas temperaturas han sido frecuentemente consideradas como un factor que afecta negativamente la fructificación en tomate (El Ahmadi y Stevens, 1979).

Abdul-Baki y Stommel (1995) al someter genotipos de tomate sensibles al estrés a altas temperaturas diurnas y nocturnas (35/23°C), no obtuvieron fructificación. Genotipos tolerantes dieron, sin embargo, fructificaciones del orden del 45-65%.

Kliewer (1977) observó en tres variedades de uva de vinificación que, mientras que la fructificación no se vio alterada al pasar de 15/10°C a 25/20°C, en este último caso, la fertilidad del óvulo y el número de semillas por grano se duplicó. Al mismo tiempo, trabajando en las variedades 'Pinot Noire' y 'Carignane' (Ewart y Kliewer, 1977), obtuvieron un porcentaje de fructificación significativamente mayor a 25°C que a 35 ó 40°C.

Una notable disminución de la fructificación de hasta el 58 % fue registrada en caqui (*Diospyros kaki* L. f.), trabajando con el cultivar 'Fuji', cuando un par de temperaturas día/noche de 22/17°C fueron sustituidas por otro de 27/22°C (George *et al.*, 1994). Entre otras razones, se adujo que las condiciones más favorables para el desarrollo vegetativo, determinadas por las temperaturas más elevadas, pudieron ser causa de la menor fructificación.

Higuchi *et al.* (1998) estudiaron el efecto de temperaturas cálidas (30/25°C) y frías (20/15°C) en el crecimiento y cuajado del chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) fue registrada. El porcentaje de cuajado en temperaturas cálidas fue muy bajo y el crecimiento del fruto fue menor. Se dio una reducción de cosecha debido a la caída de frutos antes de la maduración en árboles que sufrieron temperaturas cálidas.

Breves periodos de altas temperaturas durante el invierno afectaron negativamente al cuajado de la variedad de melocotonero 'Sullivan Elberta' (Weinberger, 1954).

En un trabajo realizado con manzano (Abbott, 1971), se encontraron importantes diferencias de cosecha cuando la variedad 'Lord Lambourne' se sometía a temperaturas diferentes en el periodo comprendido entre el fin del reposo de las yemas y la caída de pétalos de la flor. El experimento demostró la conveniencia de mantener una baja temperatura (4-8°C) más allá del periodo requerido para la ruptura del letargo y el beneficio de que aumente después la temperatura para obtener una buena cosecha.

Beattie y Folley (1977; 1978) estudiaron en dos importantes trabajos la correlación de la cosecha de 'Cox' Orange Pippin', la variedad de manzano más emblemática de Inglaterra, con numerosos factores a lo largo de un periodo de casi 30 años. Se encontró que el factor climático más decisivo y negativamente correlacionado con la cosecha fueron las temperaturas superiores a las normales en la prefloración. Esto estaría referido concretamente a los meses previos a la floración, que en sus condiciones climáticas son febrero, marzo y abril. Podría ocurrir, según ellos, que como consecuencia de esas temperaturas superiores a lo normal se produjera lo que denominaron "confusión hormonal", la cual provoca falsas salidas del letargo, que posteriormente son detenidas por una vuelta a condiciones más acordes con la época. Siguiendo esa línea de investigación, en otro estudio se encontró una estrecha correlación negativa entre las medias de las temperaturas máximas de los meses pre-florales y la cosecha (Jackson y Hamer, 1980). Tromp (1986) realizó otros experimentos con la variedad 'Cox' Orange Pippin' de manzano, que se basaron en la aplicación de cuatro tratamientos diferentes de temperatura. Todos ellos comenzaban en la fase final de la salida del reposo de esta variedad y consistieron, básicamente, en hacer evolucionar las yemas de flor hasta su apertura de forma rápida, de forma lenta, o la combinación lenta-rápida y rápida-lenta. Las fechas de floración variaron hasta en 14 días y la fructificación fue mejor cuando el desarrollo fue rápido que cuando fue lento. Los otros dos tratamientos se situaron en una posición intermedia. El autor llegó a la conclusión de que, aunque parecen haber pocas dudas de que la relación entre

fructificación y condiciones ambientales en prefloración es de tipo hormonal, no hay datos definitivos disponibles.

También hay estudios sobre la relación existente entre la cosecha, el crecimiento del fruto y la temperatura en manzanos (Atkinson *et al.*, 1998). Se elevó la temperatura de un grupo de árboles encerrándolos en un túnel de polietileno, desde la floración en mayo hasta principios de septiembre. Las temperaturas altas fueron asociadas a un menor número de frutos retenidos en el árbol.

La producción de manzanas en Canadá se vio favorecida por temperaturas cálidas durante la floración y negativamente afectada por temperaturas muy bajas o altas fuera de estación (Caprio y Quamme, 1998). Estos resultados fueron obtenidos tras un estudio de datos correspondientes a un periodo de 72 años.

Browning y Miller (1992) trataron de correlacionar la variación en el rendimiento anual del peral 'Conferencia' con las variaciones climáticas en Inglaterra. Se puso de manifiesto que el factor con mayor influencia, en este caso negativa, fueron las temperaturas útiles para la ruptura del letargo invernal (chill units o bien horas entre 0 y 10° C) en noviembre. Esta notable influencia negativa se mostró independiente de la época de floración. Además, la acción de las temperaturas podría estar relacionada con una caída prematura de las hojas, pero este extremo necesitaría confirmación.

Así mismo, trabajando con el peral 'Conferencia' se trató de establecer la influencia de las temperaturas otoñales sobre la época de floración y la fructificación del peral (Atkinson y Taylor, 1994). Se sometieron árboles a temperaturas nocturnas más elevadas durante octubre y noviembre, encontrando en todos los casos un retraso de la época de floración. La fructificación respecto al control aumentó con el tratamiento de octubre y disminuyó con el de noviembre. En un trabajo posterior Atkinson y Lucas (1996) trabajaron con otra variedad de

peral, 'Concorde', más tardía y se comprobó la importante incidencia de la variedad en los resultados, pues las diferencias en la época de floración fueron mucho menos manifiestas y no fue posible tampoco observar diferencias en la fructificación.

Beppu *et al.* (1997), trabajando con cerezo dulce, variedad 'Satohmishiki', encontraron notables diferencias de fructificación, desde el 50 % en la condición más favorable (15°C) hasta el 2 % en la menos favorable (25°C). En todos los casos la temperatura nocturna fue similar (media de 7,7°C). Cuando las características anatómicas de las flores fueron comparadas en otro experimento, realizado durante un mes previo a la antesis, pudo encontrarse que las temperaturas más elevadas indujeron la supresión del crecimiento del ovario, dando lugar a óvulos y nucelas escasamente desarrolladas. La nucela y el saco embrionario degeneraron rápidamente cuando altas temperaturas siguieron a la apertura de la flor.

3. ESTADO DEL ÓVULO A LA APERTURA DE LA FLOR

3.1. INFLUENCIA DE LA ESPECIE EN LA MADUREZ DEL ÓVULO EN ANTESIS. CONSECUENCIAS SOBRE LA FRUCTIFICACIÓN

La madurez del óvulo en el momento en que abre la flor es, sin duda, un factor determinante para el desarrollo correcto del proceso de fertilización y por tanto para obtener una adecuada fructificación. El grado de madurez que presentan los gametos femeninos en antesis es muy variable entre especies e incluso entre cultivares de la misma especie.

Los factores que pueden influenciar el desarrollo del saco embrionario antes de la apertura de la flor han sido poco estudiados. Stösser y Anvari (1982) pusieron de manifiesto que la aplicación de GAs favorecía la senescencia de los óvulos de cerezo. Incluso con aquellos reguladores del crecimiento, como el 2-4 D, que retrasan la senescencia de las partes externas de la flor, se producía una aceleración del envejecimiento de los óvulos.

Una causa frecuente de escasa fructificación es la excesiva madurez del óvulo en el momento de la apertura de la flor en algunos frutales tales como cerezo (Eaton, 1962; Stösser y Anvari, 1982); o en manzano (Marro, 1976). Aunque la polinización se produzca en el momento adecuado y las temperaturas sean favorables para el crecimiento del tubo polínico, el óvulo ya ha degenerado cuando llegan los tubos polínicos, siendo imposible la fecundación.

A veces se ha señalado como factor responsable de baja fructificación el retraso del óvulo en el momento de la apertura, como en el caso del manzano cuando se estudió el desarrollo del saco embrionario de flores procedentes de árboles con distinto vigor (Dorsey, 1929). En antesis se encontraron óvulos sin saco desarrollado, con un reducido número de núcleos o tempranamente degenerados en flores de crecimiento débil. Así mismo, Hartman y Howlett (1954) (citado por Simons y Chu, 1967) observaron en la variedad de manzano 'Delicious'

un gran número de óvulos con sacos embrionarios retrasados en antesis o que mostraban signos de degeneración prematura.

Sato *et al.* (1988), también en manzano, estudiaron el estado del óvulo en antesis de dos variedades. Comparando los resultados obtenidos, los porcentajes de óvulos con célula huevo diferenciada eran más bajos en la variedad que presentaba también menores porcentajes de fertilización, indicando que los sacos embrionarios inmaduros en antesis son difícilmente fecundados.

En frambueso (*Rubus idaeus* L.), Daubeny *et al.* (1967) sometieron a análisis una variedad que presentaba problemas productivos y encontraron sacos embrionarios retrasados y polen inviable, asociando estas características a los fallos de fructificación.

Los óvulos de sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.) observados a la apertura de la flor (Buttrose y Sedgley, 1979) fueron inmaduros en un alto porcentaje.

Herrero (1983) analizando los factores que influían en la escasa productividad de la variedad de peral 'Agua de Aranjuez', encontró que los sacos embrionarios en antesis no estaban maduros, mientras que cinco días más tarde alcanzaban la madurez.

Otro trabajo referente al cerezo amargo (Furukawa y Bukovac; 1989) intentó relacionar la escasa cosecha obtenida habitualmente en una variedad con la evolución de los sacos embrionarios de sus óvulos. Del 25 al 40% de los óvulos examinados estaban incompletos, degenerados o bien inmaduros. En trabajos posteriores, realizados en esta especie, también se relacionó el número de sacos embrionarios atrasados en el momento de la apertura de la flor que consideraron no funcionales con los no fecundados observados 4 o 6 días tras la polinización (Cerovic y Micic, 1999).

Beppu *et al.* (1997) realizaron experimentos con la variedad 'Satohnishiki' de cerezo dulce, observando que en antesis la mayoría de los sacos embrionarios estaban inmaduros.

Pimienta y Polito (1982) habían encontrado un cierto retraso de la madurez del óvulo en el momento de la apertura de la flor en la variedad de almendro 'Nonpareil'. Sin embargo, un estudio llevado a cabo con cuatro variedades de almendro (Egea y Burgos, 2000) puso de manifiesto que la mayoría de los óvulos estaban maduros en antesis.

Burgos y Egea (1993) observaron el desarrollo del saco embrionario en flores polinizadas y no polinizadas de albaricoquero 'Moniquí fino', encontrándose que los pistilos recogidos el día 0, 2 y 4 tras la antesis tenían los óvulos inmaduros, alcanzando la madurez el día 6 o el 8.

Posteriormente (Egea y Burgos, 1994) también se puso de manifiesto un importante retraso en los óvulos de diferentes variedades de albaricoquero. En el momento de la apertura un porcentaje elevado de óvulos tenía el saco embrionario sin formar y sólo en casos excepcionales se encontraron sacos maduros.

Egea y Burgos (1998), en un trabajo reciente, han comprobado que, condiciones límite para la ruptura del letargo, provocan un cierto retraso en la maduración del óvulo de albaricoquero en comparación con condiciones de más frío invernal, aunque las diferencias no son espectaculares. Por ello, las diferencias de fructificación, que con frecuencia se dan en esas dos condiciones climáticas, no pueden explicarse, únicamente, por esas ligeras diferencias en el estado de madurez de los óvulos.

Comparando la viabilidad de los óvulos de tres variedades de albaricoquero en antesis (Lillecrapp *et al.*, 1999), se encontró que en dos de ellas el estado de

desarrollo mayoritario era de ocho núcleos, coincidiendo con unos altos porcentajes de fructificación obtenidos en estas variedades, mientras que en la tercera variedad analizada, muchos de los sacos embrionarios en el momento de la apertura de la flor eran pequeños y retrasados, siendo escasa la fructificación en este cultivar habitualmente.

3.2. MALFORMACIONES DEL ÓVULO

Otra causa de fallo de cosecha puede ser el mal desarrollo del saco embrionario. Con frecuencia se encuentran anomalías o malformaciones en los óvulos de diferentes especies.

Dorsey (1929) estudió el desarrollo del saco embrionario en flores de manzano y su relación con el vigor del árbol encontrando sacos sin desarrollar, con un bajo número de núcleos o con síntomas de degradación en flores con crecimiento débil. Marro (1976) indicó que la degeneración del saco embrionario en flores de la variedad 'Richard' de manzano da lugar a una insuficiente fructificación. En una variedad triploide de manzano 'Mutsu' se realizaron estudios del desarrollo del saco embrionario y sus anomalías, comparándose el estado de diferenciación del saco de esta variedad con el de la 'Golden Delicious' (Sato *et al.*, 1988). En esta última el porcentaje de óvulos anormales analizados en antesis fue del 3%, mientras que en la variedad 'Mutsu' habían un 11.8%.

Bini (1972) siguió el desarrollo del gametofito femenino de la variedad de peral 'Comice' desde el principio del crecimiento de las yemas hasta el final de la antesis. Un cierto número de óvulos fallaban en distintos estados de desarrollo.

Estudiando el aborto de óvulos en *Quercus* (*Quercus gambelii* Nutt.) se determinaron varios tipos (Mogensen, 1975). El aborto más común es aquel en el que se desarrolla un saco embrionario normal pero no es fertilizado. Otros tipos de

aborto son la ausencia de sacos o los sacos embrionarios vacíos, sin núcleos. Algunos óvulos fertilizados abortan por colapso del cigoto.

También se realizaron estudios sobre óvulos defectuosos en variedades de aguacate (Tomer *et al.*, 1976). Ellos describieron la degeneración del saco embrionario como causa de la degeneración del óvulo. Encontraron antípodas, célula huevo y sinérgidas degeneradas y, con menos frecuencia, núcleos polares. En este trabajo indicaron que pueden existir cinco tipos de malformaciones o degeneraciones del óvulo: óvulos gemelos, sacos embrionarios gemelos, óvulos con ovario extra, óvulos mal colocados dentro del ovario, sacos con núcleos adicionales fuera o dentro de ellos, óvulos inmaduros con pocos núcleos y sacos pequeños, óvulos sin sacos. Considerando todas estas degeneraciones, sólo de un 2 a un 20 % de los óvulos analizados eran normales. Estudios posteriores (Tomer y Gottreich, 1978) en el mismo tema tratan de explicar el origen de las anomalías y así entender mejor las distintas clases de degeneración. El momento en el que aparece la degeneración decisivamente determina la malformación que quedará. La ausencia de saco embrionario y la presencia de uno doble se originan en el estado más temprano de primordios nucelares.

También Tomer y Gazit (1979) estudiaron los estados tempranos de desarrollo del fruto del aguacate encontrando pequeños frutos normales con embrión y sacos sanos, frutitos pseudo fértiles con óvulos y ovarios hinchados pero dentro del óvulo no hay saco ni endospermo, y otros degenerados en los que el endospermo, el embrión o ambos degeneran en diferentes estados.

En olivo se encontró un alto porcentaje de óvulos de una variedad con un saco embrionario malformado en anthesis, considerando esto como una anomalía que provocó la baja fertilización de flores aparentemente perfectas (Rallo *et al.*, 1981).

Comparando pistilos abortados de flores de pacano (*Carya illinoensis* (Wang.) K. Koch.) con otros no abortados (Yates, 1994) se encontraron en los

primeros óvulos sin desarrollar por completo, en los que faltaba algún núcleo, sin evidencia de necrosis en los tejidos.

En la especie *Epilobium obcordatum* A. Gray (Onagraceae) se han observado malformaciones de óvulos apareciendo como óvulos no funcionales, con nucela pero sin saco embrionario, o bien como óvulos vacíos, con integumentos pero sin nucela (Seavey y Carter, 1996).

Stern *et al.* (1996) trabajando con litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) sugirieron que las anomalías del óvulo pueden ser uno de los principales factores responsables de la escasa producción. Ellos encontraron un 45% de los óvulos estudiados sin saco embrionario. Otra anomalía en el óvulo de litchi es la presencia en el saco embrionario de una célula huevo o sinérgidas anormales.

En la familia de los *Prunus* son muchas las especies sobre las que se han realizado trabajos en la dirección de detectar y describir anomalías en los ovarios de las flores. En almendro (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) Pimienta y Polito (1982) estudiaron factores asociados al aborto del óvulo de la variedad 'Nonpareil'. Observaron que en los óvulos viables aparecía una columna de células rectangulares que no aparece en los que abortan. Encontraron síntomas de aborto 4 y 6 días después de la polinización consistentes en separación de los integumentos desde el tejido nucelar. El desarrollo del megagametofito en óvulos abortivos cesa en diferentes estados, pudiendo quedar sin desarrollar en absoluto, como óvulos con 8 núcleos sin fusionarse los núcleos polares, con la célula huevo desplazada del centro o con saco embrionario redondo, sin alargar. En un trabajo posterior los mismos autores (Pimienta y Polito, 1983), analizando el desarrollo del saco embrionario de la misma variedad 'Nonpareil' de almendro, encontraron síntomas de degeneración de éste y anomalías del tipo que anteriormente habían descrito. También pueden mostrarse las anomalías como retrasos en la diferenciación del saco. Estos autores sugieren que la presencia de tubos polínicos compatibles en el ovario estimula el desarrollo del saco embrionario y citan referencias sobre

especies donde la fusión de los núcleos polares y la elongación del saco sólo se produce en pistilos polinizados como el cerezo dulce (Eaton, 1959) o el albaricoquero (Burgos y Egea, 1993). Sin embargo, en otras especies el proceso es independiente de la polinización ((Buttrose y Sedgley, 1979); sandía).

En cerezo dulce al analizar óvulos a la apertura de la flor se encontraron hasta un 13% de sacos embrionarios degenerados o incompletos (Furukawa y Bukovac, 1989). En melocotonero también se han observado anomalías en óvulos de flores recién abiertas, tales como ausencia de saco embrionario o incluso de nucela (Fuss et al., 1990). En albaricoquero Eaton y Jamont (1964) analizaron óvulos desde la antesis hasta la caída de pétalos encontrando un 27% de ellos malformados. Se registraron diferentes anomalías como varios sacos embrionarios en un sólo óvulo, óvulos sin saco o con sacos embrionarios, bien muy atrasados o incluso maduros, degenerados. Burgos y Egea (1993) siguieron el desarrollo del megagametofito de óvulos de la variedad de albaricoquero 'Moniquí fino' durante el periodo de polinización y encontraron un 19% de los analizados con malformaciones. Litchou *et al.* (1995) apuntan como causa de fallo de fructificación la falta de diferenciación de los sacos embrionarios que encontraron en una experiencia realizada con albaricoquero.

4. DESARROLLO DEL SACO EMBRIONARIO. PROCESO DE FERTILIZACIÓN FLORAL

En frutales la fecundación del óvulo maduro tiene lugar cuando los granos de polen depositados en el estigma germinan, los tubos polínicos crecen a través del estilo y alcanzan el ovario, penetrando uno de ellos en un óvulo a través del micropilo. Así llega el tubo polínico al saco embrionario y descarga sus núcleos espermáticos. Para que ocurra la fertilización ha de darse la doble fecundación, es

decir, uno de los núcleos espermáticos se unirá a la célula huevo y el otro a los núcleos polares fusionados. El desarrollo de la primera unión (divisiones de la nueva célula diploide) dará lugar al embrión y las divisiones de la nueva célula triploide dará lugar al endospermo. En este complicado proceso existen muchas variaciones entre las diferentes especies de frutales, así como algunos aspectos sin clarificar.

Jensen (1973) analizó el mecanismo de la fertilización de las angiospermas en general. Según este autor las sinérgidas juegan un papel muy importante en este proceso. Una de ellas cambia morfológica y químicamente (Jensen y Fisher, 1968)(citado por Jensen, 1973) y empieza a degenerar cuando el saco embrionario está maduro. El tubo de polen crece a través del micropilo y cuando alcanza el saco embrionario se desarrolla el aparato filiforme y entra en la sinérgida degenerada. Los detalles de la descarga de los núcleos espermáticos del tubo polínico a través de la sinérgida son diferentes para cada especie. Los núcleos polares pueden mantenerse separados antes de la fertilización, parcialmente o completamente fusionados, según la especie, siendo lo más común en frutales que estén totalmente fusionados (Jensen, 1964)(citado por Jensen, 1973). Cada núcleo espermático entra en contacto con la membrana de la célula huevo o de los núcleos polares, las membranas plasmáticas se funden y se forma un puente a través del cual pasan los núcleos espermáticos fusionándose finalmente en ambos casos. La fusión de la célula huevo con uno de los núcleos ocurre antes que la fusión del otro con los núcleos polares. Buttrose y Sedgley (1979) cuando trabajaron con flores de sandía, incidieron en la importancia de las sinérgidas para el proceso de fertilización, puesto que es la parte del saco embrionario, junto con la célula huevo, que subsiste más tiempo. De la misma manera es importante el aparato filiforme, ya que el tubo polínico penetra por el aparato filiforme. Éste está ausente en los óvulos inmaduros.

El tiempo necesario para que ocurra la fertilización desde que se deposita el polen en el estigma es muy variable entre especies. Buttrose y Sedgley (1979)

estudiaron la anatomía de los sacos embrionarios en flores de sandía polinizadas. Estos autores encontraron que la penetración del tubo de polen y la descarga de los núcleos espermáticos tenía lugar, normalmente, dos días después de la antesis, y por lo tanto, la fertilización ocurriría, como mínimo, a los cuatro días desde la apertura de la flor. En aguacate los plazos de tiempo en los que tiene lugar la fertilización son similares a los de la sandía. Sedgley (1979) encontró que el óvulo fue penetrado 24 horas después de la polinización, entrando en el saco embrionario a través de una sinérgida. Los núcleos espermáticos estaban en el saco a las 48 horas de la polinización y la fusión de uno de ellos y la célula huevo tuvo lugar antes de la unión del otro con los núcleos polares. El núcleo del endospermo fue el primero en dividirse y la formación de la pared celular ocurrió tras esta división. Sin embargo, la primera división del cigoto se observó a los 5 ó 6 días de la polinización. También se observó esta sucesión de acontecimientos en la doble fecundación de óvulos de macadamia (*Macadamia ternifolia* F.v. Muell.) (Sedgley, 1981), precediendo la división del endospermo a la del embrión o cigoto. En otros árboles frutales se ha observado diferentes tiempos para que tenga lugar la fecundación. Herrero (1983), trabajando con la variedad de peral ‘Agua de Aranjuez’, encontró que la fertilización ocurría 13 días después de la polinización. En manzano se ha observado a los 12 días (Sato *et al.*, 1988).

También se han realizado trabajos con varias especies del género *Prunus* observando los días necesarios para que se produzca la fecundación en cada caso. Pimienta y Polito (1982) indicaron que la fertilización en la variedad de almendro ‘Nonpareil’ tenía lugar transcurridos 8 días desde la polinización. Sin embargo, en melocotonero este proceso es más largo y aunque los tubos polínicos lleguen a la base del estilo a los 7 días después de la polinización, la fertilización no tiene lugar hasta 12 días después, es decir a los 19 días desde la polinización (Herrero y Arbeloa, 1989). En el albaricoquero japonés (*Prunus nume* (Sieb.) Sieb. *et* Zucc.) los tubos polínicos entraron en el ovario a los 2 ó 3 días tras la polinización y la doble fecundación se observó a los 5 días desde la polinización (Xu *et al.*, 1995). Los núcleos libres del endospermo aparecieron a los 8 días y la diferenciación del

embrión se inició a los 13 días después de la polinización. Cerovic y Micic (1999) trabajando con el cerezo amargo observaron la fecundación durante dos años consecutivos, comprobando que ocurría a los 6 días tras la polinización en un año y a los 4 días en el siguiente, puesto que las temperaturas medias diarias fueron superiores en este último. Rodrigo y Herrero (1998) encontraron en la variedad 'Moniquí' de albaricoquero que los granos de polen germinan al día siguiente de la polinización y los tubos polínicos alcanzan la base del estilo en los 3 días siguientes, en sus condiciones de trabajo. Tras la llegada al ovario, los tubos polínicos penetran en el óvulo primario a través del micropilo y, finalmente, penetran en la nucela llegando hasta el saco embrionario. Las primeras flores fertilizadas se observaron 6 días después de la polinización y el porcentaje de fertilización al séptimo día era del 80 %, no aumentando en los días siguientes. Por lo tanto, ellos deducen que la fertilización tuvo lugar entre los días 6 y 7 después de la polinización.

Otro asunto discutido es si la polinización afecta o no al desarrollo del gametofito femenino. A este respecto hay resultados contradictorios, según la especie estudiada. Sedgley (1976) sugirió que en aguacate existe un control del saco embrionario sobre el crecimiento de los tubos polínicos. En sandía se observó la secreción que se producía en el estigma, obteniéndose un incremento de ésta en respuesta a la polinización (Sedgley y Scholefield, 1980). Estos autores sugieren que ese incremento asegura un medio idóneo para la hidratación y germinación de un gran número de granos de polen. Pimienta y Polito (1983) indicaron que la presencia de tubos polínicos compatibles en el ovario de almendro estimulaba el desarrollo del saco embrionario y su elongación. En peral los tubos polínicos no alteraron la maduración del saco, pero retrasaron la degeneración (Herrero y Gascón, 1987).

En un estudio de los procesos que suceden desde la polinización hasta la fertilización de frutales, Herrero (1992) apunta que la polinización induce la secreción del estigma, la liberación de almidón, estimula el desarrollo del saco

embrionario y prolonga su viabilidad, favoreciendo así la fertilización. También en cerezo amargo Cerovic y Micic (1999) contemplan la posibilidad de que exista una prolongación de la viabilidad del saco embrionario estimulada por la polinización. Sin embargo, en albaricoque se ha observado que el crecimiento y desarrollo del óvulo y algunos cambios que tienen lugar en la composición de sus tejidos son independientes de la polinización (Rodrigo y Herrero, 1998).

5. RELACIONES ENTRE EL MOMENTO DE LA POLINIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN

Los estudios sobre la fructificación han puesto de manifiesto que ésta puede ser determinada por las condiciones climatológicas durante la floración que influyen notablemente sobre la germinación del polen y el crecimiento de los tubos polínicos (Bini, 1972; Thompson y Liu, 1973; Herrero, 1983). También la situación de madurez de los óvulos en el momento de la apertura de la flor, probablemente determinada por las temperaturas pre-florales (Miller *et al.*, 1984) y su evolución posterior, así como la receptividad del estigma (Egea *et al.*, 1991), son algunos de los condicionantes considerados en la bibliografía que pueden influir en la fructificación.

Williams (1966) estableció el concepto de “Periodo de Polinización Efectiva” (P.P.E.). Este parámetro indica el número de días que una flor, una vez abierta, permanece en condiciones de ser polinizada con éxito, dando lugar a un fruto. El P.P.E. fue definido fundamentalmente como una función de la velocidad de crecimiento de los tubos polínicos y de la longevidad del óvulo, lo cual enlaza la fertilidad femenina con la polinización, convirtiéndose, por tanto, en una expresión de las posibilidades de fructificación de la flor.

La receptividad del estigma, la velocidad de crecimiento de los tubos polínicos en el estilo y la longevidad del óvulo son tres de los factores comúnmente tratados en la bibliografía en relación con el P.P.E. Diferentes trabajos inciden en la mayor o menor importancia en cada caso, de cada uno de los tres, en función de las características de la especie y/o de las condiciones climáticas en las que se realizó el estudio. Debe existir una buena conjunción entre los tres, aunque tanto factores genéticos como medioambientales pueden desequilibrar estos procesos y por tanto reducir la fructificación.

La receptividad de los estigmas es fundamental, en muchas ocasiones, para explicar los fenómenos observados en la fructificación. En algunos casos se le atribuye un papel importante en el éxito de la producción, como en el caso de la variedad de peral 'Decana del Comizio' (Bini y Bellini, 1971; Bini, 1972) . Otros trabajos indican la existencia de estigmas inmaduros en el momento de la antesis (Herrero, 1983; Williams *et al.*, 1984; Egea *et al.*, 1991) o bien una disminución muy rápida de la receptividad con el tiempo (Martínez-Tellez y Crossa-Raynaud, 1982; Egea *et al.*, 1988a; Burgos *et al.*, 1991; Shuraki y Sedgley, 1994; Simons y Chu, 1967), e incluso un efecto negativo de la baja humedad ambiental en la receptividad del estigma y el porcentaje de germinación del polen (Utsunomiya *et al.*, 1992), todo lo cual limitaría el periodo en que la polinización podría resultar efectiva.

Se ha señalado que las temperaturas frías durante el periodo de floración retrasan el crecimiento de los tubos polínicos en la variedad de ciruelo 'Italian' impidiendo la fertilización (Thompson y Liu, 1973). También en manzano se encontró que las temperaturas altas durante la floración mejoran la cosecha debido al crecimiento más rápido de los tubos polínicos (Jackson y Hamer, 1980). En el peral 'Agua de Aranjuez' los tubos tardaron de 9 a 10 días en alcanzar el receptáculo floral con temperaturas frías durante el periodo de floración (Herrero, 1983). En albaricoquero se ha comprobado el crecimiento del tubo polínico a diferentes temperaturas (Austin *et al.*, 1998), encontrándose que los tubos llegaban

al ovario a las 24 horas cuando crecían a 25°C, a las 48 horas a 20°C y a las 96 horas a 10°C.

Sedgley (1979), trabajando con la variedad 'Fuerte' de aguacate, encontró bajos porcentajes de fructificación atribuidos al fallo de los tubos polínicos para penetrar en el saco embrionario. En kiwi el corto P.P.E. encontrado se atribuyó a una pérdida rápida de germinabilidad del polen debida a altas temperaturas (Galimberti et al., 1987).

Otros autores han estudiado la longevidad y viabilidad del megagametofito en relación con la fructificación, encontrando diferencias entre especies. Factores nutricionales, climatológicos y hormonales parecen influir en el tiempo en que el óvulo permanece viable. Dorsey (1929) y Williams (1965) indican que en las flores de manzano más vigorosas la degradación de los sacos embrionarios es mucho más lenta. Williams señala que los óvulos de estas flores permanecen receptivos casi el doble de tiempo que los de flores normales. Jackson *et al.* (1983) y Miller *et al.* (1984) ponen de manifiesto importantes diferencias en el P.P.E. de flores de manzano según el tratamiento térmico pre-floral, indicando que estas diferencias pueden deberse a una lenta maduración de los óvulos en el tratamiento más frío.

Estudiando el efecto de la polinización y la aplicación de ácido giberélico sobre el desarrollo del saco embrionario en flores polinizadas y no polinizadas de peral (Herrero y Gascón, 1987), encontraron que ni la polinización ni el ácido giberélico afectaron al desarrollo, pero si prolongaron la viabilidad del saco embrionario considerablemente. Así mismo, la aplicación de putrescina influyó en la longevidad del óvulo retrasando su senescencia y alargando de esta manera su periodo efectivo de polinización en flores de peral según Crisosto *et al.* (1988; 1992). Ellos encontraron que los óvulos eran viables a la apertura de la flor.

La longevidad del óvulo del cerezo dulce se analizó (Tonutti *et al.*, 1991) obteniéndose que era de 4 a 5 días tras la antesis. Sin embargo, en kiwi, González

et al. (1995) encontraron que los óvulos eran viables durante 7 días tras la apertura de la flor y degeneraban en los 3 días siguientes.

Se sometieron a temperaturas otoñales diferentes una variedad de manzano 'Golden Delicious' y otra de peral 'Doyenné de Comice' (Tromp y Borsboom, 1994), no encontrando influencia alguna sobre la fructificación. Sin embargo, cuando se aplicaron en manzano temperaturas diferentes después de florecer, se encontró un P.P.E. más largo a la temperatura más baja, que propició una mejor fructificación. En peral, la fructificación fue claramente más baja a 17°C que a 13°C, cuando estas temperaturas se aplicaron a partir de febrero, siendo también más largo el P.P.E. a la temperatura más baja.

En algunas de las variedades de albaricoque cultivadas en el sureste español se analizó el P.P.E. (Egea *et al.*, 1991), encontrándose que era, normalmente, de 2 a 4 días. Posteriormente, Egea y Burgos (1992) intentaron relacionar este corto P.P.E. con la baja receptividad del estigma. Ellos indicaron que aunque ésta es baja debido a las altas temperaturas que habitualmente se dan en floración en esta zona de cultivo, debían existir otros factores que limiten el P.P.E., pues aun cuando el día 6 se mantiene la receptividad en alguna variedad, el porcentaje de cuajado disminuye a partir del día 4 tras la emasculación de las flores. Los frecuentes fallos de fructificación encontrados en muchas variedades de albaricoquero cultivadas en nuestra Región podrían ser atribuidos, en parte, a su corto P.P.E., causado por la inmadurez del óvulo a la apertura de la flor y el rápido crecimiento de los tubos polínicos debido a las elevadas temperaturas registradas con frecuencia en la época de floración.

En las zonas tradicionales de cultivo del albaricoquero en España, hay con frecuencia una situación límite para el cultivo de muchas variedades: frío invernal limitado; condiciones estresantes de temperatura y, con frecuencia, de humedad edáfica; alternancia, a veces, de condiciones invernales con cortos periodos de temperaturas altas; temperaturas elevadas en floración; inmadurez del óvulo a la

apertura de la flor, etc. Por ello alguna o varias de estas causas pueden operar en cada ciclo, dependiendo de las características climáticas del año: temperaturas, lluvias, etc., creando en principio confusión y, por supuesto, dificultades para la fructificación.

La profundización en el conocimiento de cada uno de estos factores y sus relaciones, permitirá conocer más a cerca de las incertidumbres que acompañan habitualmente a los problemas de fructificación, que son especialmente importantes en la especie albaricoquero.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En la producción frutal el problema de la fructificación es una cuestión de primera magnitud pues el objeto del cultivo es, obviamente, obtener frutos en cantidad y calidad suficientes. Por ello, desde muy antiguo, se le ha prestado una especial atención a este aspecto de la producción, habiéndose establecido a lo largo del tiempo numerosos factores de incidencia general o particular que afectan a la fructificación.

Todos aquellos factores externos o propios de la flor que dificultan o impiden la polinización tienen generalmente consecuencias muy negativas en la fructificación. Son ejemplos de los primeros las lluvias, las nieblas, el frío, los vientos fuertes, etc. Todos ellos afectan de una manera importante a la

fructificación de las especies frutales cultivadas, al menos de aquellas especies que se desarrollan en nuestro entorno, y que son conocidas como frutales de zona templada. Como factores intrínsecos de la flor o la variedad floral podemos citar la autoincompatibilidad floral, la posición relativa de los estambres y el estigma, la excesiva madurez del óvulo en antesis, la inadecuada satisfacción de las necesidades de frío invernal, etc. Estas últimas actúan particularmente sobre cada variedad y sus efectos sobre la fructificación pueden ser de gran importancia. La gran diversidad de especies y variedades con sus requerimientos específicos y la enorme disparidad de condiciones medioambientales posibles complican el problema en gran medida, de manera que es necesario con frecuencia examinar cada variedad en cada condición, a fin de precisar los factores limitantes de su fructificación.

Entre las especies frutales de zona templada, el albaricoquero ha sido conocido tradicionalmente como una especie "difícil", con exigencias muy determinadas para producir adecuadamente, de tal forma que una variedad puede producir adecuadamente en el entorno en el que se ha seleccionado, pero cuando se le saca del mismo suele presentar un comportamiento productivo errático. Esa es la causa de que, al contrario de lo que ocurre con otras especies, no haya variedades de gran difusión extendidas por numerosos países, salvo en casos muy excepcionales.

En la Región de Murcia la producción de albaricoque representa más del 60 % de la producción total española. España es, a su vez, uno de los primeros países productores de albaricoque del mundo. En Murcia se cultivan diversas variedades que vienen a satisfacer, tanto la importante demanda industrial española, como una oferta de fruta para consumo en fresco, cuyo calendario se extiende desde finales de abril hasta finales de junio. En esas variedades se presentan frecuentemente problemas de escasa fructificación asociados a las condiciones climáticas adversas ampliamente descritas en la bibliografía. Pero, paralelamente, se presentan fallos de fructificación más o menos persistentes, cuyas causas no son

tan evidentes. A veces se asocian a temperaturas elevadas durante la floración o a extrañas evoluciones climáticas, bien durante el reposo invernal o durante la fase inmediatamente anterior a la floración, cuyos mecanismos de acción no son conocidos. En cualquier caso, esas causas poco o nada precisadas tienen una fuerte incidencia sobre la productividad de determinadas variedades de calidad reconocida cultivadas en la Región de Murcia, de forma que algunas de ellas se están cuestionando como interesantes por esas frecuentes disfunciones productivas.

Otras veces, por obvios, pasan inadvertidos ciertos factores que, sin embargo, pueden tener una gran importancia en la determinación de la cosecha, presentando habitualmente una fuerte determinación genética o medioambiental. Es el caso de la inducción floral y la consiguiente mayor o menor abundancia de botones florales. También las caídas de botones florales, por causas imprecisas, que en determinadas condiciones pueden conducir a floraciones extremadamente pobres y a una débil fructificación. En esta misma línea la disposición a las malformaciones de flores, perceptibles o no a simple vista, puede incidir de modo apreciable sobre la cosecha final. Otro factor, que se da frecuentemente en muchas variedades de esta especie, es el importante retraso del óvulo en el momento de la apertura de la flor.

Por lo tanto, esta diversidad de factores, operando aislados o conjuntamente, pueden tener una influencia apreciable en el resultado final de la fructificación de una variedad. Así mismo, cuando algunos de estos factores menos descritos actúan sinérgicamente con los habitualmente descritos como responsables de la escasa fructificación, el efecto sobre la cosecha puede ser devastador.

En el presente trabajo se tratará de individualizar y evaluar ese conjunto de factores citados, más o menos imprecisos, que inciden en la fructificación de diferentes variedades, así como, establecer sus posibles causas e intentar paliar su influencia negativa o bien establecer que se trata de factores permanentes de inadaptación de determinadas variedades.

3. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal de la especie albaricoquero presenta en España una rica variabilidad (Herrero e Ibarz, 1971). Los centros de origen más importantes de este material son las provincias de Murcia y Valencia, a las que pertenecen la mayoría de las variedades cultivadas en España. En los últimos tiempos y como consecuencia del aumento que se está produciendo en los intercambios comerciales, han tenido lugar intercambios de variedades entre países, aunque no todas han tenido éxito en nuestro país, debido principalmente a la escasa plasticidad varietal característica de esta especie.

De entre las variedades dedicadas al mercado en fresco, la época de maduración es importante para su clasificación y de acuerdo con ella se les puede considerar como precoces, medias y tardías. En este trabajo, con el fin de dilucidar los problemas de fructificación que afectan a los diversos grupos de variedades, se han utilizado variedades de las tres clases (Figura 3.1) cuyas características morfológicas y fisiológicas han sido descritas por Egea *et al.* (1994b):



Figura 3.1. Conjunto de variedades utilizadas en los diferentes ensayos. La escala representa 10 cm

VARIETADES PRECOCES

Las variedades precoces son en general de bajas necesidades de frío (500 unidades frío aproximadamente) y para expresar en toda su magnitud este carácter, deben ser plantadas en el área adecuada. Son variedades que en esas condiciones maduran siempre en el mes de mayo, e incluso, en determinados años o también como resultado de la aplicación de productos para acelerar la ruptura del reposo, llegan a madurar en los últimos diez días de abril.

Entre las variedades de estas características hemos escogido 'Priana' y 'Beliana' para este trabajo.

'PRIANA':

Su época de floración se sitúa en los últimos días de febrero y madura hacia mitad de mayo. Fructifica abundantemente en áreas con buena polinización. Sin embargo es autoincompatible (Burgos et al., 1997) registrando por ello, a veces, cosechas limitadas. El tamaño del fruto es aceptable, con un color anaranjado y escasa chapa roja. La consistencia del fruto es escasa por lo que presenta problemas para la manipulación.

'BELIANA':

El porte del árbol es muy parecido al de 'Priana'. La floración de esta variedad suele ser en nuestras condiciones de cultivo a finales de febrero. Es autocompatible y siempre presenta una elevadísima fructificación propiciada por una floración abundante y un pistilo que se sitúa por debajo de las anteras. Esto obliga a un aclareo precoz a fin de obtener buen tamaño de fruto. En tales condiciones el tamaño alcanzado es bueno para su época de maduración, que habitualmente es hacia el 20 de mayo. El fruto presenta un sabor medio y es blando, sensible a las manipulaciones.

VARIETADES MEDIAS

Entre las variedades que en condiciones más favorables maduran en la última decena del mes de mayo y primeros de junio, se agrupan las que se denominan de maduración media. Su época de maduración en esas condiciones se situaría entre el 25 de mayo y el 15-20 de junio, siendo sus necesidades de frío medias (600 – 800 unidades frío). Entre ellas hemos trabajado con ‘Palstein’, ‘Bebeco’ y con algunas de un subgrupo denominado variedades ‘de clase’.

‘PALSTEIN’:

Es una variedad sudafricana que tiene una elevada productividad. Aunque el árbol es difícil de formar al principio porque presenta un porte llorón, con ramas que caen al suelo, pronto es posible reconducirlo y darle un aspecto normal. En nuestras condiciones climáticas y de cultivo suele florecer a finales de febrero o principios de marzo. Es autocompatible y fructifica de forma extraordinaria, por lo que requiere un importante aclareo. A pesar de todo, los frutos alcanzan, en general, un elevado tamaño. El fruto es consistente y de aspecto medio. El inconveniente principal de esta variedad es que presenta una elevada acidez, aún en etapas próximas a la madurez, que se alcanza durante los primeros días de junio. Cuando está maduro, el fruto mantiene la consistencia y resiste bien la manipulación. En áreas frías esta variedad tiene el inconveniente de una floración bastante precoz y en zonas con elevada humedad ambiental es bastante sensible a Monilia.

‘BEBECO’:

Es una variedad de origen griego, ampliamente cultivada en Grecia, siendo la base tanto de su mercado fresco, como de su industria conservera, pues presenta muy buenos caracteres para la industrialización. La floración y maduración es semitardía, recogiendo los frutos para el 15 o el 20 de junio. El fruto es de buen tamaño y presenta un aspecto bonito, frecuentemente con chapa roja, siendo consistente y de sabor agradable, algo acidulado.

VARIEDADES 'DE CLASE':

Se trata de un conjunto de variedades, tradicionalmente cultivadas en las zonas medias de la Región de Murcia, que han constituido la base de la producción para el consumo en fresco y que maduran a lo largo del mes de junio. Entre las variedades incluidas en esta denominación, para este trabajo se ha elegido 'Pepito del Rubio', 'Guillermo' y 'Colorao'.

- 'PEPITO DEL RUBIO':

Es la más cultivada de las variedades denominadas 'de Clase'. La razón fundamental, aparte de unas características aceptables, es su autocompatibilidad floral, que le permite superar el problema de la baja fructificación que presentan las variedades de este grupo. Posee, como muchas de ellas, una macrostilia acentuada que a veces representa un problema para una fructificación adecuada, pero otras propicia una fructificación moderada que favorece el tamaño del fruto. Como otras variedades 'de clase' tiene necesidades de frío medias o altas que complican su fructificación en años de invierno suave. Este problema se acentúa aún más cuando en su proceso de expansión se localiza en áreas más cálidas. El árbol es de vigor medio-alto, no excesivamente ramificado y la floración, que habitualmente se presenta en los primeros 10 días de marzo, no suele ser muy abundante. El fruto, que madura aproximadamente entre el 10 y el 15 de junio, alcanza un buen tamaño, tiene un aspecto agradable y una calidad gustativa bastante aceptable. Es resistente a las manipulaciones y en determinados años presenta algunos problemas de rajado.

- 'GUILLERMO':

Es una variedad incluida en el grupo denominado genéricamente 'Pepitos'. Es de floración y maduración ligeramente más tardía que 'Pepito del Rubio', el exponente más claro de este grupo y que da nombre a la familia. Es autocompatible pero presenta frecuentemente problemas de fructificación sin que estén claras las causas del fracaso. Su fruto es de muy buen tamaño y cuando la cosecha no es muy abundante, llega a sobrepasar los 120 gramos. Es de gran consistencia y su

comportamiento en post-cosecha es extraordinario. Presenta un sabor muy agradable y su aroma es excelente.

- ‘COLORAO’:

Es una variedad de floración tardía (15 de marzo) con un ciclo de maduración corto, recolectándose al mismo tiempo que Velázquez. Es androestéril (no produce polen) por lo que necesariamente ha de estar asociado a variedades polinizadoras con presencia de abejas en la parcela. Este carácter ha sido, con frecuencia, responsable de producciones erráticas y debido a esto su plantación se ha reducido. El fruto presenta un tamaño medio, de aspecto bonito y, aún estando maduro, tiene una dureza más propia de un melocotón, por lo que puede ser manipulado sin problemas. Tiene un sabor característico, muy agradable.

VARIETADES TARDÍAS

Las variedades que maduran en los últimos diez días de junio se denominan tardías. Sus necesidades de frío son elevadas (800 – 1200 unidades frío). Para este trabajo se escogieron dos extranjeras: ‘Goldrich’ y ‘Bergerón’.

‘GOLDRICH’:

Variedad americana que ha alcanzado cierta difusión en España. Es autoincompatible. El árbol es de porte vigoroso. Es frecuente la presencia de flores con pistilos abortados, lo que en determinados años puede afectar la cosecha. La productividad no es elevada pero presenta, por el contrario, frutos de gran tamaño. La piel de su fruto tiene un color anaranjado al igual que la carne y en conjunto resulta atractivo. Es un fruto duro, muy apto para la manipulación y mantiene una textura firme aún en avanzada madurez. Tiene una acidez muy elevada, por lo tanto es preciso recolectarlo bastante maduro, normalmente unos días después del 15 de junio, siendo esto factible por su elevada firmeza.

‘BERGERÓN’:

Es la variedad francesa más emblemática dado el importante número de caracteres positivos que reúne. Es la base de la producción de albaricoque de Bouches du Rhône, zona que constituye prácticamente el límite superior para el cultivo del albaricoquero en Francia. El árbol es de porte erguido y vigoroso y se adapta mal a los climas de inviernos suaves. Es una variedad típicamente continental. La floración es tardía (en nuestras condiciones a finales de marzo) y la estructura de la flor muy favorable a la autopolinización. El fruto es de maduración tardía (aproximadamente madura entre el 20 de junio y el 5 de julio dependiendo del área de cultivo) y desde muy temprano en su desarrollo presenta un aspecto rosado atractivo que puede inducir a una recolección inadecuada, pues hasta que no haya alcanzado una fase más avanzada de maduración, es bastante ácido. Es muy firme, de aspecto muy atractivo y cuando está maduro posee una buena calidad gustativa. Se mantiene firme en post-recolección y de su almacenaje en frío sale con unas características organolépticas incluso más favorables que las presentadas en su recolección.

Además de todas las variedades de albaricoquero descritas, se han realizado algunos trabajos con una variedad de almendro, 'Ferragnes', debido a los elevados porcentajes de fructificación que habitualmente presenta y tomándola como testigo para determinados ensayos. Las características principales de esta variedad de almendro son las siguientes:

'FERRAGNES':

Variedad de floración tardía, con muy buena fructificación cuando las condiciones climáticas son favorables, como ocurre frecuentemente en variedades de esta especie. Tiene unos requerimientos de frío para la ruptura del letargo equiparables a las variedades de albaricoquero tales como 'Beliana' o ligeramente superiores.

4. EMPLAZAMIENTOS

Dada la importante influencia del clima sobre el cultivo del albaricoquero, es conveniente definir las características climáticas y edáficas de la zona donde se ubican las variedades estudiadas.

Las localizaciones en donde se ha trabajado son principalmente Santomera y Abarán (Murcia), y ocasionalmente se ha realizado algún trabajo en Cieza (Murcia).

1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS

La finca experimental del C.E.B.A.S. denominada “Tres Caminos” está situada en el término municipal “La Matanza” de Santomera (Murcia) a una altitud de 70 m sobre el nivel del mar. No es una zona tradicionalmente dedicada al

cultivo del albaricoquero, presentando inviernos suaves y veranos muy cálidos. La pluviometría media anual es de 300 mm y las lluvias suelen presentarse en septiembre u octubre y en marzo o abril, con periodos de sequía muy prolongados.

La finca situada en el término de Abarán es propiedad privada de un colaborador, a 230 m de altitud y en la zona en la que se encuentra es tradicional el cultivo de albaricoquero para consumo en fresco. Los inviernos son más fríos que en Santomera y la pluviometría media anual es de 300-350 mm, con un periodo seco de 6-8 meses de duración media.

En Cieza se sitúa otra finca experimental del C.E.B.A.S. en la que hay una colección de variedades tanto nacionales como extranjeras y de las que se han tomado algunas muestras. Esta finca está a 310 m de altitud y los inviernos en esa zona son más fríos que en Abarán, siendo la precipitación media anual similar.

2. NECESIDADES DE FRÍO

2.1. REGISTRO DE TEMPERATURAS Y FRÍO ACUMULADO EN LAS DISTINTAS LOCALIZACIONES

El frío acumulado durante los meses de otoño e invierno es un factor fundamental para la salida del reposo de las yemas de flor y la puesta en marcha de la floración. Por ello se han registrado las temperaturas máximas y mínimas diarias en Santomera y en Cieza mediante estaciones climatológicas, así como los datos de pluviometría (S.I.A.M., Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua, 2000). En la finca de Abarán se ubicó, durante los años que se realizaron los experimentos, un termohigrógrafo, con un registro continuo de la temperatura y humedad relativa y un pluviómetro. De esta manera se han podido calcular las unidades frío acumuladas en todos los periodos otoño-invierno y en las localizaciones de Abarán y Santomera desde el año 1997 hasta el 2000 y en Cieza

desde 1997 hasta 1999 (periodo durante el que se ha trabajado en este emplazamiento). El método de cálculo utilizado ha sido el denominado “Richardson” o “Modelo UTAH” (Richardson *et al.*, 1974), basado en las máximas y mínimas diarias. En las Tablas 4.1, 4.2, y 4.3 se muestran las temperaturas máximas y mínimas mensuales de los meses noviembre (siendo el comienzo del cálculo en una fecha variable, dentro de los últimos días de este mes, a partir del día más frío), del mes de diciembre, enero y los 15 primeros días de febrero, así como las unidades frío acumuladas en cada mes y la suma total de unidades de cada ciclo en todas las localizaciones. En la Tabla 4.1 además de las unidades frío calculadas a partir de las máximas y mínimas diarias, se recogen las unidades frío calculadas hora a hora, según el registro de temperaturas de un termohigrógrafo situado en la parcela de experimentación de Abarán, y también las horas bajo 7°C, de forma que se pueden comparar estas tres medidas del frío acumulado. Al observar la Tabla 4.1. vemos que las unidades frío calculadas a partir de las máximas y mínimas diarias y las calculadas a partir de la banda del termohigrógrafo coinciden en gran medida, sin embargo, el número de horas bajo 7°C es muy diferente, no siendo comparable a las anteriores medidas de frío. Por lo tanto, podemos decir que, en nuestra zona de cultivo, el método “Richardson” o “Modelo UTAH” es válido para medir el frío invernal partiendo de las temperaturas máximas y mínimas diarias y el número de horas bajo 7°C no es método adecuado para expresar el frío acumulado durante el invierno.

Tabla 4.1. Temperaturas máximas y mínimas mensuales y unidades frío según el método "Richardson" (Richardson et al., 1974) en Abarán (Murcia)

| MES | °C MAX | °C MIN | UNID. FRÍO (MÁX/MÍN) | UNID.FRÍO (TERMOH.) | <7°C (HORAS) |
|--------------|-------------|------------|-------------------------|------------------------|-----------------|
| NOVIEMBRE-97 | 15,5 | 8,6 | 71,6 | 64,5 | 19 |
| DICIEMBRE-97 | 14,9 | 8,0 | 278,5 | 282,8 | 73 |
| ENERO-98 | 14,2 | 6,6 | 387,6 | 385,5 | 138 |
| FEBRERO-98 | 13,5 | 9,2 | 143,7 | 147,5 | 8 |
| MEDIA | 14,5 | 8,1 | | | |
| SUMA | | | 881,4 | 880,3 | 238 |

| MES | °C MAX | °C MIN | UNID. FRÍO (MÁX/MÍN) | UNID.FRÍO (TERMOH.) | <7°C (HORAS) |
|--------------|-------------|------------|-------------------------|------------------------|-----------------|
| NOVIEMBRE-98 | 16,6 | 4,1 | 125 | 117,3 | 53 |
| DICIEMBRE-98 | 14,1 | 4,3 | 435,6 | 408,8 | 267 |
| ENERO-99 | 14,4 | 5,9 | 393,6 | 420,3 | 324 |
| FEBRERO-99 | 14,6 | 3,7 | 181,7 | 171 | 154 |
| MEDIA | 14,9 | 4,5 | | | |
| SUMA | | | 1135,9 | 1117,4 | 798 |

| MES | °C MAX | °C MIN | UNID.FRÍO (MÁX/MÍN) | UNID.FRÍO (TERMOH.) | <7°C (HORAS) |
|--------------|-------------|------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| NOVIEMBRE-99 | 13,2 | 4,9 | 327,6 | 339,5 | 167 |
| DICIEMBRE-99 | 14,3 | 6,2 | 382,9 | 369,5 | 180 |
| ENERO-2000 | 12,4 | 3,1 | 560,7 | 431,8 | 359 |
| FEBRERO-2000 | 19,7 | 7,9 | 0,4 | -39,5 | 27 |
| MEDIA | 14,9 | 5,5 | | | |
| SUMA | | | 1271,6 | 1101,3 | 733 |

Tabla 4.2. Temperaturas máximas y mínimas mensuales y unidades frío según el método "Richardson" (Richardson et al., 1974) en Santomera (Murcia)

| MES | °C MAX | °C MIN | UNIDADES FRÍO |
|--------------|-------------|------------|---------------|
| NOVIEMBRE-97 | 14,0 | 9,0 | 14,6 |
| DICIEMBRE-97 | 17,2 | 8,2 | 147,4 |
| ENERO-98 | 16,3 | 7,7 | 228,8 |
| FEBRERO-98 | 15,8 | 10,9 | 52,0 |
| MEDIA | 15,8 | 9,0 | |
| SUMA | | | 442,8 |

| MES | °C MAX | °C MIN | UNIDADES FRÍO |
|--------------|-------------|------------|---------------|
| NOVIEMBRE-98 | 16,6 | 5,7 | 118,3 |
| DICIEMBRE-98 | 15,7 | 5,6 | 353,3 |
| ENERO-99 | 15,9 | 5,9 | 318,5 |
| FEBRERO-99 | 17,2 | 5,6 | 185,4 |
| MEDIA | 16,4 | 5,7 | |
| SUMA | | | 975,7 |

| MES | °C MAX | °C MIN | UNIDADES FRÍO |
|--------------|-------------|------------|---------------|
| NOVIEMBRE-99 | 15,0 | 5,1 | 217,3 |
| DICIEMBRE-99 | 16,1 | 7,0 | 259,8 |
| ENERO-2000 | 14,1 | 3,8 | 492,6 |
| FEBRERO-2000 | 21,4 | 7,8 | -22,8 |
| MEDIA | 16,7 | 5,9 | |
| SUMA | | | 946,9 |

Tabla 4.3. Temperaturas máximas y mínimas mensuales y unidades frío según el método "Richardson" (Richardson et al., 1974) en Cieza (Murcia)

| MES | °C MAX | °C MIN | UNIDADES FRÍO |
|--------------|-------------|------------|---------------|
| NOVIEMBRE-97 | 15,0 | 7,1 | 79,1 |
| DICIEMBRE-97 | 14,5 | 6,0 | 310,5 |
| ENERO-98 | 14,0 | 5,1 | 421,0 |
| FEBRERO-98 | 13,2 | 8,4 | 150,3 |
| MEDIA | 14,2 | 6,7 | |
| SUMA | | | 960,9 |

| MES | °C MAX | °C MIN | UNIDADES FRÍO |
|--------------|-------------|------------|---------------|
| NOVIEMBRE-98 | 16,1 | 2,6 | 138,3 |
| DICIEMBRE-98 | 13,9 | 1,7 | 513,8 |
| ENERO-99 | 14,0 | 3,0 | 470,0 |
| FEBRERO-99 | 14,2 | 1,1 | 217,3 |
| MEDIA | 14,6 | 2,1 | |
| SUMA | | | 1339,4 |

2.2. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE FRÍO PARA LA VARIEDAD ‘GUILLERMO’

En frutales, las necesidades de frío para salir del letargo invernal, son diferentes para cada especie existiendo también grandes diferencias entre cultivares de la misma especie. Es importante conocer los requerimientos fríos de las variedades que se quieren cultivar para ubicarlos en la zona adecuada.

Muchos de nuestros trabajos se han centrado en la variedad ‘Guillermo’, una de las denominadas variedades ‘de Clase’. Durante dos años consecutivos se recogieron varetas para determinar las unidades frío necesarias para que las yemas de flor salieran del reposo, utilizando el método descrito por Tabuenca (1964). Según esta metodología de cálculo las unidades frío o chill units (“método Richardson”) necesarias para la ruptura del letargo son aproximadamente 1150. Esto puede ser representativo del resto de las variedades ‘de Clase’.

3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Para conocer las características del suelo de las fincas en las que se realizaron la mayoría de los ensayos (Abarán y Santomera), se recogieron muestras de suelo, de la capa superficial (de 1 a 20 cm.) y de la segunda capa (de 20 a 40 cm.) (Anexo I).

El suelo de la finca de Abarán es de textura franco-arcillosa en superficie y franca en la segunda capa, con muy baja riqueza en materia orgánica, especialmente en la segunda capa. Es un suelo pobre en fósforo asimilable y con un contenido elevado de sales totales, destacando el sulfato. También tiene mucho carbonato cálcico total y activo, lo que se puede traducir en un elevado poder clorosante.

La finca de Santomera presenta un suelo con una textura franco-arcillosa en todo su horizonte, de 1 a 40 cm de profundidad, siendo la riqueza en materia orgánica baja, tanto en superficie como en la segunda capa. El contenido de sales es medio, destacando el potasio asimilable que es elevado en ambas capas. Sin embargo, el fósforo asimilable es muy elevado en la capa superficial y muy escaso en la más profunda. Es un suelo pobre en sulfatos. Los niveles de carbonato cálcico total y activo son muy elevados, confiriendo a este suelo un alto poder clorosante.

5. YEMAS DE FLOR

INTRODUCCIÓN

En el intento de clarificar algunos factores implicados en los fallos de fructificación frecuentes en determinadas variedades de albaricoquero se ha realizado un análisis de las yemas de flor, observando la producción de éstas o densidad floral, el fenómeno de las caídas de yemas florales, la evolución de las yemas hasta convertirse en flores y, por último, el cuajado del fruto o fructificación.

1. DENSIDAD FLORAL

La producción de yemas de flor en las formaciones vegetativas donde se asienta la principal producción del albaricoquero es un factor que depende en gran medida de la variedad, al igual que en otros frutales como el melocotonero (Bellini y Gianelli, 1975). Debido a que nuestro principal objetivo es determinar causas de la escasa producción frutal de algunas variedades de albaricoquero, hemos tratado

de caracterizar la producción de yemas de flor de las diferentes variedades con las que hemos trabajado, ya que este factor incide directamente en el potencial productivo de un árbol.

Existen numerosos parámetros para establecer la menor o mayor abundancia de yemas de flor producidas. Uno de los parámetros representativos de esta producción es conocido como “densidad floral” y se define como la relación entre el número de yemas de flor sobre una rama y la superficie determinada por un corte transversal de la base de esa rama. Se ha medido este parámetro en nueve variedades de albaricoquero cultivadas en la finca experimental del C.E.B.A.S. en Santomera durante dos años consecutivos para evitar el posible efecto del carácter alternante en la cosecha que tienen algunas variedades y que puede incidir en la producción de yemas del año siguiente.

2. CAÍDAS DE YEMAS DE FLOR

El fenómeno de caídas de yemas de flor ha sido ampliamente estudiado en los frutales de hueso, ya que es un factor que influye negativa y directamente en la producción de flores y por ello en la de frutos (Hendrickson y Veihmeyer, 1950; Weinberger, 1956; Monet y Bastard, 1971; Legave, 1978). En albaricoquero se ha observado que las caídas de yemas son muy variables entre cultivares (Legave, 1975). Con el fin de establecer las diferencias existentes a este respecto entre las variedades con las que principalmente hemos trabajado, se realizó un estudio comparativo entre nueve variedades de albaricoquero que son representativas de todo el espectro de necesidades de frío para la ruptura del letargo.

Las elevadas temperaturas durante el otoño y el invierno y, por tanto la insatisfacción de las necesidades de frío, han sido tradicionalmente relacionadas con mayores caídas de yemas de flor. Brown (1958) indicó que en muchas variedades de frutales de hueso se observaban serias caídas de yemas de flor tras inviernos cálidos. Legave (1978) concluye que una insuficiente satisfacción de las

necesidades de frío para salir del reposo induce a las caídas de yemas florales de albaricoquero. Nosotros hemos realizado un estudio comparativo de los porcentajes de caídas de yemas de flor en la variedad de albaricoquero ‘Guillermo’, en la que previamente habíamos observado unas caídas de yemas muy elevadas, cuando se cultivó en distintos emplazamientos con diferente cantidad de frío acumulado durante el invierno.

La relación entre el riego y las caídas de yemas de flor en albaricoquero también ha sido un factor ampliamente estudiado (Brown, 1953; Uriu, 1964). Para observar la influencia de diferentes periodos de sequía edáfica durante el otoño o el invierno en el proceso de caídas de yemas de flor se determinaron las caídas en distintos tratamientos de riego establecidos en la variedad ‘Guillermo’. También se observó la caída de yemas de flor en brotes jóvenes y vigorosos de ‘Guillermo’ durante dos años consecutivos ya que algunos autores han citado que en este tipo de formaciones las caídas de yemas florales son mayores que las que se dan en brotes cortos (Legave *et al.*, 1982).

3. EVOLUCIÓN DE LAS YEMAS DE FLOR

Clásicamente el proceso de floración de las plantas superiores se divide en cuatro etapas sucesivas: inducción o iniciación floral, diferenciación floral, maduración de los órganos florales y floración (Lang, 1952). En la etapa de inducción el ápice vegetativo es inducido a flor a nivel bioquímico sin manifestaciones morfológicas evidentes. Durante la siguiente etapa denominada diferenciación floral aparecen progresivamente los órganos florales de manera acrópeta, es decir, primero aparecen los primordios de los sépalos seguidos de los de los pétalos, estambres y finalmente el pistilo. Estos órganos se desarrollan en la fase de maduración durante la que el tejido esporogénico, el polen y el saco embrionario van madurando (Ryugo, 1990). Mientras que la inducción floral se lleva a cabo durante un periodo variable que comienza generalmente algunas semanas después de la plena floración, la diferenciación y desarrollo de los órganos

florales procede a lo largo del otoño e invierno, incluso cuando el árbol está en letargo y va progresivamente satisfaciendo sus necesidades de frío para la ruptura del mismo. En el periodo de diferenciación y desarrollo floral, condiciones desfavorables de clima o humedad hídrica (déficit, encharcamiento, etc.), podrían provocar malformaciones en el desarrollo que condujeran bien a la abscisión de las yemas, bien a la malformación de las flores con la correspondiente repercusión de las posibilidades de fructificación (Brown y Abi-Fadel, 1953; Monet y Bastard, 1971; Hendrickson y Veihmeyer, 1950; Brown, 1952; 1953).

Con el fin de detectar anomalías en el periodo de diferenciación y desarrollo floral de la variedad 'Guillermo', en la que se observan habitualmente unas caídas de yemas de flor muy elevadas, realizamos análisis histológicos de yemas tomadas periódicamente a lo largo de la diferenciación floral e intentamos relacionar las posibles anomalías con diversos factores que pudieran afectar al desarrollo, como la falta de frío o el estrés hídrico.

4. FRUCTIFICACIÓN

La producción, las caídas y el correcto desarrollo de las yemas de flor son algunos factores en el proceso de formación y evolución de las yemas florales de albaricoquero, que determinan el mayor o menor éxito para alcanzar el estado final de flor. Las flores serán polinizadas y, tras el proceso de fecundación, se desarrollarán los frutos. Los porcentajes de fructificación referidos al número de flores que llegan a ser frutos, nos aportan información acerca de la fertilidad floral de las distintas especies y de cada variedad dentro de una misma especie (Williams, 1970a).

Debido a que el objetivo principal de este trabajo es investigar las causas que provocan los fallos de cosecha, hemos determinado la fructificación en los mismos casos en que examinamos las caídas de yemas florales, a fin de caracterizar la aptitud de las flores que permanecen para transformarse en fruto, en un conjunto

representativo de variedades de albaricoquero con producciones variables. Además, se estudió la influencia del riego en este proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. DENSIDAD FLORAL

Las variedades escogidas para la caracterización de la producción de yemas de flor fueron ‘Priana’, ‘Beliana’, ‘Palstein’, ‘Bebeco’, ‘Colorao’, ‘Pepito’, ‘Guillermo’, ‘Goldrich’ y ‘Bergerón’, porque en conjunto eran representativas de todo el espectro de necesidades de frío para la ruptura del letargo y de las que teníamos ya información sobre su productividad en nuestras condiciones edafoclimáticas (Egea et al., 1995; 1999). Se realizaron medidas en cinco ramas por variedad procedentes de cinco árboles (una rama por árbol) durante dos años consecutivos, obteniéndose el número de yemas y el diámetro de la parte basal de cada una de ellas para calcular el número de yemas por cm² de sección, lo que se define como ‘densidad floral’. El conteo de yemas se llevó a cabo después de la caída de la hoja, momento en el cual la diferenciación de las yemas había avanzado, no existiendo la posibilidad de confusión con las yemas de madera. Los datos fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA).

2. CAÍDAS DE YEMAS DE FLOR

2.1. Caídas de yemas de flor de distintas variedades

Durante los tres años de experimentación se determinaron los porcentajes de caída de yemas de flor de las variedades ‘Priana’, ‘Beliana’, ‘Palstein’, ‘Bebeco’, ‘Colorao’, ‘Pepito’, ‘Guillermo’, ‘Goldrich’ y ‘Bergerón’ que se cultivan en la finca experimental del C.E.B.A.S. en Santomera, contando el número de las

mismas en cinco ramas por variedad, escogiendo una rama por árbol con brotes cortos sobre madera de dos años, ya que estas son las formaciones más productivas, y constatando qué número de ellas se caen.

Los datos fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Cuando fue necesario homogeneizar las varianzas, los resultados de caídas de yemas, tanto de este ensayo como de los descritos seguidamente, fueron transformados mediante el arcoseno de la raíz cuadrada de la caída de yemas de flor expresada en tanto por uno. Cuando se transformaron los datos, en la presentación de los resultados se utilizaron los datos originales para facilitar su interpretación.

2.2. Caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ sometido a distintas condiciones de frío invernal

Las localizaciones en las que se estudiaron las caídas de yemas fueron Abarán y Santomera durante tres años consecutivos y en Cieza durante dos años. Las condiciones de frío invernal de cada uno de los emplazamientos fueron descritas en el Capítulo 4 (Tabla 4.1). En Abarán hace suficiente frío para cubrir las necesidades de frío de ‘Guillermo’ durante la mayoría de los años de los que disponemos de datos climáticos y en Santomera hay muchos años en los que no se satisfacen sus necesidades de frío invernal. Sin embargo, en Cieza, las necesidades de frío de ‘Guillermo’ se cubren bien todos los años, por lo que se tomaron las caídas de yemas de dos años, a modo de comparación. El método para calcular el porcentaje de yemas que se cae fue el mismo que el empleado con las variedades en Santomera, con cinco repeticiones en cada localización.

2.3. Caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ sometido a distintas condiciones de riego

Se utilizó la metodología descrita anteriormente para obtener los porcentajes de caídas de yemas de flor en la variedad ‘Guillermo’ cultivada en Abarán, aplicándole distintos tratamientos de riego que intentaban reproducir las condiciones reales en que, con frecuencia, se realiza el cultivo en sus áreas de implantación. En el año 1999 se establecieron tres tratamientos de riego (Tabla 5.1). En uno de ellos el riego fue mensual, desde septiembre hasta enero. Otro tratamiento consistía en regar mensualmente desde septiembre hasta noviembre, cubriendo el periodo otoñal sin estrés hídrico pero provocando una sequía edáfica durante el invierno. Por último, en un tercer tratamiento se dejó sin regar durante el otoño y se regó durante el invierno. En todos los casos se dio un riego previo a la floración. Con estos tratamientos se pretendía observar el efecto de la falta de humedad en el suelo, en distintos periodos del ciclo del cultivo, sobre las caídas de yemas de flor.

Al año siguiente se establecieron dos tratamientos distintos (Tabla 5.2). En uno de ellos se regó en septiembre, solamente una vez durante el otoño, en noviembre, y una vez durante el invierno, en febrero. En el otro tratamiento se regó igualmente en septiembre, en noviembre y se dejó sin regar durante el periodo invernal ya que en el año anterior se observaron mayores caídas en el tratamiento que sufrió estrés hídrico durante ese periodo y se quería volver a observar la incidencia de la sequía edáfica invernal. En los dos tratamientos se dio un riego previo a la floración. La pauta de riego seguida en este segundo año, con menos riegos, se estableció así puesto que se asemeja más a la que habitualmente se da en la zona de cultivo, donde los riegos son escasos.

El riego fue por inundación aportando 1000 m³/Ha en cada riego. Entre marzo y septiembre el riego fue ajustado a la demanda hídrica, siendo similar en todos los tratamientos. En todos los casos se tomaron cinco repeticiones por tratamiento, en cinco árboles distintos.

Se llevó a cabo un control del comienzo y final de la defoliación en los diferentes tratamientos como aproximación para detectar la incidencia del estrés hídrico en la vegetación de los árboles.

Tabla 5.1. Tratamientos de riego en Abarán. Años 1998-1999

| <i>TRATAMIENTO A</i> | <i>TRATAMIENTO B</i> | <i>TRATAMIENTO C</i> |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| Septiembre (9-9-1998) | Septiembre (9-9-1998) | Septiembre (9-9-1998) |
| Octubre (10-10-1998) | Octubre (10-10-1998) | |
| Noviembre (19-11-1998) | Noviembre (19-11-1998) | |
| Diciembre (21-12-1998) | | Diciembre (21-12-1998) |
| Enero (29-1-1999) | | Enero (29-1-1999) |
| Marzo (5-3-1999) | Marzo (5-3-1999) | Marzo (5-3-1999) |

Tabla 5.2. Tratamientos de riego en Abarán. Años 1999-2000

| <i>TRATAMIENTO 1</i> | <i>TRATAMIENTO 2</i> |
|------------------------|------------------------|
| Septiembre (13-9-1999) | Septiembre (13-9-1999) |
| Noviembre (26-11-1998) | Noviembre (26-11-1998) |
| Febrero (1-2-2000) | |
| Abril (6-4-2000) | Abril (6-4-2000) |

2.4. Caídas de yemas de flor en brotes jóvenes y vigorosos de la variedad 'Guillermo'

En los años 1998 y 1999 se controlaron las caídas de yemas de flor desarrolladas sobre madera de un año, en brotes vigorosos, muy habituales en esta variedad, realizándose el cálculo de los porcentajes de caída del mismo modo descrito anteriormente para ramas de dos años.

3. EVOLUCIÓN DE LAS YEMAS DE FLOR

3.1. Metodología y medidas realizadas

Para el examen del estado de desarrollo de las yemas de flor se tomaron 10 yemas por tratamiento. El proceso para su análisis fue el siguiente: se separaron las brácteas y se fijaron inmediatamente en F.A.A. (90 % etanol al 70 %, 5 % formaldehído al 40 %, 5 % ácido acético glacial). A continuación se deshidrataron introduciéndolas en soluciones de concentración creciente de alcohol butírico terciario (T.B.A.), se incluyeron en parafina y se cortaron con microtomo de rotación en secciones de 10 µm de espesor. Seguidamente se colocaron en portas y se tiñeron de acuerdo con el método de tinción tricrómica descrito por Gerlach (1969). Habitualmente se ha utilizado el método de tinción con Hematoxilina férrica de Heidenhain para cortes de yemas (Legave, 1975), pero por su mayor simplicidad e igual efectividad, elegimos el método Gerlach. Las yemas fueron examinadas en un microscopio de luz blanca Olympus BH2 y se estableció su estado de desarrollo de acuerdo con la siguiente escala (Brown, 1952):

1. Inicio de pétalos y sépalos tempranos.
2. Pétalos y sépalos iniciados.
3. Todas las partes florales distinguibles. Anteras sin tejido esporogénico.
4. Partes florales más avanzadas que en el estado 3. Anteras con evidencia de esporogénesis.
5. Pistilo y óvulo incipiente. Anteras con células madre de granos de polen.
6. Pistilo y óvulos en desarrollo. Anteras con células madre de granos de polen muy diferenciadas.
7. Pistilo y óvulos avanzados. Anteras con algunas tétradas.
8. Óvulos avanzados. Pistilo con vello. Granos de polen desarrollados.

3.2. Influencia del frío invernal en el desarrollo de las yemas florales de la variedad ‘Guillermo’

En el primer año de experimentación, 1997-1998, se recogieron muestras mensualmente, desde final de noviembre hasta final de febrero, en dos localizaciones diferentes (Abarán y Cieza). En los dos sitios, como ya se ha descrito, las condiciones de frío invernal son habitualmente diferentes. En Cieza hace frío para cubrir las necesidades de esta variedad y en Abarán hace frío suficiente, aunque no en exceso. Se incluyó una muestra de final de febrero de Santomera, donde año tras año se satisfacen con dificultad las necesidades de frío de esta variedad, para observar como influía este hecho en el estado de desarrollo de las yemas de flor en la etapa previa a la floración. Se pretendía comparar la evolución de las yemas en distintas condiciones de frío y observar posibles malformaciones ligadas a cada situación. En todas las localizaciones los árboles se regaron aportando el agua necesaria para cubrir sus necesidades hídricas (P.A.R., 1998), evitando el estrés hídrico.

3.3. Influencia del riego en el desarrollo de las yemas florales de la variedad ‘Guillermo’

En el segundo año del experimento centramos el estudio en la evolución de yemas florales de ‘Guillermo’ solamente en la localización de Abarán, recogándose muestras de los tres tratamientos diferenciados de riego que se describieron en la Tabla 5.1.

Las muestras se recogieron a final de diciembre, final de enero, mitad y final de febrero, tratando así de centrarnos en el periodo donde el año anterior parecían haberse observado mayores cambios y diferenciaciones entre las yemas de los distintos tratamientos y se quería estudiar la influencia del estrés hídrico provocado en determinadas épocas en el desarrollo de las yemas de flor.

3.4. Análisis de yemas de flor necrosadas

En el tercer año de experimentación se muestrearon yemas florales de ‘Guillermo’ que no evolucionaron correctamente y estaban próximas a caer al haber formado la capa de abscisión, con el fin de establecer el momento de la evolución en el que se detuvo su desarrollo.

3.5. Análisis de yemas de flor de brotes vigorosos

Las muestras de yemas de flor de todos los tratamientos descritos y de todos los años, se tomaron de brotes cortos sobre madera de dos años, que se corresponden con los descritos como “dardos” o “brindillas”. Pero además, se hizo un estudio comparativo con yemas de ‘ramos mixtos’ vigorosos de un año, ya que las caídas de yemas registradas en este tipo de formaciones jóvenes y vigorosas de madera, son muy elevadas siendo muy pocas las yemas que llegan a flor y, por tanto, presentan escasas fructificaciones. En adelante nos referiremos al primer tipo de brotes mencionado como “brotes cortos” y al segundo como “brotes vigorosos”.

Las muestras fueron recogidas en la misma localización (Abarán) y de árboles con el mismo régimen de riego, realizándose una toma a final de febrero del primer año del periodo experimental y varias tomas, desde final de diciembre hasta final de febrero, durante el segundo año, con el fin de seguir la evolución completa de las yemas sobre este tipo de formaciones de madera y observar cuando se produce el deterioro que provoca la caída.

4. FRUCTIFICACIÓN

4.1. *Fructificación de distintas variedades*

La fructificación se determinó en las condiciones ya descritas anteriormente para las caídas de yemas de las mismas variedades en Santomera. Los datos se tomaron en todas las variedades anteriormente citadas, sobre las mismas ramas que se utilizaron para obtener las caídas de yemas de flor, contando dos meses después de la floración el número de frutos por rama, refiriéndolo al número de flores que quedaron tras la caída de yemas de flor y expresándolo como porcentaje.

Los datos fueron analizados mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Al igual que para los datos de caídas de yemas, cuando fue necesario homogeneizar las varianzas, los porcentajes de fructificación, tanto de este ensayo como de los descritos seguidamente, fueron transformados mediante el arcoseno de la raíz cuadrada de la caída de yemas de flor expresada en tanto por uno. En la presentación de los resultados se utilizaron los datos originales para facilitar su interpretación.

4.2 *Fructificación en la variedad ‘Guillermo’ sometida a distintas condiciones de riego*

La metodología utilizada para obtener los porcentajes de fructificación en la variedad ‘Guillermo’ cultivada en Abarán fue similar a la descrita para las variedades de Santomera. Los cálculos se realizaron a partir de las medidas tomadas en las mismas ramas empleadas para calcular las caídas de yemas de flor en los distintos tratamientos de riego.

4.3. Fructificación en brotes vigorosos de la variedad 'Guillermo'

Al igual que con las caídas de yemas de flor que crecían sobre madera de un año en los años 1998 y 1999 se controlaron los porcentajes de fructificación en brotes vigorosos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. DENSIDAD FLORAL

El análisis estadístico de los resultados, de ambos años en conjunto mostró que no hubieron diferencias significativas entre ellos. Esto puede ser debido a que todos los años se realiza aclareo de frutos y de esta manera hay una influencia similar de la producción de frutos de un año en la producción de yemas del siguiente. Sin embargo, las diferencias de densidad floral entre variedades fueron muy notables (Tabla 5.3). Los valores medios de densidad floral para cada variedad y en cada año con sus errores standard se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.3. Valores del estadístico F obtenidos en el análisis de la varianza para la densidad floral de nueve variedades de albaricoquero cultivadas en Santomera en 1999 y 2000

| Fuente de variación | Grados de libertad | F |
|---------------------|--------------------|---------------------|
| Años | 1 | 0,01 ^{ns} |
| Variedades | 8 | 6,85 ^{***} |
| Años x Variedades | 8 | 1,84 ^{***} |
| Error | 72 | |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{ns}.

Tabla 5.4. Densidad floral (número de yemas de flor/cm² ± error standard) de nueve variedades de albaricoquero cultivadas en Santomera en los años 1999 y 2000

| | | DENSIDAD FLORAL |
|----------|-------------|-------------------|
| AÑO | 1999 | 128,69 ± 11,35 |
| | 2000 | 129,89 ± 8,14 |
| VARIEDAD | | |
| | 'Palstein' | 180,32 ± 10,20 a |
| | 'Bebeco' | 175,37 ± 31,55 a |
| | 'Goldrich' | 165,65 ± 13,80 a |
| | 'Beliana' | 145,42 ± 17,56 ab |
| | 'Priana' | 133,92 ± 11,94 ab |
| | 'Bergerón' | 112,16 ± 10,95 bc |
| | 'Colorao' | 109,96 ± 21,31 bc |
| | 'Pepito' | 71,34 ± 9,52 cd |
| | 'Guillermo' | 62,71 ± 7,03 d |
| 1999 | | |
| | 'Bebeco' | 219,4 ± 56,91 a |
| | 'Palstein' | 176,41 ± 17,25 ab |
| | 'Beliana' | 158,78 ± 26,65 ab |
| | 'Goldrich' | 154,71 ± 17,34 ab |
| | 'Priana' | 152,55 ± 32,16 ab |
| | 'Bergerón' | 106,64 ± 15,95 bc |
| | 'Colorao' | 74,78 ± 5,98 c |
| | 'Guillermo' | 63,08 ± 13 c |
| | 'Pepito' | 52,79 ± 13,65 c |
| 2000 | | |
| | 'Palstein' | 184,24 ± 12,76 a |
| | 'Goldrich' | 176,58 ± 22,28 a |
| | 'Colorao' | 145,15 ± 37,27 ab |
| | 'Beliana' | 132,07 ± 24,26 ab |
| | 'Bebeco' | 131,34 ± 16,51 ab |
| | 'Priana' | 129,28 ± 16,66 ab |
| | 'Bergerón' | 118,16 ± 16,39 bc |
| | 'Pepito' | 89,89 ± 7,05 bc |
| | 'Guillermo' | 62,34 ± 7,34 c |

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada grupo de variedades o años representan diferencias significativas al nivel de probabilidad 0,05 de acuerdo con un test L. S. D.

Como se puede observar en la Tabla 5.4 los valores de densidad floral oscilan mucho de unas variedades a otras. Las que presentan menor producción de yemas son ‘Guillermo’, ‘Pepito’, variedades ‘de Clase’ que muestran valores que suponen la mitad e incluso la tercera parte de las variedades con mayor producción de yemas y que, como ya hemos señalado, presentan con frecuencia una producción errática, existiendo por lo tanto una primera e importante razón para explicar su menor potencial productivo. También ‘Colorao’ tiene una producción baja en el primer año, pero en el segundo los valores son mayores, pudiendo pertenecer al grupo de variedades que tienen una densidad floral media, como ‘Priana’, ‘Beliana’ o ‘Bergerón’. ‘Bebeco’ tiene una producción de yemas muy elevada durante el primer año pero es media en el segundo. Las variedades con una densidad floral mayor son ‘Palstein’ y ‘Goldrich’.

La densidad floral del conjunto de las variedades no varía prácticamente de un año a otro y la razón puede ser el aclareo que se realiza todos los años y que influye en la producción de yemas del año siguiente. Pero debido a que existe una interacción de los factores analizados altamente significativa, se realizó el análisis de los valores de densidad floral de cada variedad comparando los valores de los dos años. Se observó que solamente para la variedad ‘Pepito’ la producción de yemas era diferente de un año a otro. Sin embargo, la fuerte interacción que se da se debe a que el comportamiento no es homogéneo en todas las variedades, ya que mientras que en unas los valores registrados en 1999 son mayores que los del 2000, en otras ocurre lo contrario.

2. CAÍDAS DE YEMAS DE FLOR

2.1. Caídas de yemas de flor de distintas variedades

Al analizar los datos estadísticamente se pudo observar que las caídas de yemas de flor es significativamente diferente en las variedades estudiadas. Sin

embargo, el factor año, cuando observamos el conjunto de todas las variedades, no ejerce influencia sobre los porcentajes de caídas, aunque si existen diferencias dentro de algunas variedades en los tres años de estudio (Tabla 5.5)

Tabla 5.5. Valores del estadístico F obtenidos en el análisis de la varianza de las caídas de yemas de flor de nueve variedades de albaricoquero cultivadas en Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>F</i> |
|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| <i>Variedad</i> | 8 | 22,20 ^{***} |
| <i>Año</i> | 2 | 2,78 ^{n.s.} |
| <i>Variedad x Año</i> | 14 | 3,33 ^{***} |
| <i>Error</i> | 85 | |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{n.s.}

En la Tabla 5.6 se recogen las caídas de yemas de flor de todas las variedades en cada año con sus errores standard y se puede observar la variabilidad de este parámetro entre variedades y las diferencias encontradas entre los distintos años en determinadas variedades.

Una primera consideración a realizar al examinar la Tabla 5.6 es que en albaricoquero las caídas de yemas de flor son, en general, muy abundantes, constituyendo por ello un importante factor de pérdida de potencial productivo.

Al comparar los resultados de los distintos años podemos decir que ‘Goldrich’, ‘Guillermo’ y ‘Pepito’ son las variedades que registran mayores caídas de yemas de flor. Existe un grupo intermedio formado por ‘Palstein’, ‘Priana’, ‘Beliana’

y 'Bebeco' con caídas menores siendo 'Bergerón' y 'Colorao' las variedades que menos acusan este fenómeno.

Aunque no existen diferencias en los porcentajes de yemas del conjunto de las variedades entre los distintos años, hay una interacción entre los factores variedad y año, por lo que se realizó el análisis estadístico de los datos comparando las caídas de yemas florales de cada variedad en los tres años. Se encontró que existía una influencia del año en 'Priana', 'Bebeco' y 'Colorao'. Esto unido al diferente comportamiento en la forma de variación de los valores de un año a otro en las distintas variedades, ya que en unas aumentan de un año al siguiente y en otras disminuyen, explica la importante interacción que se da.

Como ya apuntábamos en el apartado donde se estudió la producción de yemas, las variedades de 'Clase' 'Guillermo' y 'Pepito' que habitualmente tienen escasas cosechas, muestran una baja producción de yemas y además un porcentaje muy elevado de éstas se caen, lo que es un factor más que puede explicar su menor potencial productivo. La variedad 'Goldrich' registra densidades florales altas pero las caídas de yemas de flor también son elevadas (Tabla 5.6). Esto unido a otros factores como el notable número de flores con pistilo abortado, frecuentemente encontrado en esta variedad, y algunos otros analizados en otros capítulos de este trabajo podrían ser los determinantes de la escasa productividad observada en esta variedad cuando se cultiva en nuestras condiciones edafoclimáticas. El grupo de variedades examinadas que presentan caídas de yemas florales del orden del 50% aproximadamente ('Palstein', 'Priana', 'Beliana' y 'Bebeco') producen cosechas adecuadas normalmente. Sin embargo, 'Colorao' y 'Bergerón' tienen una producción errática (la de 'Colorao' varía según el año) pudiendo estar el origen de esto en otros factores, ya que la producción de yemas de flor es media y la caída en estas variedades no es muy elevada.

Tabla 5.6. Porcentajes de caídas de yemas de flor en nueve variedades de albaricoquero cultivadas en Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| | | CAÍDAS |
|-------------|-----------------|------------------|
| AÑO | 1998 | 53,98 ± 4,15 |
| | 1999 | 49,66 ± 3,26 |
| | 2000 | 46,39 ± 3,65 |
| | VARIEDAD | |
| 1998 | 'Goldrich' | 72,23 ± 4,35 a |
| | 'Pepito' | 63,37 ± 3,26 ab |
| | 'Guillermo' | 60,29 ± 2,86 bc |
| | 'Palstein' | 52,78 ± 3,43 cd |
| | 'Priana' | 50,53 ± 5,40 cde |
| | 'Bebeco' | 49,41 ± 5,61 de |
| | 'Beliana' | 41,81 ± 6,03 ef |
| | 'Bergerón' | 38,40 ± 4,84 f |
| | 'Colorao' | 11,29 ± 2,52 g |
| 1999 | 'Goldrich' | 69,33 ± 12,29 a |
| | 'Bebeco' | 67,47 ± 3,60 a |
| | 'Guillermo' | 64,87 ± 10,05 a |
| | 'Pepito' | 61,63 ± 3,10 ab |
| | 'Bergerón' | 48,37 ± 7,70 ab |
| | 'Palstein' | 42,43 ± 4,33 bc |
| | 'Colorao' | 23,77 ± 4,14 c |
| 2000 | 'Goldrich' | 82,32 ± 3,64 a |
| | 'Bebeco' | 60,18 ± 3,5 b |
| | 'Guillermo' | 59,48 ± 4,37 b |
| | 'Palstein' | 59,16 ± 1,93 b |
| | 'Pepito' | 56 ± 3,16 b |
| | 'Bergerón' | 38,47 ± 7,28 c |
| | 'Beliana' | 41,68 ± 5,29 c |
| | 'Priana' | 37,92 ± 6,4 c |
| 'Colorao' | 9,48 ± 3,12 d | |
| 2000 | 'Pepito' | 71,78 ± 6,18 a |
| | 'Goldrich' | 63,88 ± 6,72 a |
| | 'Priana' | 63,14 ± 3,26 a |
| | 'Guillermo' | 58,36 ± 3,22 ab |
| | 'Palstein' | 52,6 ± 7,5 ab |
| | 'Beliana' | 41,94 ± 11,66 bc |
| | 'Bergerón' | 32,36 ± 8,54 c |
| | 'Bebeco' | 27,8 ± 5,88 c |
| | 'Colorao' | 5,62 ± 1,61 d |

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada grupo de años o variedades representan diferencias significativas al nivel de probabilidad 0,05 de acuerdo con un test L.S.D

2.2. Caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ sometida a distintas condiciones de frío invernal

Cuando se analizaron estadísticamente las caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ cultivada en tres emplazamientos distintos (Abarán, Cieza y Santomera) durante tres años consecutivos (1998, 1999 y 2000) se pudo observar que existen importantes diferencias entre los datos de los distintos años y de los emplazamientos, así como existe una influencia de la interacción de ambos factores en los porcentajes de caídas registrados (Tabla 5.7).

Tabla 5.7. Valores del estadístico *F* obtenidos en el ANOVA para las caídas de yemas de flor de la variedad ‘Guillermo’ cultivada en Abarán, Cieza y Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>F</i> |
|----------------------------|---------------------------|-----------|
| <i>Año</i> | 2 | 19,74 *** |
| <i>Localización</i> | 2 | 43,93 *** |
| <i>Año x Localización</i> | 3 | 4,20 * |
| <i>Error</i> | 28 | |

*, ** y *** indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ns.

El frío acumulado en los tres años en Abarán y en Santomera y en los dos primeros años de la experimentación en Cieza se expresa en unidades frío según el método Richardson expuesto en el Capítulo 4 (Tablas 4.1, 4.2 y 4.3). Se hizo un tratamiento estadístico para evaluar la relación de cada una de estas ocho situaciones con diferente cantidad de frío acumulado y los datos de caídas de yemas de flor y no se encontró ninguna correlación, es decir, no se pueden asociar las situaciones de menos frío acumulado con los porcentajes más altos de caídas de yemas. Estos resultados son

contrarios a los encontrados por Brown (1958) quien indicó que en muchas variedades de frutales de hueso se observaban serias caídas de yemas de flor tras inviernos cálidos. Legave (1978) apuntó que una insuficiente satisfacción de las necesidades de frío para salir del reposo inducía a las caídas de yemas florales de albaricoquero.

Tabla 5.8. Porcentajes de caídas de yemas de flor de ‘Guillermo’ en Abarán, Cieza y Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| | | CAÍDAS |
|---------------------|-----------|-----------------|
| <i>AÑO</i> | | |
| | 1998 | 53,40 ± 5,18 a |
| | 1999 | 64,08 ± 2,96 b |
| | 2000 | 75,33 ± 5,87 c |
| <i>LOCALIZACIÓN</i> | | |
| | Abarán | 79,77 ± 3,14 a |
| | Cieza | 54,50 ± 2,26 b |
| | Santomera | 53,43 ± 4,00 b |
| <i>Abarán</i> | | |
| | 1998 | 67,95 ± 3,99 a |
| | 1999 | 76,70 ± 3,17 a |
| | 2000 | 92,29 ± 0,92 b |
| <i>Cieza</i> | | |
| | 1998 | 55,55 ± 5,09 a |
| | 1999 | 56,06 ± 1,18 a |
| <i>Santomera</i> | | |
| | 1998 | 35,13 ± 10,03 a |
| | 1999 | 59,48 ± 4,37 b |
| | 2000 | 58,36 ± 3,22 b |

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada grupo de años o localizaciones representan diferencias significativas al nivel de probabilidad 0,05 de acuerdo con un test L.S.D.

Por el contrario, otros autores señalan que las anomalías encontradas en las yemas florales de algunas variedades de albaricoquero, que inducen a las caídas de éstas, no se pueden atribuir a necesidades de frío insatisfechas (Viti y Monteleone, 1991). Las unidades frío acumuladas en Abarán, todos los años, fueron suficientes para satisfacer las necesidades de la variedad ‘Guillermo’. Sin embargo, en esta localidad se observan caídas de yemas de flor más elevadas que en Santomera

donde la cantidad de frío acumulado es menor, lo cual sugiere que, en nuestras condiciones de cultivo, el frío acumulado cada año no influye decisivamente en el porcentaje de yemas que caen. Podría existir alguna relación entre las temperaturas elevadas del periodo anterior a la floración y los altos porcentajes de caídas observados habitualmente en esta variedad, ya que es en ese momento cuando se dan las caídas más importantes.

2.3. Caídas de yemas de flor de la variedad 'Guillermo' sometida a distintas condiciones de riego

Los resultados de las caídas de yemas florales de los distintos tratamientos de riego durante 1999 indican que no hay diferencias importantes entre los porcentajes (Tabla 5.9) y en el año 2000 tampoco se observan diferencias, siendo en todos los casos muy elevadas las caídas (Tabla.5.10).

Tabla 5.9. Porcentajes de caídas de yemas de flor de 'Guillermo' en tres tratamientos de riego en Abarán durante el año 1999

| TRATAMIENTO | CAÍDAS |
|-------------|--------------|
| A | 76,72 ± 3,16 |
| B | 81,6 ± 1,95 |
| C | 69,7 ± 6,66 |

Tabla 5.10. Porcentajes de caídas de yemas de flor de 'Guillermo' en dos tratamientos de riego en Abarán durante el año 2000

| TRATAMIENTO | CAÍDAS |
|-------------|--------------|
| 1 | 92,76 ± 1,02 |
| 2 | 89,64 ± 3,37 |

Varios autores han intentado buscar las causas de las frecuentes caídas de yemas florales en albaricoquero, relacionándolas con el estrés hídrico en diferentes periodos de su ciclo productivo (Tufts y Morrow, 1925; Brown, 1952; Hendrickson y Veihmeyer, 1950; Uriu, 1964), y todos ellos apuntan que la escasez de agua influye negativamente en la evolución de las yemas de flor, pudiendo ser un factor determinante en la caída de éstas. Sin embargo nosotros no encontramos diferencias significativas entre los distintos tratamientos de riego, a pesar de que intentamos establecer diferentes periodos de sequía que pudieran afectar al árbol y determinar una mayor caída de yemas de flor en un caso u otro.

La época en la que se pudieron apreciar las mayores caídas fue el periodo final de evolución de las yemas, justo antes de la floración en todos los casos, coincidiendo con lo observado por Legave *et al.* (1982), quienes indicaron que la mayor caída de yemas de albaricoquero tenía lugar en la etapa de yema hinchada, previa a la floración. También Medeira y Guedes (1991) apuntan que es en esa última etapa cuando se produce la mayor abscisión de las yemas florales. Estos autores señalan que la caída de las yemas en ese momento puede estar influida por condiciones climáticas y factores de riego, pero parece que hay una fuerte incidencia de la variedad y otros factores internos, como competencia entre yemas de flor y de madera o el estado fisiológico del árbol. Esto último podría explicar el hecho de que árboles del tratamiento C o del tratamiento 2, los menos regados, experimentaran porcentajes de caídas iguales que el resto de los tratamientos con los que se compararon en cada año y no influyera en ningún caso, de manera importante, el riego diferencial aplicado.

2.4. Caídas de yemas de flor en brotes vigorosos de ‘Guillermo’

El análisis de los porcentajes de caídas de yemas de brotes vigorosos de un año comparados con los de brotes cortos sobre madera de dos años reveló que existen grandes diferencias entre las caídas que se dan en un tipo y otro de brotes. También

existe una influencia del año, como normalmente ocurre en los valores de caídas de yemas del albaricoquero (Tabla 5.11).

Tabla 5.11. Valores del estadístico *F* obtenidos en el análisis de la varianza de las caídas de yemas de flor de brotes vigorosos y brotes cortos, de la variedad ‘Guillermo’ cultivada en Abarán en los años 1998 y 1999

| Fuente de variación | Grados de libertad | F |
|----------------------|--------------------|-----------|
| Año | 1 | 14,35** |
| Tipo de brotes | 1 | 103,37*** |
| Año x Tipo de brotes | 1 | 1,57 n.s. |
| Error | 14 | |

*, ** y *** indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con n.s.

Se hizo el análisis estadístico de los datos de cada año, comparando las caídas de yemas en cada tipo de brotes y se encontraron diferencias significativas ($P < 0,01$ en 1998 y $P < 0,001$ en 1999).

Las caídas de yemas registradas en este tipo de formaciones jóvenes y vigorosas fueron realmente espectaculares superando en todos los casos el 90% (Tabla 5.12). Esto coincide con lo indicado por Legave *et al.* (1982) quienes trabajando con albaricoquero encontraron que el porcentaje final de caídas era mayor en los brotes largos o vigorosos que en los cortos.

La espectacular caída de yemas de flor en los brotes vigorosos del año unida a la peor calidad de la fruta desarrollada sobre ellos, indica que no son formaciones fructíferas interesantes en esta variedad de albaricoquero. Las técnicas de cultivo en general y la poda en particular deberían pues tender en estas variedades a limitar al máximo este tipo de formaciones vegetativas.

Tabla 5.12. Porcentajes de caídas de yemas de flor en brotes vigorosos y cortos de 'Guillermo' en los años 1998 y 1999

| AÑO | | CAÍDAS |
|-----------------------|-----------|----------------|
| | 1998 | 80,65 ± 5,24 a |
| | 1999 | 87,99 ± 4,06 b |
| TIPO DE BROTES | | |
| | Vigorosos | 96,64 ± 1,40 a |
| | Cortos | 72,81 ± 2,79 b |
| 1998 | | |
| | Vigorosos | 93,35 ± 2,20 a |
| | Cortos | 67,95 ± 3,99 b |
| 1999 | | |
| | Vigorosos | 99,28 ± 0,52 b |
| | Cortos | 76,70 ± 3,17 a |

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada grupo de años o tipo de brotes representan diferencias significativas al nivel de probabilidad 0,05 de acuerdo con un test L.S.D.

3. EVOLUCIÓN DE LAS YEMAS DE FLOR

3.1. Influencia del frío invernal en el desarrollo de las yemas florales de la variedad 'Guillermo'

En el análisis del estado de desarrollo de las yemas encontramos con frecuencia situaciones intermedias entre los estados descritos en materiales y métodos. No siendo fácil adscribirlas a uno de los estados definidos, optamos por considerar estados intermedios.

Como puede observarse en la Figura 5.1, en el primer año del ensayo, las yemas de flor recogidas en noviembre en el emplazamiento más frío (Cieza) estaban más adelantadas, con un 90% de ellas en el estado 5 frente a un 50% que

encontramos en ese estado en la localización de Abarán. En la muestra de diciembre se sigue manifestando ese adelanto en el desarrollo, ya que en Cieza el 100 % de las yemas analizadas se encontraban en el estado 6-7 (intermedio entre el 6 y el 7, en el que se observa el pistilo con dos óvulos y sólo unas pocas anteras con tétradas), mientras que en Abarán solo alcanzaron ese estado un 70 %. Sin embargo, no aparecieron diferencias en el grado de desarrollo de las yemas muestreadas a final de enero, estando el 90 % de las yemas de ambas localizaciones en el estado 6-7 y el 10 % restante se encontraba en ese momento en el estado 7 en ambos casos, lo que sugiere que se produjo un cierto estancamiento en Cieza al tiempo que en Abarán se seguían desarrollando. Ya en febrero, coincidiendo con el momento de la salida del reposo e iniciación floral, se pudieron observar de nuevo algunas diferencias entre las tres localizaciones, Abarán, Cieza y Santomera. En Cieza (donde se acumuló más frío) el 90 % de las yemas analizadas se encontraban en ese momento en estado 7-8, es decir, mostraban pistilos y óvulos avanzados, anteras con tétradas y algunas con granos de polen desarrollados. El 10 % restante se encontraba en el estado 7. Las yemas del tratamiento en el que se registró una cantidad de frío intermedia (Abarán) alcanzaron en un 80 % el estado 7-8, con el 20 % restante en el estado 8, es decir, en conjunto ligeramente más avanzadas que en Cieza. Las muestras de Santomera, el lugar más cálido, se encontraban, sin embargo, bastante más atrasadas pues sólo un 40 % había alcanzado el estado 7-8, mientras otro 40 % se encontraba aún en el estado 6-7.

Al comparar las dos localizaciones con más acumulación de frío, se puede observar que al principio las yemas estaban ligeramente más avanzadas en las muestras recogidas en la más fría (Cieza). Sin embargo, en las muestras de finales de enero, el desarrollo se igualaba, llegando incluso en la siguiente muestra a ser ligeramente más avanzado en la menos fría (Abarán). Este cambio podría tener su explicación en el hecho de que conforme avanza la ruptura del letargo por acumulación de frío, las condiciones de temperatura de Abarán son más favorables para el desarrollo global del árbol al ser algo más elevadas. En la tercera

localización, Santomera, con una ruptura mucho más lenta del letargo, el proceso de desarrollo es también más lento, de tal manera que mientras en las últimas muestras de Cieza y Abarán un porcentaje muy elevado de las yemas se encuentra en la etapa 7-8 de desarrollo, en Santomera dicho porcentaje es mucho más bajo.

Todo lo señalado indica que en nuestras condiciones el frío invernal acumulado condiciona de manera importante la velocidad de desarrollo de las yemas. Basconsuelo *et al.* (1995) realizaron estudios morfológicos con yemas de flor de melocotonero y las sometieron a diferentes tratamientos de frío. Observaron que la velocidad de desarrollo de las yemas incrementaba con el frío, pero hacia la mitad del invierno las yemas mostraron menos receptividad a los requerimientos de frío. Weinberger (1968) indicó que el principal factor determinante de la velocidad de ruptura del letargo de yemas florales de melocotonero son las temperaturas cálidas máximas de noviembre y diciembre. El retraso en el desarrollo mostrado por las yemas de los albaricoqueros cultivados en Santomera coincide con los resultados obtenidos por Jonker (1979) en manzanos y perales, cuyas yemas de flor formadas a elevadas temperaturas evolucionaron lentamente. También coinciden nuestros resultados con los obtenidos por Brown y Abi-Fadel (1953) quienes analizaron el estado de desarrollo de yemas de flor de dos variedades de albaricoquero sometidas a diferentes condiciones de frío y observaron que las yemas de los árboles que se sometieron a más frío alcanzaron estados de desarrollo más avanzados antes que las de los demás tratamientos.

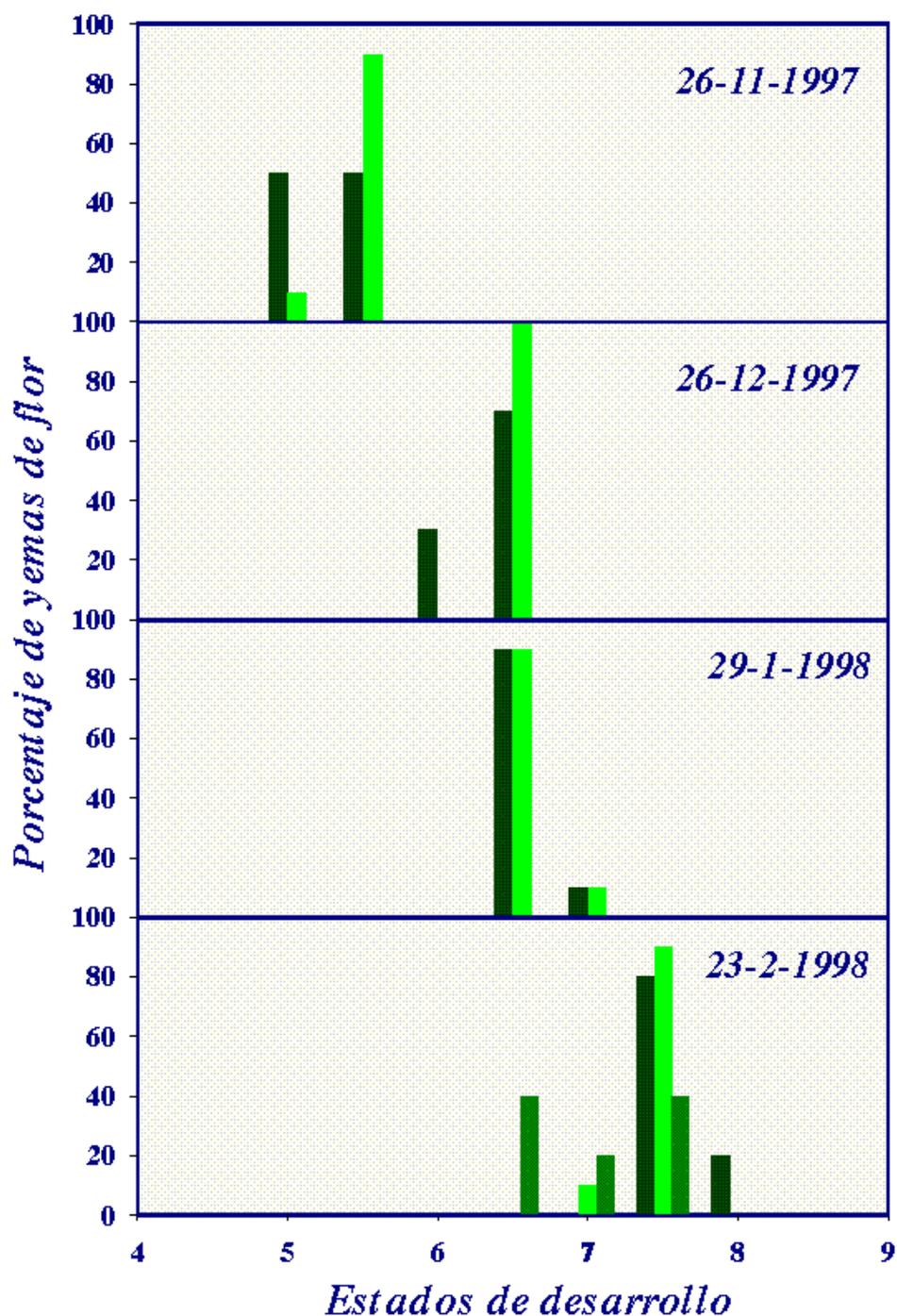


Figura 5.1. Estado de desarrollo de yemas florales de albaricoquero cv. Guillermo en Abarán (■), Cieza (■) y Santomera (■)

3.2. Influencia del riego en el desarrollo de las yemas florales de la variedad 'Guillermo'

Cuando se establecieron tres tratamientos de riego pudimos observar que la ausencia de aportación de agua durante el otoño en el tratamiento C provocó una situación de estrés hídrico importante que se tradujo en una temprana defoliación, alcanzando ya un 50% a comienzos de noviembre y siendo prácticamente total a final de este mes. Por el contrario en los dos restantes tratamientos la defoliación comenzó a mediados de noviembre y se completó en torno al 20 de diciembre, que es lo habitual en ausencia de estrés hídrico.

Los resultados de la evolución de las yemas de flor durante el invierno 1998-1999 podemos observarlos en la Figura 5.2. La primera toma se realizó en diciembre y encontramos en el tratamiento A un 60% de las yemas en estado 6, en el tratamiento B un 40% en estado 5-6 (intermedio entre el 5 y el 6, mostrando pistilo con óvulo joven, anteras con célula madre de granos de polen claramente diferenciadas) y otro 40% en estado 6, mientras que en el tratamiento C, con mayor estrés hídrico, la mayoría de las yemas se encontraban en el estado 5 de desarrollo. En enero se sigue observando esa evolución más adelantada en el tratamiento sometido a menos estrés hídrico, en el cual hay un 70% de las yemas en estado 7. Los otros dos tratamientos muestran el 60% de las yemas en estado 6, pero el restante 40% está en estado 6-7 en el tratamiento B y en el 5-6 en el tratamiento C, siguiendo con el retraso mostrado anteriormente. A mediados de febrero se realizó otra toma de yemas de flor que mostraron más homogeneidad en el grado de desarrollo en todos los tratamientos. La mayoría alcanzaron el estado 7 de desarrollo. El último análisis de este año fue realizado a las yemas recogidas a final de febrero y se encontraban en un 90% de los casos en estado 8 (Figura 5.3 y 5.4).

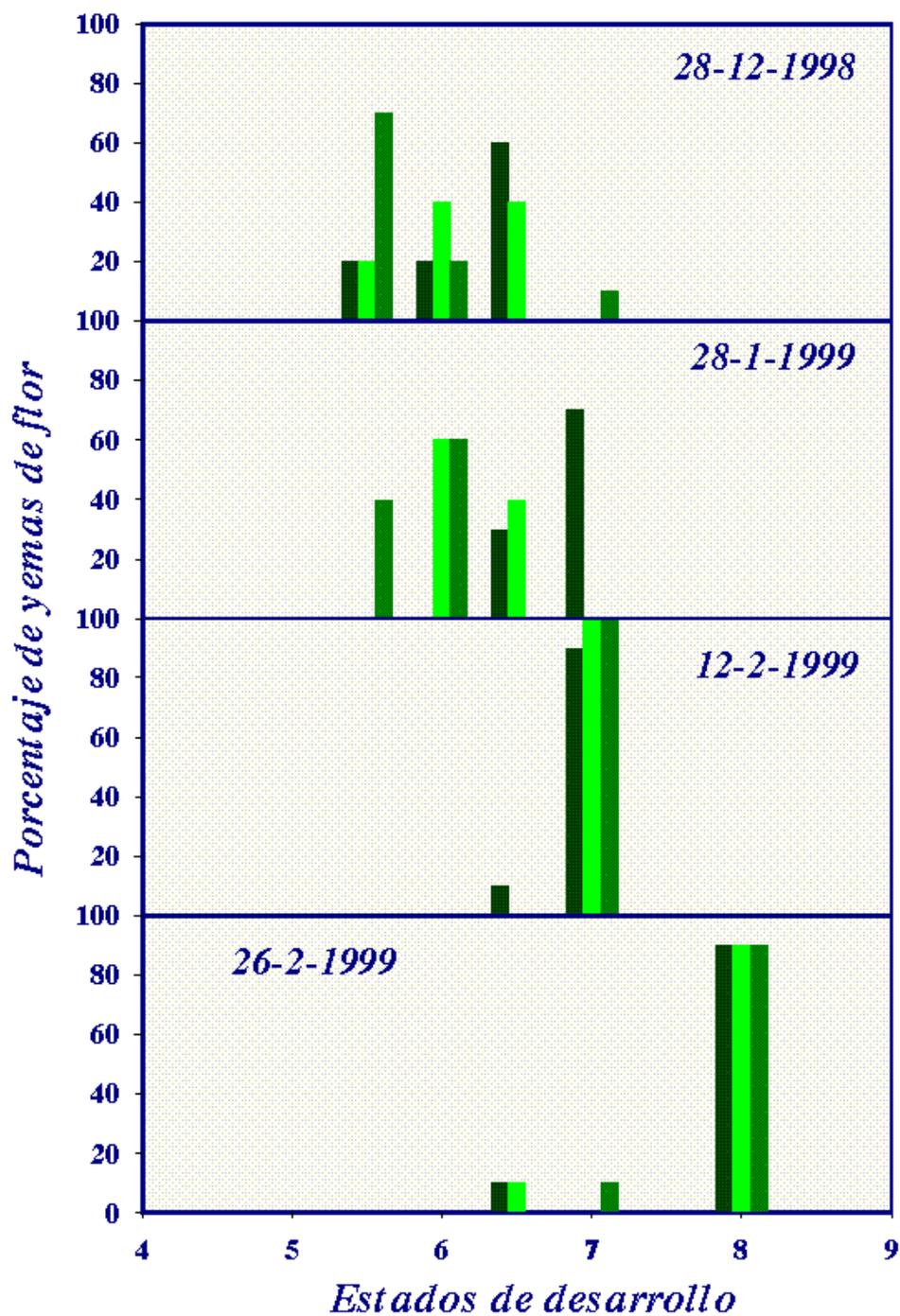


Figura 5.2. Estados de desarrollo (%) de yemas florales de albaricoquero cv. Guillermo en los tratamientos de riego A (■), B (■) y C (■)

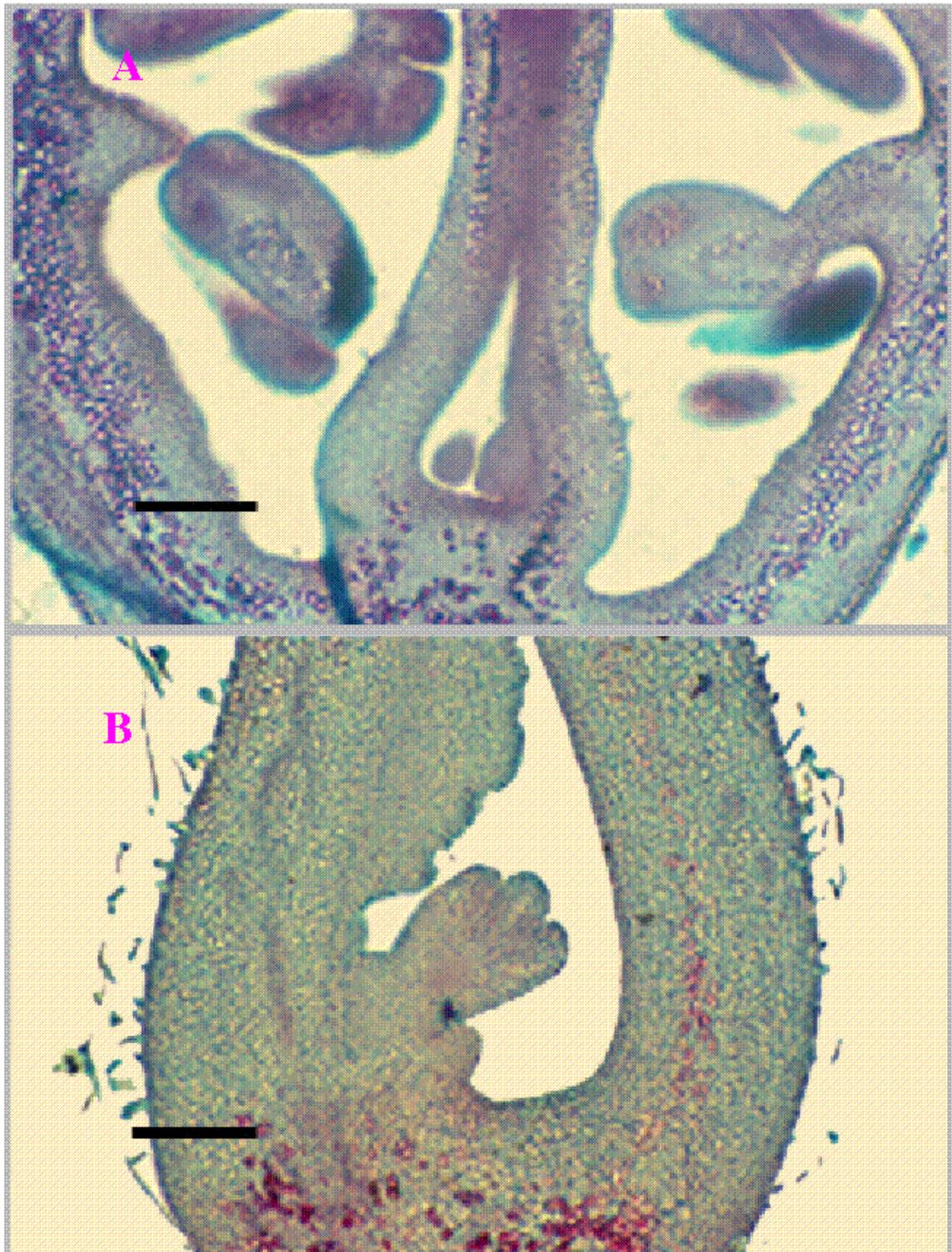


Figura 5.3. A) Pistilo de una yema en estado de desarrollo 7 mostrando inicio de óvulos. B) Pistilo de una yema en estado de desarrollo 8 mostrando óvulo formado. La barra representa 7 μm en A y 18 μm en B.

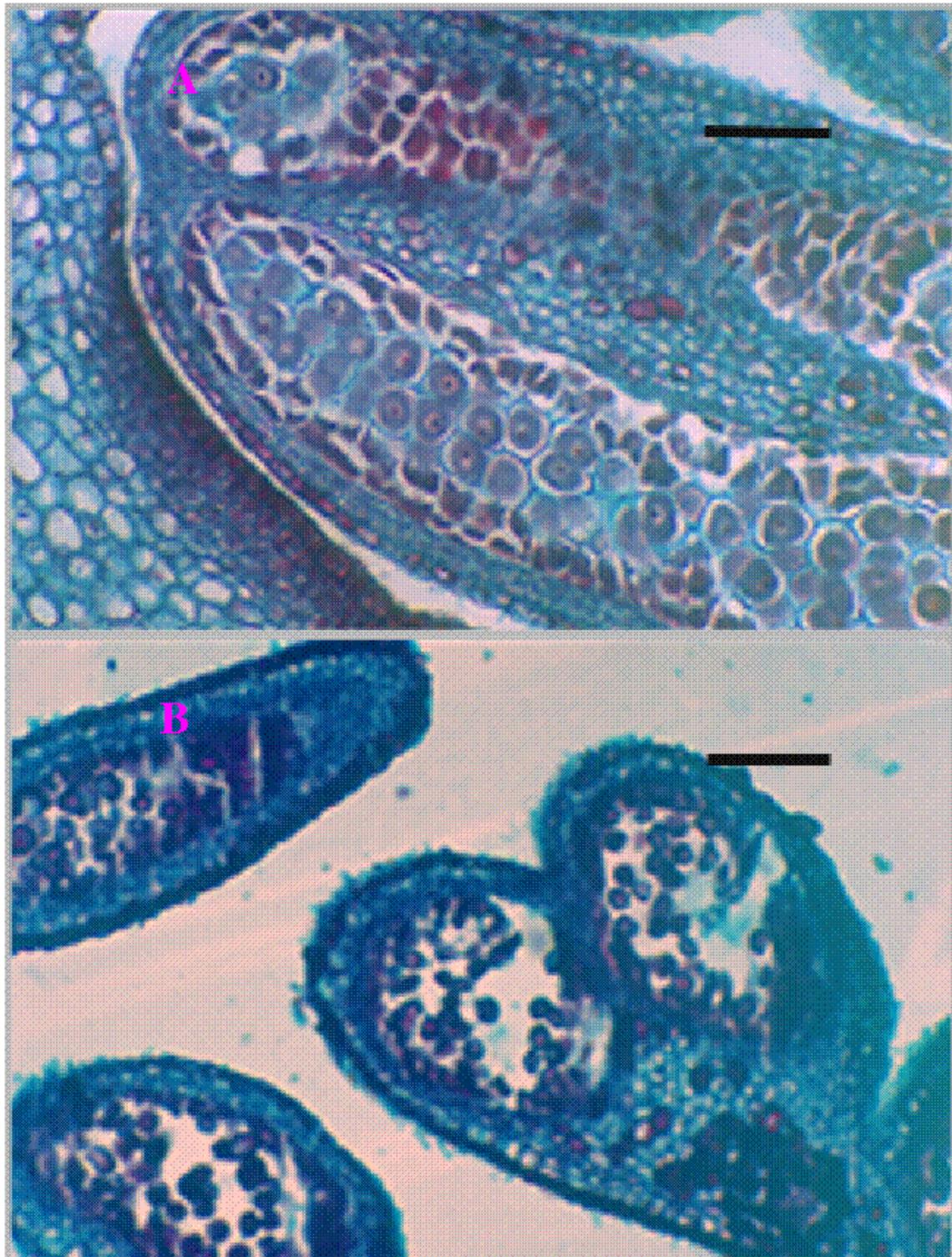


Figura 5.4. A) Detalle de una antera en una yema de flor en estado 7 de desarrollo mostrando tétradas y granos de polen formándose. B) Detalle de una antera en una yema de flor en estado 8 de desarrollo mostrando granos de polen. La barra representa 4 μm en A y 7 μm en B.

Brown (1952, 1953) al estudiar cómo afectaban diferentes periodos de sequía a la diferenciación y evolución de yemas de flor del albaricoquero 'Royal' estableció que el estrés hídrico durante periodos prolongados de julio, agosto y septiembre limitaba el número de yemas, se retrasaba el tiempo de diferenciación de algunas y se desarrollaban más lentamente. Nuestrass datos parecen indicar que mientras las condiciones de humedad del suelo fueron deficitarias en un tratamiento, esto se tradujo en una ralentización del desarrollo, pero que cuando se restituyó la humedad, se aceleró la evolución hasta alcanzar a las más desarrolladas. Este resultado podría tener su explicación en el hecho de que cuando no hay limitaciones por déficit hídrico, la velocidad del proceso de desarrollo de las yemas está determinada por la intensidad del letargo (Brown, 1957) que va siendo vencido progresivamente.

Monet y Bastard (1971) observaron deterioro de numerosas yemas de flor de melocotonero al someterlas a elevadas temperaturas durante noviembre y diciembre. Viti y Monteleone (1991) sugieren que anomalías encontradas en las yemas florales de algunas variedades de albaricoquero pueden ser debidas a altas temperaturas o sus oscilaciones diarias durante el invierno y las condiciones de sequía del verano y otoño precedentes. También Brown y Abi-Fadel (1953) indicaron que el deterioro de las yemas de flor podría ser atribuido a la falta de frío y escasez de agua o al conjunto de ambos factores, además de estar fuertemente ligado a la variedad. El análisis de yemas de los dos años mostró porcentajes muy bajos de malformaciones y no pudieron ser asociados a condiciones de elevadas temperaturas o de sequía edáfica.

3.3. Análisis de yemas de flor necrosadas

Las yemas de flor recogidas de brotes cortos sobre madera de dos años se desarrollaron normalmente, sin apreciarse caídas de yemas malformadas en ningún momento del letargo. Sin embargo, al final del proceso, cerca de la floración, la caída de yemas de flor es espectacular en la variedad estudiada, 'Guillermo' y en otras de las llamadas 'de Clase'. Las caídas de yemas de flor anteriores a la gran caída que se produce justo antes de entrar el árbol en proceso vegetativo activo, fueron prácticamente imperceptibles, por lo que los daños importantes o bien la detención del desarrollo y la formación de la capa de abscisión, se producen casi exclusivamente en esa fase avanzada. Análisis preliminares realizados el primer año de experimentación a yemas de flor recogidas a principio de marzo (unos días antes de la plena floración) que caerían sin llegar a ser flores, ya que estaban necrosadas exteriormente, mostraron que el desarrollo de estas yemas se detenía en etapas diversas como la 5-6, la 6 o incluso la 7. Un 30% de las yemas observadas presentaban tejidos deteriorados, lo cual impidió identificar el grado de desarrollo en el que estaban. Se repitió el análisis histológico de este tipo de yemas en el tercer año de experimentación tomando un mayor número de repeticiones a final de febrero y los resultados mostraron que un 20% de las muestras estaba en el estado 6 de desarrollo, un 46.7% en el estado 6-7 y el 33.3% restante presentaba tejido degenerado, en el pistilo o las anteras, no pudiendo definirse el grado de evolución de estas yemas (Figuras 5.5 y 5.6). Aunque en las yemas caídas que aparecen necrosadas no se puede identificar claramente el estado de desarrollo, algunos indicios que presentan y el momento de la caída indican que se trata de yemas en estados similares a las demás que caen o sólo ligeramente anteriores. En el resto de las yemas caídas predominan los estados cercanos al máximo desarrollo antes de la floración. Todo indica que el factor o factores que provocan las caídas opera en una etapa avanzada de la ruptura del letargo, cuando comienza de nuevo la actividad normal del árbol.

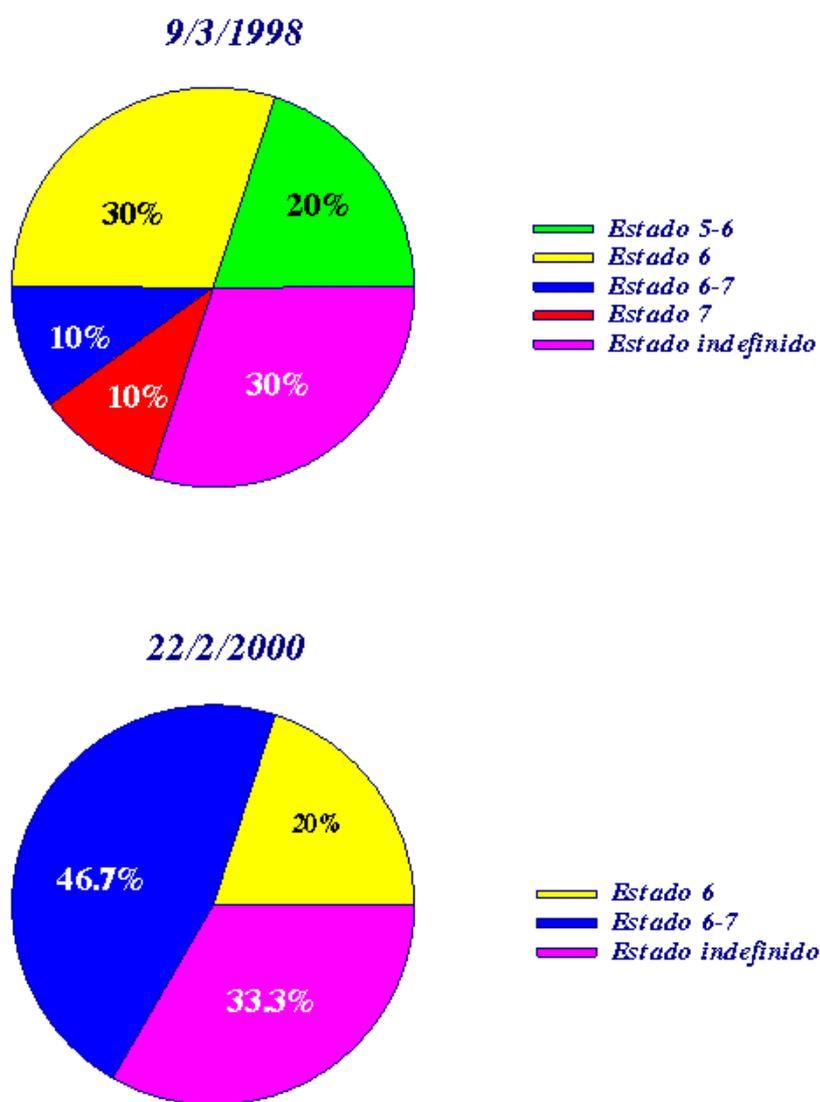


Figura 5.5. Estados de desarrollo de yemas de flor necrosadas de albaricoquero cv. Guillermo

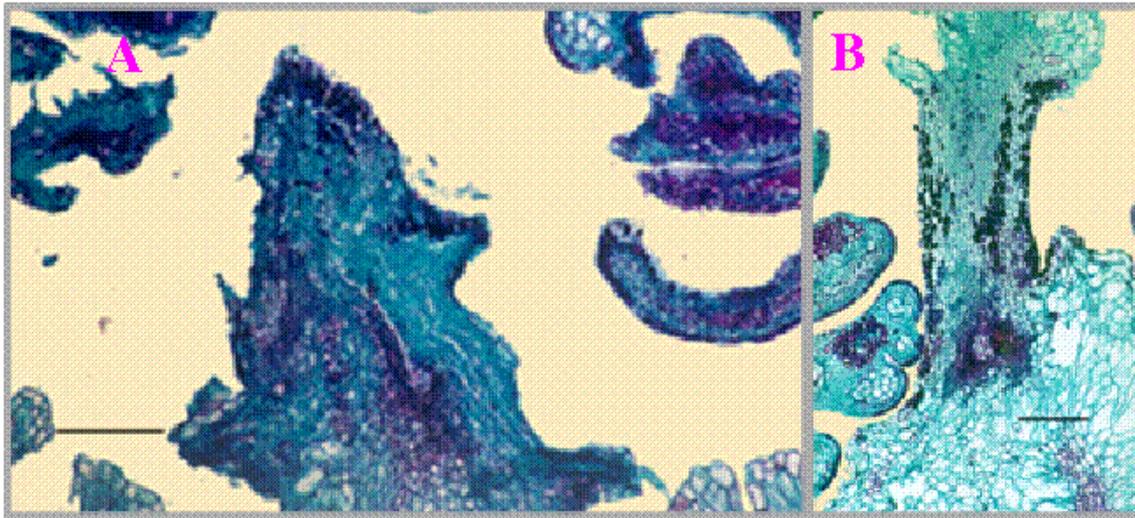


Figura 5.6. Yemas de flor con pistilo y las anteras deterioradas (A) y con crecimiento anormal de tejido celular en la base del pistilo (B). La barra representa 50 μm .

3.4. Análisis de yemas de flor de brotes jóvenes vigorosos

Durante dos años consecutivos se recogieron yemas de flor que crecían en brotes largos y vigorosos. En 1998 se realizó solamente una toma de muestras a finales de febrero, ya que es en esta época cercana a la floración de 'Guillermo' cuando se observan las mayores caídas de yemas, y se buscó la posible relación con la aparición de malformaciones. Encontramos un 20% de las yemas malformadas y en un estado muy atrasado (estado 6). Al año siguiente se tomaron muestras en cuatro fechas distintas con el fin de seguir la evolución y determinar en que momento aparecen las malformaciones y observamos que no aparecieron yemas malformadas hasta finales de febrero cuando un 50% de las examinadas presentaban malformaciones, siendo su evolución normal hasta ese momento (Figura 5.7). Aunque estos porcentajes del 20 y el 50% de yemas deterioradas no pueden explicar las espectaculares caídas que se dan en los brotes vigorosos, sin duda son un factor importante que incide en estas caídas.

En cuanto a la evolución de las yemas, comparando las de brotes cortos y las de brotes largos, estas últimas presentan un ligero retraso a finales de diciembre. A finales de febrero ninguna había alcanzado el estado 8, mientras que la mayor parte de las yemas de brotes cortos estaban en ese estado. Esto está de acuerdo con el hecho de que las pocas yemas que no caen en los brotes vigorosos, florecen ligeramente más tarde que las restantes yemas del árbol.

Estudios comparativos hechos sobre yemas de brotes vigorosos y de ramas normales (Brown y Abi-Fadel, 1953) mostraron que el estado de desarrollo era bastante variable en las yemas de los primeros, lo cual coincide con lo que nosotros encontramos, principalmente en las últimas etapas de la evolución, próximas a la floración. Nuestros resultados también están en concordancia con lo que observaron Legave *et al.* (1982) ya que el porcentaje final de daños en yemas de

brotos largos de albaricoquero es más importante que el que se da en las de brotes cortos.

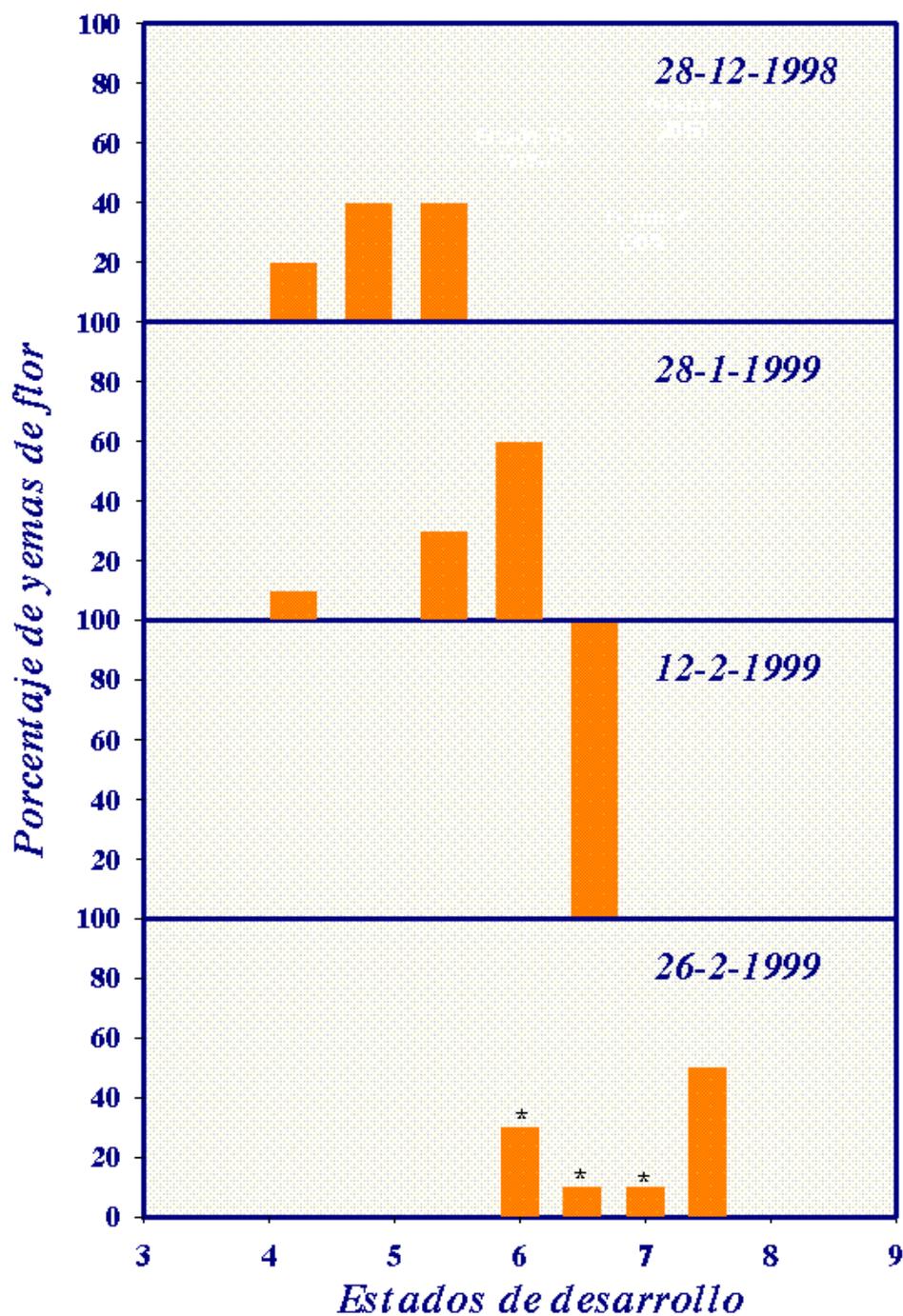


Figura 5.7. Estado de desarrollo (%) de las yemas florales de albaricoquero cv. Guillermo recogidas de brotes vigorosos de 1 año. (*) Yemas malformadas

4. FRUCTIFICACIÓN

4.1. Fructificación en distintas variedades

Al igual que ocurría con las caídas de yemas de flor en las variedades estudiadas en Santomera, los porcentajes de fructificación observados son muy dispares (Tablas 5.13 y 5.14).

Tabla 5.13. Valores del estadístico F obtenidos en el análisis de la varianza de la fructificación de nueve variedades de albaricoquero cultivadas en Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>F</i> |
|----------------------------|---------------------------|-----------|
| <i>Variedad</i> | 8 | 79,15 *** |
| <i>Año</i> | 2 | 1,62 n.s. |
| <i>Variedad x Año</i> | 14 | 7,20 *** |
| <i>Error</i> | 82 | |

*, ** y *** indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con n.s.

La variabilidad de los porcentajes de fructificación en los tres años estudiados no es significativa, comportándose de manera similar el conjunto de variedades durante dicho periodo, lo que implica que las diferentes condiciones climáticas de los años en que se repitió el ensayo no afectaron a la fertilidad floral de este grupo de variedades. Existen numerosos estudios sobre la influencia de la climatología en la fructificación de frutales, con resultados contradictorios al respecto. Así, en manzano (Abbott, 1971; Beattie y Folley, 1977; 1978; Jackson y Hamer, 1980; Tromp, 1986; Caprio y Quamme, 1998) observaron el efecto negativo de temperaturas cálidas en la producción, pero otros autores no han podido relacionar distintas condiciones de temperatura con diferencias en la fructificación en peral (Atkinson y Lucas, 1996).

Tabla 5.14. Porcentajes de fructificación en nueve variedades de albaricoquero cultivadas en Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| | | FRUCTIFICACIÓN |
|----------|-------------|-----------------|
| AÑO | 1998 | 25,19 ± 5,21 |
| | 1999 | 30,24 ± 3,45 |
| | 2000 | 32,70 ± 3,31 |
| VARIEDAD | 'Beliana' | 63,50 ± 3,31 a |
| | 'Priana' | 56,43 ± 2,91 ab |
| | 'Palstein' | 53,77 ± 2,09 b |
| | 'Bebeco' | 36,37 ± 5,70 c |
| | 'Guillermo' | 23,43 ± 1,35 d |
| | 'Bergerón' | 14,50 ± 3,08 e |
| | 'Pepito' | 13,16 ± 2,33 ef |
| | 'Goldrich' | 12,08 ± 2,16 ef |
| | 'Colorao' | 7,95 ± 1,06 f |
| 1998 | 'Bebeco' | 66 ± 4,9 a |
| | 'Palstein' | 53,67 ± 2,52 b |
| | 'Guillermo' | 24,07 ± 2,57 a |
| | 'Pepito' | 14,37 ± 1,2 d |
| | 'Bergerón' | 9,95 ± 1,08 de |
| | 'Colorao' | 5 ± 1,8 e |
| 1999 | 'Goldrich' | 3,26 ± 1,96 e |
| | 'Beliana' | 63,86 ± 3,87 a |
| | 'Palstein' | 57,1 ± 4,45 ab |
| | 'Priana' | 51,86 ± 4,35 b |
| | 'Guillermo' | 23,82 ± 2,32 c |
| | 'Pepito' | 19,42 ± 3,9 c |
| 2000 | 'Bebeco' | 16,32 ± 1,46 cd |
| | 'Goldrich' | 14,6 ± 3,69 cd |
| | 'Bergerón' | 8,02 ± 1,18 d |
| | 'Colorao' | 6,7 ± 0,82 d |
| | 'Beliana' | 63,14 ± 5,87 a |
| | 'Priana' | 61 ± 2,97 a |
| 2000 | 'Palstein' | 50,5 ± 2,62 b |
| | 'Bebeco' | 38,64 ± 3,24 c |
| | 'Guillermo' | 22,74 ± 2,58 d |
| | 'Bergerón' | 22,41 ± 5,86 d |
| | 'Goldrich' | 15,52 ± 2,06 de |
| | 'Colorao' | 10,72 ± 1,58 e |
| | 'Pepito' | 6,18 ± 2,13 e |

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada grupo de años o variedades representan diferencias significativas al nivel de probabilidad 0,05 de acuerdo con un test L. S. D.

Al observar la Tabla 5.14 podemos distinguir un grupo de variedades que presentan una fructificación con valores próximos e incluso superiores al 50 % como son 'Priana', 'Beliana' y 'Palstein'. En 'Bebeco' se observa una fructificación variable según el año, con una media en los tres años inferior al 50 %. Esta variedad estaría en un grupo de fructificación intermedia, mientras que el resto de las variedades presentan porcentajes del 20 % o inferiores, siendo por tanto su fertilidad floral muy baja. Este es un factor negativo más a añadir que influye sobre la productividad final de las variedades 'Pepito', 'Guillermo', 'Colorao', 'Goldrich' y 'Bergerón', que se caracterizan por las escasas y fluctuantes cosechas en nuestras condiciones de cultivo. En las variedades de 'Clase', como ya hemos comentado anteriormente, existen varios factores que determinan su baja productividad, siendo la escasa fructificación un factor más a sumar a los restantes. El hecho de que la fructificación sea un factor ligado a la variedad ha sido observado en otras especies como el peral (Atkinson y Taylor, 1994; Atkinson y Lucas, 1996) donde se comprobó la importante incidencia de la variedad en los resultados de fructificación cuando se establecieron distintas condiciones de temperatura durante el otoño anterior a la cosecha en dos variedades distintas observándose el efecto de éstas en una de ellas pero no en la otra. El año también influye en la fructificación de algunas variedades como es el caso de 'Bebeco', 'Colorao', 'Pepito' o 'Goldrich' y esto se puede atribuir, entre otras causas, a las condiciones climáticas que se dan durante la floración, variables según el año, y que pudieron afectar la polinización.

4.2. Fructificación en la variedad 'Guillermo' sometida a distintas condiciones de frío invernal

Durante los tres años de experimentación se tomaron datos de fructificación en 'Guillermo' cultivado en Abarán, Cieza y Santomera. Al realizar el análisis estadístico se encontró que el año tenía una influencia en la fructificación ($P < 0.05$)

y la localización le afectaba de una forma más mucho más significativa ($P < 0.001$) (Tabla 5.15).

Tabla 5.15. Valores del estadístico *F* obtenidos en el ANOVA para los porcentajes de fructificación de la variedad ‘Guillermo’ cultivada en Abarán, Cieza y Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| Fuente de variación | Grados de libertad | <i>F</i> |
|---------------------------|--------------------|-----------|
| <i>Año</i> | 2 | 4,93 * |
| <i>Localización</i> | 2 | 11,33 *** |
| <i>Año x Localización</i> | 3 | 7,84 *** |
| <i>Error</i> | 27 | |

*, ** y *** indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ns.

Es preciso aclarar que los porcentajes de fructificación del segundo año, diferentes a los de los otros años y más bajos (Tabla 5.16), pueden ser debidos a la ocurrencia de lluvias durante la floración de ese año, lo que dificultó la polinización y provocó una inusual falta de cosecha. Por lo tanto, no está claro que las temperaturas del año tengan una influencia sobre la fructificación y la fertilidad floral de ‘Guillermo’ a pesar de las distintas condiciones de frío registradas en cada año (Capítulo 4). La localización si parece tener una marcada influencia en los porcentajes de fructificación obtenidos aunque no existe una correlación entre el frío acumulado en los emplazamientos y la fructificación. Sin embargo, frecuentemente las cálidas temperaturas otoñales e invernales han sido consideradas como un factor que influye negativamente en la fructificación de numerosos frutales, como el melocotonero (Weinberger, 1954) cuando se observaron breves periodos de cálidas temperaturas durante el invierno.

Tabla 5.16. Porcentajes de fructificación de 'Guillermo' en Abarán, Cieza y Santomera en los años 1998, 1999 y 2000

| | | FRUCTIFICACIÓN |
|---------------------|-----------|------------------|
| AÑO | | |
| | 1998 | 21,33 ± 1,63 a |
| | 1999 | 14,81 ± 2,95 b |
| | 2000 | 18,94 ± 3,32 a |
| LOCALIZACIÓN | | |
| | Abarán | 12,35 ± 3,06 a * |
| | Cieza | 19,70 ± 2,28 b |
| | Santomera | 23,43 ± 1,35 b |
| Abarán | | |
| | 1998 | 21,75 ± 1,64 a |
| | 1999 | 2,04 ± 1,27 b * |
| | 2000 | 15,14 ± 5,97 a |
| Cieza | | |
| | 1998 | 18,85 ± 3,79 a |
| | 1999 | 20,38 ± 3,13 a |
| Santomera | | |
| | 1998 | 24,07 ± 2,57 a |
| | 1999 | 23,82 ± 2,32 a |
| | 2000 | 22,74 ± 2,57 a |

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada grupo de años o localizaciones representan diferencias significativas al nivel de probabilidad 0,05 de acuerdo con un test L.S.D.

* Dato severamente afectado por importantes lluvias durante la floración

En la variedad de manzano 'Lord Lambourne' Abbott (1971) observó importantes diferencias de cosecha asociadas a temperaturas más o menos cálidas en el periodo comprendido entre el fin del reposo de las yemas y la caída de pétalos de la flor, siendo más convenientes las más bajas. Beattie y Folley (1977; 1978) y Jackson y Hamer (1980) encontraron que las temperaturas superiores a las normales en los meses preflorales (febrero, marzo y abril) se podían correlacionar con un descenso en la producción de manzanas de la variedad 'Cox' Orange Pippin'. También en manzano, Caprio y Quamme (1998) observaron que la producción de manzanas en Canadá era favorecida por temperaturas cálidas durante la floración y negativamente afectada por temperaturas muy bajas o altas fuera de estación. En el peral 'Conferencia', Browning y Miller (1992) indicaron la relación existente entre las temperaturas cálidas en noviembre y el bajo rendimiento

productivo de esta variedad en Inglaterra. Atkinson y Taylor (1994) encontraron resultados similares cuando sometieron esta variedad a temperaturas nocturnas más elevadas durante noviembre, pero no cuando lo hicieron en octubre. Posteriormente Atkinson y Lucas (1996) comprobaron la importante incidencia de la variedad en el efecto de las temperaturas cálidas otoñales sobre la cosecha cuando trabajaron con otra variedad de peral, ‘Concorde’, más tardía y no observaron diferencias en la fructificación asociadas a un incremento de las temperaturas otoñales. En este trabajo no se han podido asociar otoños e inviernos más cálidos que otros (según el año y la localización) con un descenso en la fertilidad floral de la variedad de albaricoquero ‘Guillermo’, aunque es posible que exista alguna relación entre las temperaturas de algún periodo más reducido, que resulte crítico para el éxito de la fertilidad floral, y los porcentajes de fructificación, puesto que existen diferencias entre las fructificaciones en las distintas situaciones de frío acumulado objeto de este estudio. Respecto a esto, Egea y Burgos (1995) encontraron en almendro una correlación negativa entre las temperaturas de los meses previos a la floración y la producción de frutos con semilla doble, siendo la correlación mucho más estrecha con las temperaturas del mes de diciembre que con las de noviembre o enero. Para clarificar la existencia de una relación de ese tipo en la variedad de albaricoquero ‘Guillermo’, serían necesarios estudios más profundos y detallados sobre este asunto.

4.3. Fructificación en la variedad ‘Guillermo’ sometida a distintas condiciones de riego

Los resultados de fructificación obtenidos en los distintos tratamientos de riego durante el segundo año del ensayo descritos en el apartado 5.2.2 (Tabla 5.1), indican que no hay influencia del riego en la fertilidad floral de esta variedad. Aquí también los resultados de fructificación se vieron severamente afectados por las lluvias en floración (Tabla 5.17). En el último año del ensayo, cuando se establecieron otros tratamientos de riego (Tabla 5.2), tampoco se observan diferencias significativas (Tabla 5.18).

Tabla 5.17. Porcentajes de fructificación en ‘Guillermo’ en Abarán sometido a distintos tratamientos de riego en el año 1999

| TRATAMIENTO | FRUCTIFICACIÓN |
|-------------|----------------|
| A | 2,04 ± 1,27 |
| B | 2,72 ± 2,03 |
| C | 6,84 ± 1,15 |

Tabla 5.18. Porcentajes de fructificación en ‘Guillermo’ en Abarán sometido a distintos tratamientos de riego en el año 2000

| TRATAMIENTO | FRUCTIFICACIÓN |
|-------------|----------------|
| 1 | 15,14 ± 5,97 |
| 2 | 26,97 ± 5,58 |

Estos resultados sugieren que el riego no es un factor determinante en la fertilidad floral de esta variedad ‘Guillermo’. Se han realizado numerosos trabajos tratando de relacionar el estrés hídrico en diferentes épocas del cultivo de frutales y la producción de éstos. Larson *et al.* (1988) observaron en árboles de melocotonero una mayor producción de flores y cuajado de frutos en aquellos menos regados durante el verano y principio de otoño. Estos autores indican que estos resultados pueden deberse a diferencias en el contenido de carbohidratos, niveles de nutrientes, niveles de hormonas en el árbol o la combinación de ambos factores. Sin embargo, Husling *et al.* (1993) encontraron un incremento del cuajado en la variedad de melocotonero ‘Crest Haven’ en árboles que no sufrieron estrés hídrico frente a otros no regados. En albaricoquero Ruiz-Sánchez *et al.* (1999) y Torrecillas *et al.* (2000) han comprobado la existencia de un periodo crítico de sequía durante un mes y medio aproximadamente después de la recolección de frutos que provoca una disminución de la cosecha del año siguiente. Este estrés hídrico podría potenciar la caídas de frutos jóvenes.

4.4. Fructificación en brotes vigorosos de la variedad ‘Guillermo’

Se realizó el análisis estadístico de los datos de fructificación obtenidos en brotes largos o vigorosos durante dos años consecutivos, comparándolos con las fructificaciones de los brotes cortos (Tabla 5.19). No se observó ninguna influencia del año, ni del tipo de brotes, en los datos tomados durante los dos ciclos estudiados. Los porcentajes de fructificación obtenidos en el tipo de formaciones jóvenes y vigorosas fueron superiores al 20 por ciento, lo que supone una buena fructificación en esta variedad en la que, habitualmente, no se suelen superar estos valores (Tabla 5.20).

Tabla 5.19. Valores del estadístico F obtenidos en el análisis de la varianza de los porcentajes de fructificación en brotes vigorosos y brotes cortos, de la variedad ‘Guillermo’ cultivada en Abarán en los años 1998 y 1999

| <i>Fuente de variación</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>F</i> |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------|
| <i>Año</i> | 1 | 0,87 ^{n.s.} |
| <i>Tipo de brotes</i> | 1 | 0,52 ^{n.s.} |
| <i>Año x Tipo de brotes</i> | 1 | 1,18 ^{n.s.} |
| <i>Error</i> | 14 | |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{n.s.}

Tabla 5.20. Porcentajes de fructificación en distintos tipos de brotes de la variedad 'Guillermo' en los años 1998 y 1999

| | | FRUCTIFICACIÓN |
|----------------|------------|----------------|
| AÑO | 1998 | 22,02 ± 5,49 |
| | 1999 | 14,35 ± 10,06 |
| TIPO DE BROTES | | |
| | Vigorousos | 24,72 ± 11,33 |
| | Cortos | 10,80 ± 3,59 |

El número de flores que se desarrolla sobre los brotes largos es muy bajo, debido a las grandes caídas de yemas. El comportamiento de las flores que quedan en este tipo de formaciones es similar a las flores sobre ramos cortos en cuanto a la fertilidad floral, de acuerdo con los resultados obtenidos de porcentajes de fructificación en ambos tipos de brotes, entre los que no hay diferencias. Sin embargo, los frutos obtenidos son muy escasos e incluso nulos en los brotes vigorosos, por lo que estas formaciones no son interesantes desde el punto de vista productivo.

6. EFECTO DE LAS TEMPERATURAS ELEVADAS PREVIAS Y POSTERIORES A LA FLORACIÓN

INTRODUCCIÓN

Las temperaturas elevadas en los días anteriores a la floración pueden jugar un importante papel acelerando los procesos de desarrollo de la flor, tanto de las partes externas como de las internas y provocando un adelanto en la aparición de flores (Beppu *et al.*, 1997). En algunas ocasiones se han asociado elevadas caídas de yemas de flor o malformaciones de flores con las altas temperaturas en periodos anteriores a la floración (Brown, 1952; Brown, 1958; Guerriero *et al.*, 1985). Eaton (1959) señala que el efecto de estas elevadas temperaturas preflorales puede

acelerar el desarrollo de las partes externas de la flor respecto a las internas, conduciendo a un asincronismo. Ya que en nuestra zona de cultivo, en la época que precede a la floración de la mayoría de las variedades, es frecuente que hayan días, a veces continuados, con temperaturas elevadas, hemos querido estudiar la influencia de éstas en la floración y en la fructificación final provocando un incremento artificial de las mismas y centrando el estudio en la variedad 'de Clase' 'Guillermo' que suele florecer en los primeros días de marzo y que es problemática en cuanto a la producción de flores y frutos se refiere.

Al igual que las temperaturas elevadas ejercen una influencia notable sobre el desarrollo de la flor hasta el momento de la apertura, las altas temperaturas cuando la flor ya ha abierto influyen en la receptividad del estigma (Egea *et al.*, 1988a; Burgos *et al.*, 1991), la evolución de la madurez de los óvulos (Thompson y Liu, 1973; Cerovic y Ruzic, 1992; Postweiler *et al.*, 1985; Beppu *et al.*, 1997) y en definitiva pueden afectar directamente al proceso de fecundación que culminará en la obtención de frutos. Aunque los agricultores tienen el sentimiento de que las temperaturas elevadas durante la floración (que en nuestras condiciones de cultivo pueden significar máximas entre 25 y 30 °C y mínimas de entre 10 y 15 °C) tienen, en general, una incidencia negativa en la fructificación de numerosos frutales, el albaricoquero es la especie que parece mostrarse más sensible a las mismas. Las variedades denominadas 'de Clase', con más necesidades de frío, suelen florecer más tarde quedando por ello expuestas más frecuentemente a condiciones de temperatura elevada en esa fase. Por lo tanto, estas variedades son habitualmente más afectadas por este fenómeno. Para evaluar la influencia de esas condiciones climáticas, frecuentes en nuestras áreas de cultivo, sobre la fructificación, establecimos ensayos en los que se trataba de obtener un incremento artificial de la temperatura en los días siguientes a la plena floración.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. TEMPERATURAS ELEVADAS PREVIAS A LA FLORACIÓN

Para tratar de alcanzar temperaturas más elevadas en campo, durante varios días antes de la floración se colocaron bolsas de plástico a las ramas en las que íbamos a hacer las medidas, de forma que se creara un efecto invernadero y las temperaturas diurnas en los días soleados fueran unos grados superiores a las ambientales. Las bolsas quedaban cerradas por un extremo y abiertas por el otro para favorecer la transpiración (Figura 6.1 A). En las condiciones de trabajo en campo, el conseguir una homogeneidad en el incremento de la temperatura media diaria es difícil, ya que depende de la radiación solar.

En el primer año de experimentación se colocaron bolsas con agujeros distribuidos regularmente y que representan un 15% del total de la superficie del plástico, de manera que el incremento medio de la temperatura en el interior de la bolsa fue de 2-3°C (se controló la temperatura máxima y mínima diaria en el interior y exterior de la bolsa). Se colocaron en ramas con brotes cortos de la variedad 'Guillermo', sobre los que se asienta la producción más importante de albaricoques, unos 15 ó 20 días antes de la fecha en la que suele florecer esta variedad. Las bolsas se retiraron justo antes de la floración, aunque en algún caso hubo alguna flor abierta en ese momento. El ensayo se repitió intentando propiciar condiciones similares de temperatura durante tres años consecutivos, aunque en los dos últimos se embolsaron las ramas con bolsas sin agujeros. Así, durante las horas de insolación se consiguió incrementar la temperatura interior de la bolsa aproximadamente en 4°C sobre la correspondiente del exterior de acuerdo con el modelo expuesto en la Figura 6.2. Se tomaron 5 repeticiones de las ramas embolsadas y 5 ramas testigo. Las bolsas se colocaron, todos los años del experimento, en ramas de árboles que estaban regados según la demanda hídrica, evitando cualquier periodo de sequía edáfica.



Figura 6.1. A) Rama embolsada en los días previos a la floración. B) Rama mostrando una aparición precoz de hojas tras haber sido embolsada en los días previos a la floración. C) Rama embolsada en los días posteriores a la floración

Se contaron las yemas de flor al poner las bolsas y las flores que había cuando éstas se retiraron. Las flores se polinizaron manualmente con una mezcla de polen para asegurar la compatibilidad y la fecundación. La recolección y extracción del polen se realizó de la siguiente forma: se recogieron flores de diferentes variedades en estado D de Fleckinger y se transportaron en una nevera portátil hasta el laboratorio. Una vez allí se les despojó de la corola y con la ayuda de unas pinzas se fueron extrayendo las anteras y depositándolas en una placa de Petri. A continuación se extendieron sobre la placa procurando evitar que se amontonaran a fin de conseguir una desecación homogénea. La desecación de las anteras se llevó a cabo durante 24 horas a temperatura ambiente, después de lo cual se introdujo el polen en tubos de ensayo tapados. Estos tubos se conservaron en un refrigerador a 4°C donde el polen se mantiene en buenas condiciones durante 3-6 semanas (Remy, 1953; Therios *et al.*, 1985).

Cuando habían transcurrido aproximadamente cinco semanas desde la polinización se contaron los frutos cuajados en cada rama, y también en las ramas control. Se determinó el porcentaje de caídas de yemas de flor así como el porcentaje de fructificación respecto del número de flores en cada rama. Igualmente se anotó la incidencia de los tratamientos sobre el desarrollo de las yemas vegetativas.

2. TEMPERATURAS ELEVADAS POSTERIORES A LA FLORACIÓN

Cuando árboles de la variedad ‘Guillermo’ estaban en plena floración en el primer año de experimentación, se contaron las flores en estado D-E de Fleckinger (Fleckinger, 1955) de ramas que posteriormente se embolsarían. Primeramente se emascularon y polinizaron con una mezcla de polen de distintas variedades obtenido como se indicó anteriormente, colocando a continuación las bolsas de plástico con agujeros que representaban un 15% de la superficie (Figura 6.1 C), de

manera que el incremento medio de la temperatura en el interior de la bolsa fue de 2-3°C. Se tomaron cuatro ramas por tratamiento. Transcurrido un mes aproximadamente se contaron los frutos cuajados en cada rama. Se calculó el porcentaje de fructificación respecto del número de flores en cada rama.

En el segundo y el tercer año de experimentación se repitió el ensayo con ‘Guillermo’ en Abarán, embolsando en este caso ramas con bolsas sin agujeros, consiguiendo así incrementar la temperatura interior de la bolsa en mayor medida que con las bolsas con agujeros en 2°C aproximadamente, alcanzando por lo tanto un incremento de 4-5°C. El ensayo se estableció con cinco repeticiones y sus correspondientes ramas testigo. En todas se determinó el porcentaje de fructificación a partir de las flores polinizadas.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se utilizó un análisis de varianza de máxima verosimilitud adecuado para el análisis de datos categóricos. Se tuvieron en cuenta las yemas que quedan en las ramas y las que caen como una respuesta dicotómica, es decir, una variable que sólo tiene dos valores. La distribución de estos datos es binomial y el estadístico que se utiliza para decidir si el efecto de un factor sobre la variable dependiente es significativo es la χ^2 en lugar del estadístico F típicamente empleado en el análisis de varianza. El uso de contrastes específicos para responder determinadas preguntas permitió discriminar entre diferentes niveles de un factor o tratamiento. El error estándar se calculó como: $E.S. = (P_1 \times P_2 / n)^{1/2}$, siendo P_1 la probabilidad de que ocurra un suceso en tanto por uno, $P_2 = 1 - P_1$ y n es el tamaño de la muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. TEMPERATURAS ELEVADAS PREVIAS A LA FLORACIÓN

1.1. Efecto de las bolsas en el incremento de la temperatura diurna

En la Figura 6.2 se puede observar la variación diaria de las temperaturas máximas registradas en el interior de las ramas embolsadas sin agujeros, las del exterior y el incremento de estas temperaturas con sus errores estándar, correspondientes a datos tomados durante tres días. Se trata, evidentemente, de días soleados.

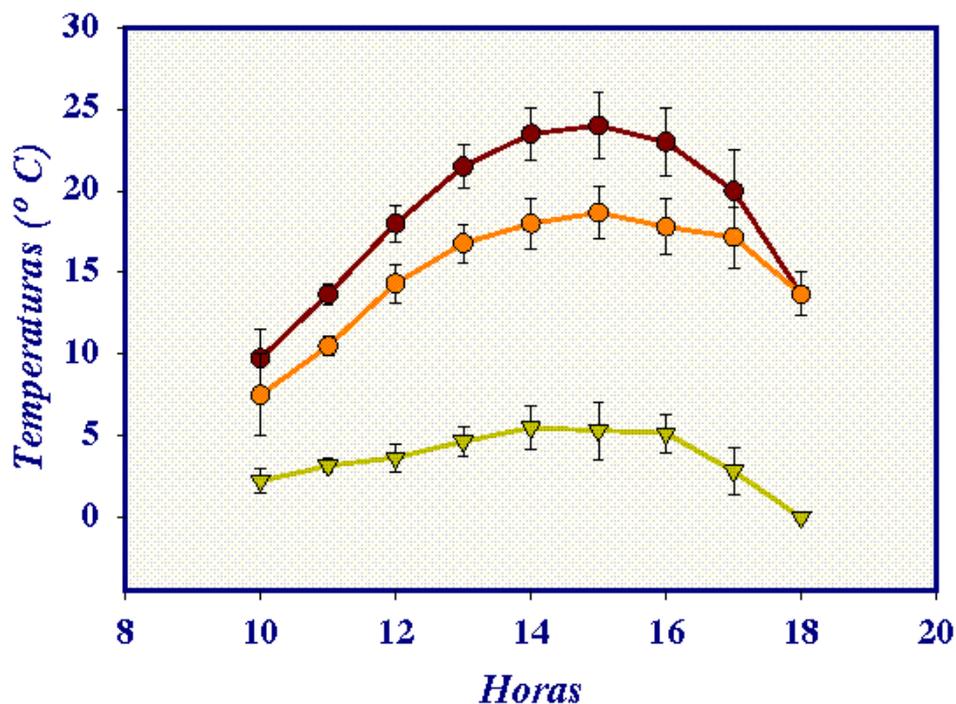


Figura 6.2. Variación de temperaturas por efecto del embolsamiento. Temperatura en el interior de ramas embolsadas (●), temperatura exterior (●) y diferencia de temperatura entre ramas embolsadas y exterior (▼). Los datos son medias \pm ES de una determinación realizada independientemente en tres días.

Las temperaturas mínimas fueron similares en ambos casos, mientras que las máximas durante el mes de febrero, que es el que precede inmediatamente a la floración, comenzaron ya a diferenciarse a partir de las diez de la mañana, incrementándose progresivamente las diferencias hasta las tres de la tarde cuando nuevamente, aunque de forma lenta, comenzaron a reducirse las diferencias hasta hacerse imperceptibles en torno a las seis de la tarde. Estos datos corresponden a días claros, soleados, con viento no muy fuerte. En los días nublados no hubo diferencias entre el interior y el exterior de las bolsas, mientras que en los días con nubes y claros las diferencias fueron variables, sin responder a un patrón de comportamiento.

1.2. Caídas de yemas de flor

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en las ramas embolsadas unos días antes de la floración, reveló que la caída de yemas de la variedad ‘Guillermo’ fue afectada significativamente por el año en que se realizó el ensayo, no fue afectada por el tratamiento (embolsar las ramas o no) y que existía una interacción muy significativa entre años y tratamientos (Tabla 6.1).

El año influye casi siempre en las caídas de yemas florales, como se apuntó en el Capítulo 5, y en este ensayo en los tres años se registraron valores diferentes de caídas de yemas de flor (Tabla 6.2).

El frío acumulado en los tres años en la localidad de Abarán fue variable (Capítulo 4, Tabla 4.1). El más cálido fue el año 1998, seguido del 1999 y por último el 2000, que fue el más frío. Son mayores las caídas de yemas florales de la variedad ‘Guillermo’ en el año 2000 (Figura 6.3), en el que se cubren adecuadamente sus necesidades de frío, que en aquellos años en los que apenas quedan satisfechas estas

necesidades, pero hemos de apuntar que en el año 2000 las temperaturas del mes de febrero fueron extraordinariamente elevadas y la acumulación de frío, contra lo habitual, fue prácticamente nula en ese mes.

Tabla 6.1. Valores de χ^2 obtenidos en el análisis de la varianza de máxima verosimilitud para la caída de yemas de flor y fructificación en ramas embolsadas antes de la floración y de ramas testigo de la variedad ‘Guillermo’ en Abarán en 1998, 1999 y 2000

| Fuente de variación | Grados de libertad | Caídas | Fructificación |
|---------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Constante | 1 | 585,50 ^{***} | 140,70 ^{***} |
| Años | 2 | 363,56 ^{***} | 7,05 [*] |
| Tratamiento | 1 | — ^a | — ^a |
| Años x Tratamiento | 2 | 26,57 ^{***} | 8,41 [*] |
| Residuo | 1 | 0,32 ^{n.s.} | 0,37 ^{n.s.} |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{n.s.}

^a Estos términos no fueron significativos y fueron eliminados en el modelo reducido

Tabla 6.2. Estimación de los contrastes de máxima verosimilitud derivados del efecto del año en la caída de yemas florales y fructificación de la variedad ‘Guillermo’ en los años 1998, 1999 y 2000

| Contrastes | Caídas (χ^2) | Fructificación (χ^2) |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1998 vs. 1999 | 77,59 ^{***} | 1,15 ^{n.s.} |
| 1999 vs. 2000 | 19,07 ^{***} | 0,31 ^{n.s.} |
| 1998 vs. 2000 | 328,57 ^{***} | 5,52 [*] |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{n.s.}

Por lo tanto, ese choque cálido pudo afectar a la salida del reposo y provocar el desarrollo de la capa de abscisión en las yemas de flor que cayeron en un porcentaje superior al observado habitualmente. Aunque no hay trabajos que apoyen esta hipótesis, se ha apuntado a veces que se puede producir una ‘confusión hormonal’ cuando un árbol frutal que está en letargo invernal se ve sometido a temperaturas elevadas durante unos días y se pone en marcha el proceso de ruptura del letargo de manera acelerada, pudiendo provocar disfunciones en las yemas de flor y, por lo tanto, su caída (Beattie y Folley, 1978).

La interacción existente entre los años y tratamiento y la diferencia muy significativa entre años, hicieron que se estudiaran los años por separado. Al comparar las caídas de yemas de flor de las ramas embolsadas y control en 1998 encontramos que no habían diferencias, pero en el año 1999 las caídas de yemas de las ramas tratadas y las control si fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$), así como en el 2000 ($P < 0.001$).

Las diferencias que aparecen entre tratamientos en los años 1999 y 2000 se pueden observar en la Figura 6.3. Aunque en 1999 las caídas de yemas sean mayores en las ramas embolsadas, no ocurre así en el año 2000. En contra de lo que cabía esperar, el tratamiento no provocó una caída de yemas mayor ni en el año 1998, ni en el 2000. Los resultados obtenidos sugieren que el incremento de las temperaturas, en los términos planteados del experimento, unos días antes de la floración no influyen decisivamente en el proceso de caída de yemas. Sin embargo, la gran variabilidad de las condiciones meteorológicas con días cubiertos o soleados, con viento fuerte o en calma, etc., hicieron extremadamente difícil ajustar, año tras año, las condiciones del experimento, lo que, junto a la disparidad de los resultados obtenidos, nos sugiere la necesidad de realizar este experimento en condiciones más controladas a fin de establecer con seguridad el resultado de elevar las temperaturas en ese espacio de tiempo previo a la floración.

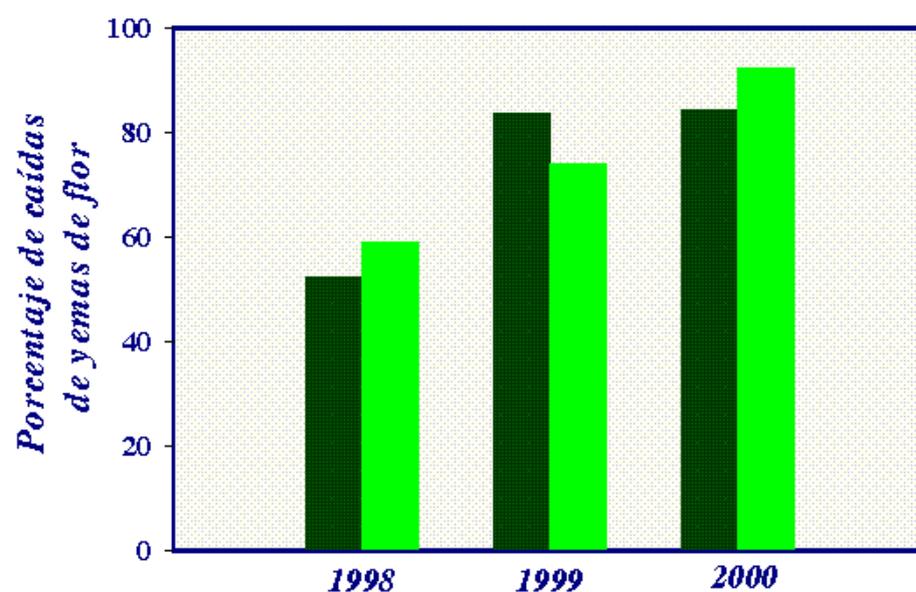


Figura 6.3. Efecto del embolsado previo a la floración de ramas de la variedad 'Guillermo' sobre la caída de yemas de flor en los años 1998, 1999 y 2000. Ramas embolsadas (■), ramas control (□)

Algunos autores como Monet y Bastard (1971) observaron la incidencia negativa de las temperaturas cálidas en el desarrollo de las yemas cuando sometieron yemas florales de melocotonero a 25°C, principalmente durante octubre, noviembre y diciembre. Brown (1952) atribuyó alteraciones en yemas de flor de albaricoquero, que provocarían su caída, a un cálido invierno al que fueron sometidas e incluso a elevadas temperaturas de finales de septiembre y octubre (Brown, 1958), aunque, como ya hemos dicho en el capítulo anterior, nosotros no hemos encontrado en ningún caso signos de evolución anormal en las yemas durante ese periodo que justifique su posterior caída. Todos estos trabajos hacen referencia a las temperaturas cálidas durante el otoño o invierno anterior a la floración, pero no existen trabajos relativos a la influencia de las elevadas temperaturas justo en los días previos al

comienzo de la evolución acelerada de las yemas, una vez vencido el letargo, sobre las caídas de yemas de flor en frutales.

Pudimos observar la aparición precoz de hojas en las ramas embolsadas frente a las de las no embolsadas (Figura 6.1 B), donde no aparecieron hojas hasta la época normal, tras la floración. Esto indica que el incremento de temperatura conseguido en el interior de las bolsas aceleró notablemente el desarrollo de las yemas de madera.

Tal vez los procesos que conducen a la abscisión final de las yemas de flor puedan ocurrir en un tiempo ligeramente anterior al que se llevó a cabo el embolsado de las ramas. Medeira y Guedes (1991) indican que es en la última etapa previa a la floración cuando se produce la mayor abscisión de las yemas florales, hecho que también nosotros hemos observado en nuestros experimentos, estando influida por condiciones climáticas y factores de riego, pero parece que hay una fuerte incidencia de la variedad y otros factores internos, como el estado fisiológico del árbol. Nuestros resultados apuntan al hecho de que para esta variedad, 'Guillermo', la influencia climática inmediatamente anterior a la floración o el riego, tal como ya se vio en el capítulo anterior, no parecen ser tan importantes como los demás factores citados que podrían determinar las espectaculares caídas de yemas de flor y sobre los que habría que investigar más a fondo.

1.3. Fructificación

Al analizar los resultados de fructificación obtenidos en ramas embolsadas y no embolsadas en los tres años de experimentación (Tabla 6.1), se pudo observar que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la fructificación obtenida cada año. Sin embargo, no se pudo observar ningún efecto del tratamiento en los años que se realizó el ensayo. El año es un factor que suele influir en la fructificación al igual que en las caídas de yemas de flor. Se realizaron contrastes específicos para

conocer las diferencias que existían entre ellos (Tabla 6.2) obteniéndose que solamente existían diferencias significativas entre 1998 y 2000.

Debido a la existencia de la interacción entre años y tratamientos se estudiaron los años por separado, comprobando si aparecían diferencias entre la fructificación de las ramas embolsadas y las no embolsadas en algún año.

En la Figura 6.4 se pueden observar los valores medios de los porcentajes de fructificación en los tres años de estudio, muy bajos en todos los casos, como es habitual en esta variedad.

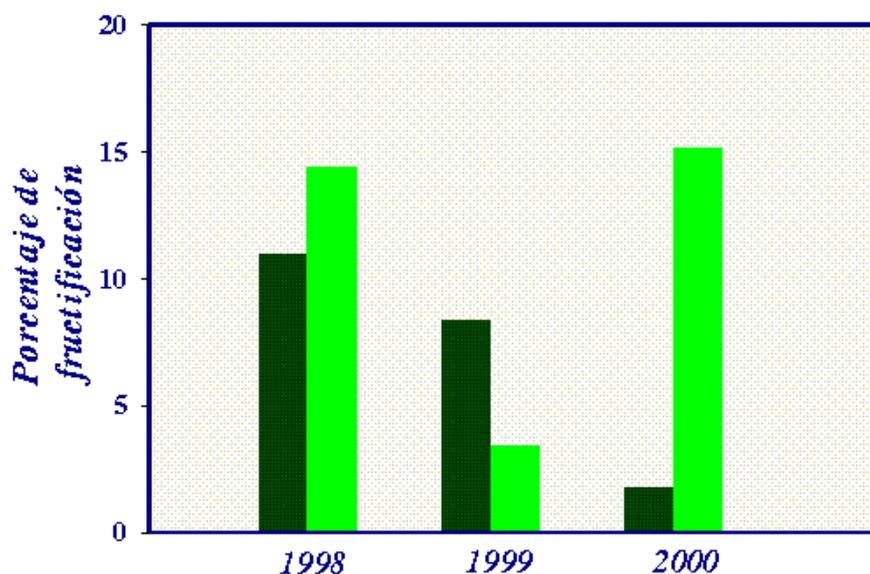


Figura 6.4. Efecto del embolsado previo a la floración de ramas de la variedad 'Guillermo sobre la fructificación en los años 1998, 1999 y 2000. Ramas embolsadas (■), ramas control (■)

El efecto del embolsado de las ramas solamente se observó en el año 2000 ($P < 0,05$) y el número de frutos fue mayor en las ramas control que en las embolsadas (Figura 6.3). Ni en 1998, ni en 1999 las diferencias encontradas fueron significativas. Las escasas diferencias de temperatura aplicadas y, además, circunscritas exclusivamente a las horas de sol y a los días soleados, pudieron no ser suficientes para provocar diferencias apreciables en la fructificación en las ramas embolsadas y las no embolsadas en 1998. En el año 1999, a pesar de no existir diferencias significativas, podemos observar que la fructificación en las ramas control fue muy escasa. Como ya se ha señalado anteriormente, los porcentajes tan bajos en ese año se debieron, en parte, a lluvias durante la floración, no afectando estas lluvias a las flores de las ramas sometidas al tratamiento, ya que se polinizaron y se embolsaron tras la polinización, quedando de esta manera protegidas. Nuestros resultados indican que, aunque en 1998 no se observó influencia del tratamiento y en 1999 la climatología fue desfavorable para nuestro ensayo, en el año 2000 hubo un efecto negativo del embolsamiento de ramas en la fructificación. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por algunos autores que han relacionado las condiciones climáticas previas a la floración con el cuajado de frutos en diferentes especies. Trabajando con manzano Beattie y Folley (1977; 1978) estudiaron en dos importantes trabajos la correlación de la cosecha de 'Cox' Orange Pippin' con numerosos factores climáticos, siendo el más decisivo y negativamente correlacionado con la cosecha las temperaturas superiores a las normales en la prefloración durante los meses de febrero, marzo y abril. Estas conclusiones fueron apoyadas posteriormente por Jackson y Hamer (1980). Tromp (1986) estableció 4 tratamientos diferentes de temperatura previos a la floración en manzano, encontrando que los porcentajes más bajos de fructificación aparecían en el tratamiento con temperaturas más bajas antes de la floración. Sin embargo, en un trabajo posterior (Tromp y Borsboom, 1994) se observó que una temperatura primaveral de 13°C mejoraba la fructificación frente a otra de 19°C. Estos resultados concuerdan con lo que apuntan Jackson et al. (1983) que obtuvieron mayores cuajados cuando aplicaron temperaturas "frías" a manzano durante febrero y marzo que cuando las temperaturas fueron "cálidas" y

también están en consonancia con lo que encontró Abbott (1971) en manzanos que crecían en cámaras de ambiente controlado. Estos mejores resultados de fructificación obtenidos con temperaturas frías previas a la floración pueden deberse a la relación entre el momento en el que florece el manzano y el estado de desarrollo de la flor, siendo mejores las condiciones para la polinización cuando la floración es tardía, en el caso de los periodos preflorales fríos. Pero temperaturas muy bajas o muy altas pueden provocar que el “Periodo de Polinización Efectivo” (PPE) sea muy corto, ya que no hay concordancia entre la velocidad de crecimiento del tubo polínico y la viabilidad del óvulo, provocando fallos de fructificación en manzano (Tromp y Borsboom, 1994).

Beppu *et al.* (1997) observaron notables diferencias de fructificación en cerezo dulce, variedad ‘Satohnishiki’, cuando los árboles se sometieron a diferentes temperaturas durante un mes antes de la apertura de la flor, con oscilaciones desde el 50% en la condición más favorable (15°C) hasta el 2% en la menos favorable (25°C). Las temperaturas elevadas durante un corto periodo previo a la floración tuvieron, como se ve, una importantísima incidencia negativa en la fructificación. Sin embargo, Miller *et al.* (1987) no encontraron diferencias en los porcentajes de cuajado de la variedad ‘Cox’ de manzano entre árboles que recibieron distintas cantidades de calor antes de la floración. En nuestro caso, ya que los resultados de un año apuntan en la dirección de que existe influencia negativa de las elevadas temperaturas pre-florales sobre la fructificación, sería conveniente en futuros trabajos aplicar incrementos de temperaturas controladas para corroborar estos resultados.

2. TEMPERATURAS ELEVADAS POSTERIORES A LA FLORACIÓN

2.1. Fructificación

En nuestro estudio, el análisis estadístico de los datos de fructificación en la variedad ‘Guillermo’ sometida a temperaturas superiores a lo habitual tras la floración, reveló que la fructificación está influenciada por las características climatológicas de cada año y, ni el tratamiento o colocación de bolsas en las ramas, ni la interacción de ambos factores tuvo influencia (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Valores de χ^2 obtenidos en el análisis de la varianza de máxima verosimilitud para la fructificación en ramas embolsadas después de la floración y de ramas testigo de la variedad ‘Guillermo’ en Abarán en 1998 y 1999

| Fuente de variación | Grados de libertad | χ^2 |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| Constante | 1 | 275,58 *** |
| Años | 1 | 6,32 * |
| Tratamiento | 1 | 2,93 ^{ns} |
| Años x Tratamiento | 1 | ^a |
| Residuo | 1 | 0,02 ^{ns} |

*, ** y *** indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{ns}.

^a Estos términos no fueron significativos y fueron eliminados en el modelo reducido

Al examinar los porcentajes de fructificación en los dos años podemos observar diferencias entre años (Figura 6.5), en parte debidas a las lluvias que cayeron en la época de floración durante el año 1999. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre el cuajado de frutos de las ramas embolsadas y las control de la variedad de albaricoquero ‘Guillermo’ en nuestras condiciones de cultivo. Al igual que ocurrió con la colocación de las bolsas de plástico unos días antes de la floración, las leves diferencias de temperatura establecidas únicamente durante las horas de sol y en los días soleados, pudieron no

ser suficientes para provocar diferencias apreciables en la fructificación en las ramas embolsadas y las no embolsadas, aunque observando la Figura 6.5 vemos que el cuajado de frutos tiende a ser menor en las ramas que se sometieron a un incremento de temperatura.

En otras especies se han observado los efectos de temperaturas elevadas tras la floración en el cuajado de frutos. Ewart y Kliwer (1977), estableciendo un diferencial de 10 ó 15°C observaron en las variedades de uva para vinificación ‘Pinot Noire’ y ‘Carignane’ un porcentaje de fructificación significativamente mayor a 25°C que a 35 ó 40°C. Atkinson *et al.* (1998) encontraron una relación entre las temperaturas altas conseguidas al encerrar un grupo de manzanos en un túnel de polietileno y un menor número de frutos retenidos en el árbol. Los árboles se mantuvieron en el túnel desde la floración en mayo hasta principios de septiembre.

Serían necesarios estudios posteriores estableciendo condiciones controladas para someter a los árboles a elevadas temperaturas después de la floración y así poder observar el efecto de este suceso, común en nuestra zona de cultivo, sobre la fructificación.

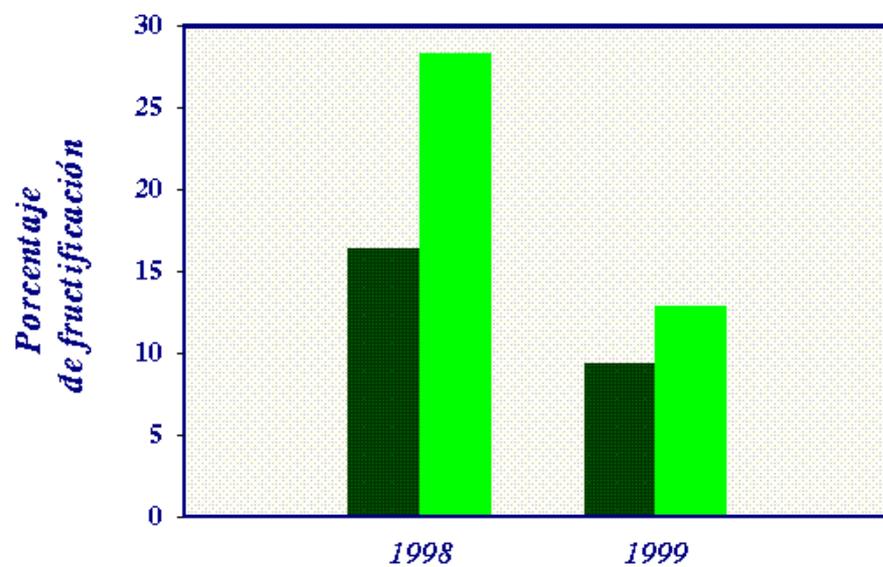


Figura 6.5. Porcentajes de fructificación en ramas embolsadas (■) tras la floración y en ramas control (■) en los años 1998 y 1999.

7. ESTADO DEL ÓVULO A LA APERTURA DE LA FLOR

INTRODUCCIÓN

La madurez del óvulo justo en el momento que abre la flor es una cuestión de decisiva importancia en el proceso de fecundación en frutales e influye, por lo tanto, directamente en la fructificación obtenida finalmente.

El grado de desarrollo del óvulo en antesis es variable entre diferentes especies frutales e incluso entre variedades de la misma especie. Mientras que en algunos trabajos se ha asociado la excesiva madurez del óvulo en antesis con una escasa fructificación (Eaton, 1962; Stösser y Anvari, 1982; Marro, 1976), en otros trabajos se ha señalado el retraso del óvulo en el momento de la apertura de la flor

como el factor responsable de la escasa fructificación (Daubeny *et al.*, 1967; Buttrose y Sedgley, 1979). Determinadas variedades de algunas especies frutales como el peral, variedad 'Agua de Aranjuez' (Herrero, 1983), cerezo amargo, variedad 'Montmorency' y 'Cacanski Rubin' (Furukawa y Bokovac; 1989; Cerovic y Micic, 1999) o cerezo dulce, variedad 'Satohnishiki' (Beppu *et al.*, 1997) presentan sacos embrionarios atrasados a la apertura de la flor. Sato *et al.* (1988) estudiaron el estado del óvulo en antesis de dos variedades de manzano, encontrando que en una de ellas los sacos embrionarios estaban más inmaduros que en la otra. A su vez esta variedad presentaba porcentajes más bajos de fructificación. En la especie almendro también se han observado variaciones en el grado de madurez de los gametofitos femeninos en antesis, según la variedad estudiada. Pimienta y Polito (1982) encontraron en la variedad de almendro 'Nonpareil' un cierto retraso de la madurez del óvulo en el momento de la apertura de la flor, mientras que, recientemente, en otras cuatro variedades se han observado numerosos óvulos maduros en antesis (Egea y Burgos, 2000). Los estudios llevados a cabo en albaricoquero han mostrado un importante retraso en los óvulos de diferentes variedades a la apertura de la flor en relación con el grado de madurez que presentan los sacos embrionarios de otras especies (Burgos y Egea, 1993; Egea y Burgos, 1994), encontrándose sólo en casos excepcionales sacos maduros. También se ha observado en esos trabajos y en otros (Lillecrapp *et al.*, 1999) variación en el grado de madurez del gametofito femenino entre variedades, por lo que hemos realizado un estudio de esta característica en nueve variedades cuya floración se da en distinta época, cultivadas en un mismo emplazamiento, y que habitualmente presentan comportamientos productivos diferentes.

En estudios realizados con albaricoqueros adultos que se sometieron a estrés hídrico tras la recolección de frutos (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1999), el porcentaje de germinación de los granos de polen de flores obtenidas en la siguiente floración, se vio afectado por la restricción de agua, pero no se ha analizado el efecto del estrés hídrico en la madurez del gametofito femenino cuando abre la flor. Debido a que puede existir una influencia del déficit hídrico, al que se someten frecuentemente en

nuestra zona de cultivo los albaricoqueros, en el desarrollo del saco embrionario y en el grado de madurez de éste a la apertura de la flor, en este trabajo estudiamos la relación entre el aporte hídrico en distintas etapas del ciclo vegetativo del albaricoquero, variedad 'Guillermo', y la madurez de sus óvulos en antesis.

El efecto de las condiciones climáticas previas a la floración de frutales en el grado de desarrollo de los gametofitos femeninos cuando abre la flor ha sido analizado por distintos autores. Eaton (1959) y Miller *et al.* (1987) trabajando con cerezo agrio y manzano respectivamente encontraron una relación entre las bajas temperaturas previas a la floración y el retraso en la madurez del óvulo en antesis. En albaricoquero, como ya se ha señalado, el grado de madurez que presentan la mayoría de las variedades cultivadas en la Región de Murcia es muy atrasado, pero en un trabajo realizado con las mismas variedades cultivadas en dos microclimas murcianos diferentes, se encontraron pequeñas diferencias entre ellas en el desarrollo del saco embrionario, aunque las diferencias de fructificación que con frecuencia se dan en esas dos condiciones climáticas, no pueden explicarse, únicamente, por esas ligeras diferencias en el estado de madurez de los óvulos (Egea y Burgos, 1998). Con el fin de profundizar en el conocimiento de la influencia de las temperaturas en el grado de desarrollo del saco embrionario del albaricoquero, hemos analizado óvulos a la apertura de la flor de la variedad 'Guillermo' cultivada en diferentes lugares, con distintas condiciones de frío invernal. También se ha observado la influencia de elevadas temperaturas en los días anteriores a la floración sobre la madurez de los óvulos en antesis, todo ello con el fin de avanzar en el conocimiento de la acción de la temperatura sobre los procesos de fructificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. TOMA DE MUESTRAS Y METODOLOGÍA EMPLEADA

Para determinar el estado de madurez del óvulo a la apertura de la flor, en todos los casos, se eligieron flores en estado E-F de Fleckinger (1955), se tomaron los pistilos y se fijaron en F.A.A. (90 % etanol al 70 %, 5 % formaldehído al 40 %, 5 % ácido acético glacial). Tras eliminar la vellosidad que recubre los ovarios con un bisturí, éstos se deshidrataron introduciéndolos en soluciones de concentración creciente de alcohol butírico terciario (T.B.A.), se incluyeron en parafina y se cortaron con microtomo de rotación en secciones de 10 μm de espesor. Seguidamente se colocaron en portas impregnados con un adhesivo de gelatina, glicerina y formaldehído al 3 % y se tiñeron de acuerdo con el método de tinción tricrómica descrito por Gerlach (1969). A continuación se examinaron los óvulos en un microscopio de luz blanca Olympus BH2 para determinar el estado de desarrollo del saco embrionario adscribiéndolo a cada uno de los siguientes estadios:

- Saco embrionario no diferenciado. Célula madre de la megaspora
- Saco embrionario con 2, 4 y 8 núcleos sin estructura organizada
- Célula huevo diferenciada y núcleos polares no fusionados
- Célula huevo diferenciada y núcleos polares fusionados
- Óvulos malformados

El proceso de formación de un saco embrionario viable parte de la división mitótica de una de las células madre de la megaspora que origina un saco embrionario binucleado. El resto de las células de la tétrada degenera. Cada uno de los núcleos del saco binucleado migra a uno de los polos y entonces se dan dos sucesivas divisiones mitóticas de cada núcleo que dan lugar a un saco con cuatro y ocho núcleos situados, en este último caso, cuatro en cada extremo. Posteriormente un núcleo de cada extremo migra al centro del saco y forman la célula central binucleada. Los tres núcleos de la chalaza se diferencian como células antípodas, las cuales degeneran generalmente pronto. Los tres núcleos del extremo micropilar

se diferencian en una célula huevo y dos sinérgidas (Figura 7.1). La célula huevo pronto adquiere la forma de media luna con los extremos apuntando al micropilo. Seguidamente ocurre la fusión de los núcleos polares que dan lugar a la célula central con un gran núcleo y entonces es cuando el óvulo está preparado para ser fecundado.

En el primer estado descrito se incluyen óvulos con la tétrada de las células madre de la megaspora claramente visibles y aquellos en los que ya han degenerado tres de esas células y la que permanece originará el saco. En el estado descrito como óvulos malformados se han considerado los no viables, y dentro de las malformaciones distinguimos varios tipos: óvulos que se encuentran en un estado anterior al de tétrada de células madre y al ser tan inmaduros son inviables, óvulos con saco abierto sin núcleos y óvulos con la presencia de más de una célula madre que inicia un saco lo que originaría sacos embrionarios múltiples.

En el albaricoquero, como en otras especies del género *Prunus*, en cada ovario se desarrollan normalmente dos óvulos, uno de los cuales, denominado habitualmente óvulo secundario, degenera precozmente mientras que el otro, denominado primario o funcional, se desarrolla y madura pudiendo ser fecundado (Eaton, 1964; Thompson y Liu, 1973; Pimienta y Polito, 1982; 1983). Pero en la mayoría de las variedades analizadas en este trabajo los ovarios presentaban más de dos óvulos. Sin embargo, siempre se distinguen dos de mayor tamaño que o bien están en el mismo estado de desarrollo o uno de ellos está más avanzado. Los demás óvulos dentro del mismo ovario son más pequeños y presentan frecuentemente algún tipo de malformación o degeneración. Por lo tanto, en este trabajo se prestó atención únicamente a uno de los óvulos de mayor tamaño, el que estaba más desarrollado y con más posibilidades de ser fecundado, considerado habitualmente como el óvulo primario.

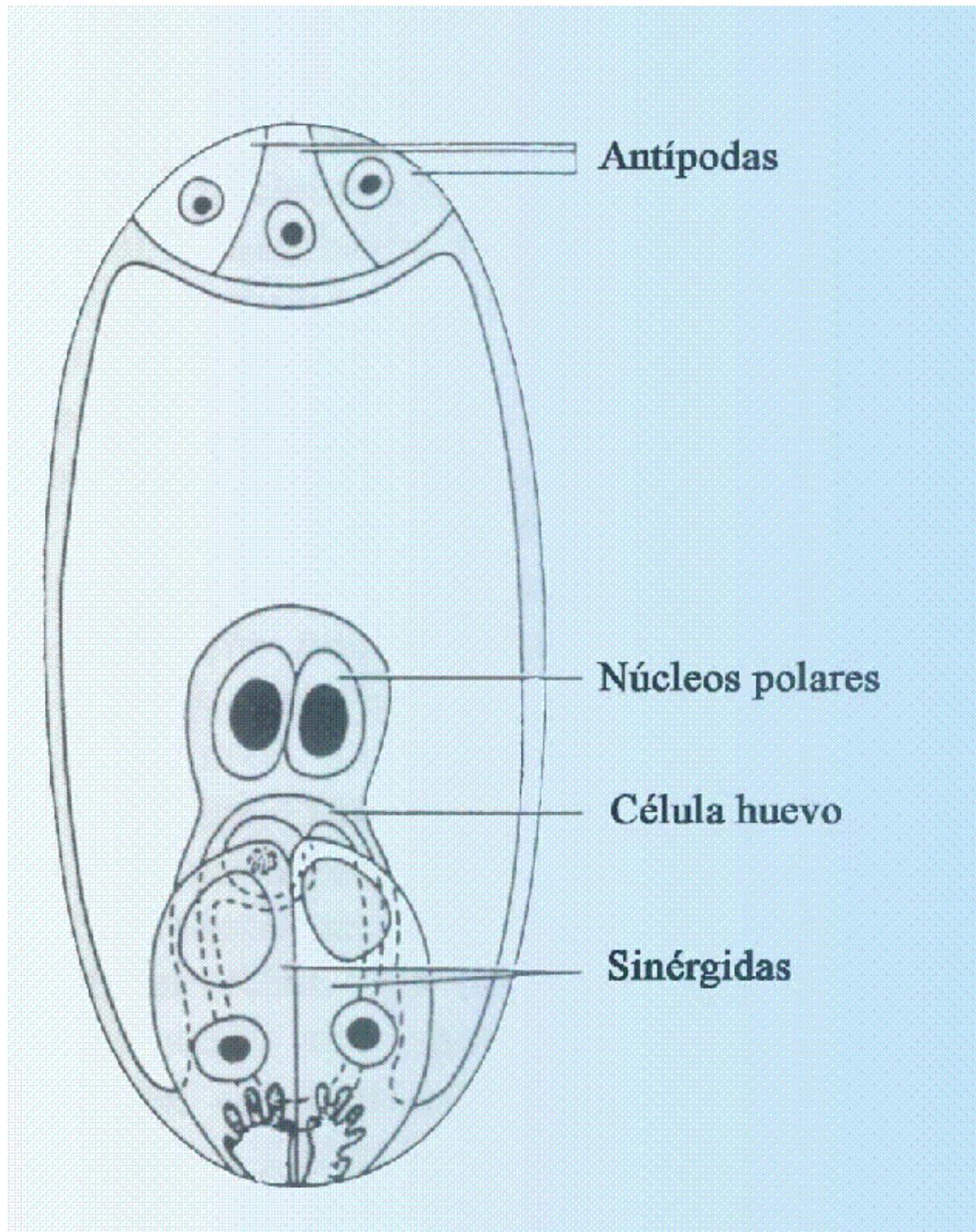


Figura 7.1. Dibujo esquemático mostrando las diferentes partes del saco embrionario de un óvulo de albaricoquero

Cuando se analizaron los datos estadísticamente se utilizó un análisis de varianza de máxima verosimilitud, típicamente empleado con datos categóricos. La madurez o viabilidad de los óvulos es una variable que tiene dos valores (óvulos viables o inviables). La distribución de estos datos es binomial y el ANOVA de máxima verosimilitud incorpora en el modelo el tipo de distribución de la variable. El estadístico que se utiliza para decidir si el efecto de un factor sobre la variable dependiente es significativo es la χ^2 y para averiguar si existen diferencias entre diferentes niveles de un tratamiento se utilizaron contrastes específicos.

2. MADUREZ DEL ÓVULO EN DISTINTAS VARIEDADES CULTIVADAS EN SANTOMERA

Durante tres años consecutivos se realizó un estudio comparativo del grado de madurez del saco embrionario en antesis en nueve variedades de albaricoquero, 'Priana', 'Beliana', 'Palstein', 'Bebeco', 'Colorao', 'Pepito', 'Guillermo', 'Goldrich' y 'Bergerón', como representativas de floraciones en distintas épocas (desde floración temprana hasta muy tardía) y de las que tenemos referencias sobre su productividad en nuestras condiciones edafoclimáticas (Egea et al., 1995; 1999). Además se incluyó en este estudio la variedad de almendro 'Ferragnes', ya que se ha observado una gran madurez de los óvulos de esta variedad en antesis, así como los de otras variedades de almendro cultivadas en nuestra zona (Egea y Burgos, 2000), siendo habitualmente su producción notablemente elevada (García, 1978). Por lo tanto, se tomó esta variedad como testigo de buen comportamiento productivo.

Se estableció la correlación existente entre el porcentaje de óvulos viables y la producción de frutos de todas las variedades de albaricoque cultivadas en Santomera durante tres años consecutivos. Los datos de producción fueron calculados como porcentaje de flores que llega a transformarse en frutos.

3. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS DE RIEGO

Como se describió en el Capítulo 5, durante dos años consecutivos se establecieron tratamientos de riego diferenciales en la finca de Abarán (apartado 5.1.1) en la variedad de 'clase' 'Guillermo' con la finalidad de observar la influencia del estrés hídrico en distintas épocas del ciclo vegetativo sobre algunos parámetros. Uno de los parámetros medidos en todos los tratamientos fue el grado de desarrollo del saco embrionario en anthesis según la escala anteriormente descrita. El número de óvulos observados fue de 10 a 15 por tratamiento.

4. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTAS CONDICIONES DE FRÍO INVERNAL

La variedad 'Guillermo' ha sido cultivada en los tres emplazamientos, Cieza, Abarán y Santomera, cuyas condiciones climáticas se han descrito en el Capítulo 4. Ya que las unidades frío acumuladas en los tres lugares fueron diferentes (Tablas 4.1, 4.2, 4.3), en dos años consecutivos se analizaron las diferencias en la madurez del óvulo primario justo cuando abre la flor en muestras recogidas en los tres emplazamientos, observando entre 10 y 15 óvulos de cada lugar y en cada año.

5. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A ELEVADAS TEMPERATURAS PRE-FLORALES

Para observar el efecto que las altas temperaturas diurnas, habituales en nuestra zona en las épocas intermedias de floración, tienen en el grado de desarrollo del megagametofito a la apertura de la flor, tomamos muestras de flores de las ramas que se embolsaron unos días antes de la plena floración de la variedad

'Guillermo' (Capítulo 6, apartado 6.1.1). Se recogieron entre 10 y 15 flores en tres años consecutivos (1998, 1999 y 2000), observando el grado de madurez del óvulo primario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. MADUREZ DEL ÓVULO EN DISTINTAS VARIEDADES CULTIVADAS EN SANTOMERA

En la bibliografía se han considerado frecuentemente óvulos funcionales aquellos cuyo saco embrionario tiene en antesis más de 4 núcleos (Furukawa y Bukovac, 1989). Sin embargo, en albaricoquero, en nuestras condiciones de cultivo, es habitual que variedades con la mayoría de sus óvulos en estados de desarrollo tempranos tengan producciones frutales satisfactorias (Egea y Burgos, 1998). Apoyándonos en este hecho, nosotros creemos que es factible considerar como óvulos con posibilidades de ser fecundados aquellos que tienen 4 núcleos, puesto que en nuestras zonas de cultivo, cuando las temperaturas que se dan en la floración no son muy elevadas, el crecimiento del tubo polínico es relativamente lento y el saco embrionario puede evolucionar hasta la madurez que permite su fecundación antes de que el tubo polínico degenera. Según esta consideración en el desarrollo de este trabajo serán, en general, considerados óvulos no funcionales o potencialmente no fecundables los que a la apertura de la flor presentan un saco embrionario en un estado de desarrollo inferior al de saco con 4 núcleos y óvulos funcionales o potencialmente fecundables los que tienen saco con 4 núcleos o más desarrollado.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos al observar el grado de desarrollo del saco embrionario en nueve variedades de albaricoquero reveló que la

madurez era significativamente diferente entre variedades, pero no entre años y la interacción de ambos factores no fue significativa (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Valores de χ^2 obtenidos en el análisis de la varianza de máxima verosimilitud para la madurez del óvulo primario en antesis, de nueve variedades de albaricoquero, cultivadas en Santomera en 1998, 1999 y 2000

| Fuente de variación | Grados de libertad | χ^2 |
|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Constante | 1 | 3,09 ^{a.s.} |
| Años | 2 | - ^a |
| Variedades | 8 | 45,19 ^{***} |
| Años x Variedades | 16 | 23,63 ^{a.s.} |
| Residuo | 2 | 0,26 ^{a.s.} |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{a.s.}

^a Estos términos no fueron significativos y fueron eliminados en el modelo reducido

La Tabla 7.2 muestra el número de óvulos primarios de flores en antesis encontrados en los diferentes estados de desarrollo anteriormente descritos de todas las variedades de Santomera analizadas durante los tres años en los que se recogieron muestras (1998, 1999 y 2000). Observando la tabla es evidente el generalizado retraso de los óvulos de albaricoquero en nuestras condiciones de cultivo respecto a los de otras especies tal y como señalan Egea y Burgos (1994 y 1998). La variedad de almendro 'Ferragnes', al igual que otras variedades de almendro que se cultivan en nuestra zona, muestra sus óvulos muy maduros a la apertura de la flor (Egea y Burgos, 2000). En los tres años de estudio la mayoría de ellos se encuentran en el estado de célula huevo diferenciada y núcleos polares fusionados, mientras que las variedades de albaricoquero no tienen, prácticamente, sacos tan avanzados en antesis. Solamente un 11.11% de los óvulos observados en 'Beliana' y un 10% en 'Colorao' en el año 1998 alcanzaban el estado de núcleos polares fusionados.

Tabla 7.2. Porcentaje de óvulos primarios con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en flores recién abiertas de variedades de albaricoquero y almendro (variedad 'Ferragnes') durante los años 1998 y 1999

| Estado de desarrollo | 'Ferragnes' | 'Priana' | 'Beliana' | 'Palstein' | 'Bebeco' | 'Colorao' | 'Pepito' | 'Guillermo' | 'Goldrich' | 'Bergerón' |
|----------------------------------|-------------|----------|-----------|------------|----------|-----------|----------|-------------|------------|------------|
| <i>1998</i> | | | | | | | | | | |
| Sin saco. Cél. madre | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,28 | 10 | 0 | 40 | 0 | 50 |
| 2 Núcleos | 0 | 33,33 | 0 | 10 | 28,58 | 10 | 14,28 | 30 | 20 | 30 |
| 4 Núcleos | 0 | 55,56 | 33,33 | 20 | 57,14 | 10 | 28,58 | 20 | 50 | 10 |
| 8 Núcleos | 0 | 11,11 | 22,23 | 60 | 0 | 40 | 57,14 | 10 | 20 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | | | | | | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 12,50 | 0 | 33,33 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| - Núcleos polares fusionados | 87,50 | 0 | 11,11 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Número de óvulos examinados | 8 | 9 | 9 | 10 | 7 | 10 | 7 | 10 | 10 | 10 |
| <i>1999</i> | | | | | | | | | | |
| Sin saco. Cél. madre | 0 | 0 | 0 | 10 | 70 | 9,10 | 50 | 33,30 | 10 | 30 |
| 2 Núcleos | 0 | 10 | 0 | 10 | 30 | 18,20 | 40 | 55,60 | 30 | 20 |
| 4 Núcleos | 0 | 40 | 10 | 10 | 0 | 45,45 | 10 | 11,10 | 40 | 40 |
| 8 Núcleos | 0 | 0 | 50 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | | | | | | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 0 | 50 | 40 | 30 | 0 | 27,25 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| - Núcleos polares fusionados | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| Número de óvulos examinados | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 10 | 9 | 10 | 10 |

Tabla 7.2. (Continuación). Porcentaje de óvulos primarios con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en flores recién abiertas de variedades de albaricoquero y almendro (variedad 'Ferragnes') durante el año 2000

| Estado de desarrollo | 'Ferragnes' | 'Priana' | 'Beliana' | 'Palstein' | 'Bebeco' | 'Colorao' | 'Pepito' | 'Guillermo' | 'Goldrich' | 'Bergerón' |
|--|-------------|----------|-----------|------------|----------|-----------|----------|-------------|------------|------------|
| <i>2000</i> | | | | | | | | | | |
| Sin saco. Cél. madre | 0 | 0 | 6,67 | 0 | 43,75 | 26,30 | 26,67 | 26,67 | 0 | 47,22 |
| 2 Núcleos | 0 | 30 | 13,33 | 15,15 | 43,75 | 0 | 60 | 26,67 | 0 | 22,22 |
| 4 Núcleos | 0 | 10 | 20 | 60,60 | 12,50 | 15,79 | 13,33 | 46,66 | 36,84 | 19,44 |
| 8 Núcleos | 0 | 20 | 20 | 15,15 | 0 | 47,37 | 0 | 0 | 36,84 | 2,75 |
| Célula huevo diferenciada | | | | | | | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 26,67 | 20 | 40 | 9,10 | 0 | 10,54 | 0 | 0 | 26,32 | 0 |
| - Núcleos polares fusionados | 73,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,33 |
| Número de óvulos examinados | 15 | 10 | 15 | 33 | 16 | 19 | 15 | 15 | 19 | 36 |
| <i>Media de los tres años</i> | | | | | | | | | | |
| Sin saco. Cél. madre | 0 | 0 | 2,94 | 1,89 | 45,46 | 17,50 | 28,12 | 32,35 | 2,56 | 44,64 |
| 2 Núcleos | 0 | 24,14 | 5,88 | 13,21 | 36,36 | 7,50 | 43,75 | 35,30 | 12,82 | 23,21 |
| 4 Núcleos | 0 | 34,49 | 20,6 | 43,39 | 18,18 | 22,50 | 15,63 | 29,41 | 41,02 | 21,43 |
| 8 Núcleos | 0 | 10,33 | 29,41 | 28,30 | 0 | 32,50 | 12,50 | 2,94 | 28,22 | 1,79 |
| Célula huevo diferenciada | | | | | | | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 15,62 | 24,14 | 38,23 | 13,21 | 0 | 15 | 0 | 0 | 15,38 | 1,79 |
| - Núcleos polares fusionados | 84,38 | 0 | 2,94 | 0 | 0 | 2,50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 6,90 | 0 | 0 | 0 | 2,50 | 0 | 0 | 0 | 7,14 |
| Número total de óvulos examinados | 32 | 29 | 34 | 53 | 33 | 40 | 32 | 34 | 39 | 56 |

Globalmente, en el conjunto de las variedades, el año no influye en la viabilidad de los óvulos, lo que implica que las condiciones climáticas del año no afectan a la madurez del óvulo en antesis, siendo este un carácter marcadamente genético. Sin embargo, nosotros hemos distinguido varios estados diferentes de madurez del óvulo (Figura 7.2) y óvulos malformados. Observando esa amplia distribución, si se pueden apreciar pequeñas diferencias de unos años a otros (Tabla 7.2). El año 1999 fue el más frío de los tres y la suma de los porcentajes de óvulos sin saco desarrollado es superior que en los años 1998 y 2000. En algunos trabajos se ha mencionado la relación entre menor madurez del óvulo en antesis y condiciones climáticas de bajas temperaturas anteriores a la floración en cerezo amargo (Eaton, 1959) y manzano (Miller *et al.*, 1987). Nuestros resultados coinciden con los encontrados por estos autores ya que, en la misma localización, en los años más cálidos, se observaron menos óvulos en los estados menos avanzados de desarrollo en el conjunto de las nueve variedades estudiadas.

También se puede observar en la Tabla 7.2 la gran disparidad que existe en el grado de desarrollo del saco embrionario en antesis entre variedades. Las variedades de floración temprana, con menos necesidades de frío, 'Priana' y 'Beliana' tienen la mayoría de sus óvulos con 4 núcleos o más. Lo mismo ocurre con la variedad de floración intermedia 'Palstein', mientras que otras que florecen algo más tarde como 'Bebeco' y las variedades de 'clase' 'Pepito' y 'Guillermo' presentan óvulos más atrasados, estando la mayoría de ellos con 2 núcleos o menos. La variedad de floración muy tardía 'Bergerón', cuyas necesidades de frío son elevadas (800 - 1200 unidades frío) muestra sus óvulos muy atrasados.

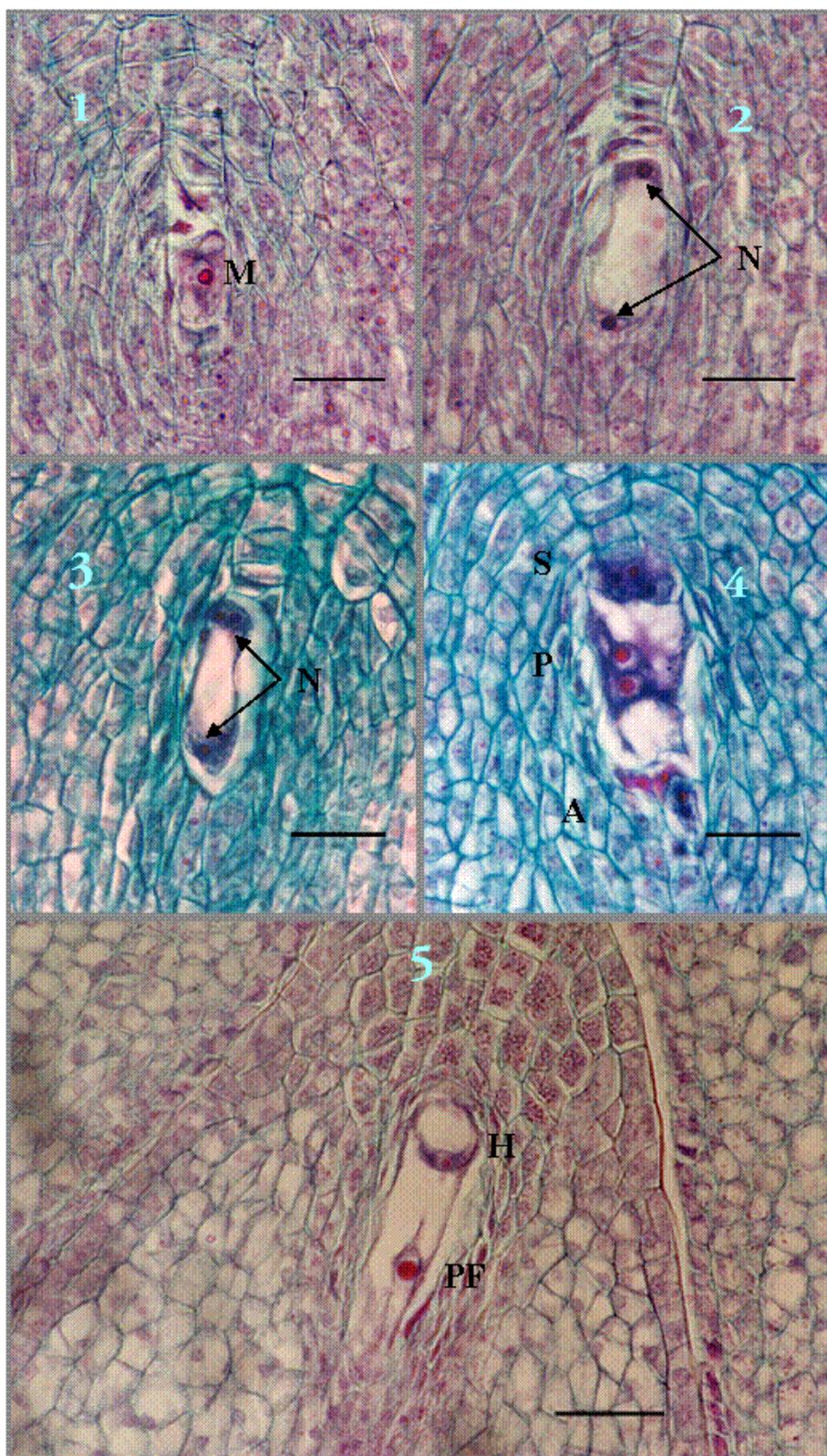


Figura 7.2. Estados de desarrollo del saco embrionario. 1) Saco no diferenciado mostrando célula madre. 2) Saco con 2 núcleos. 3) Saco con 4 núcleos. 4) Saco con 8 núcleos, los núcleos polares comenzando a emigrar hacia el centro. 5) Saco maduro, célula huevo diferenciada y núcleos polares fusionados. (A), antípodas. (H), célula huevo. (M), célula madre. (N), núcleos. (P), núcleos polares. (PF), núcleos polares fusionados. (S), sinérgidas. Las barras representan 8 μm en 1), 2), 3), 4) y 12,5 μm en 5).

Se podría pensar que las variedades tempranas están mejor adaptadas que las demás y que la condición de cubrir las necesidades de frío correctamente es necesaria para que los sacos embrionarios a la apertura de la flor sean viables. Sin embargo, otra variedad de 'clase', 'Colorao', con mayores necesidades de frío que las tempranas, tiene un 72,5 % del total de los óvulos examinados en los tres años sumando los que se encuentran en el estado 4 núcleos o más avanzado y también los óvulos de 'Goldrich', con las mismas necesidades de frío aproximadamente que 'Bergerón', están mayoritariamente en el estado con 4 núcleos o más avanzado en los tres años de experimentación (un 84,62 % del total de óvulos examinados). Por lo tanto, no podemos decir que exista una relación entre necesidades de frío cubiertas y viabilidad del óvulo a la apertura de la flor, ya que, para las nueve variedades estudiadas en Santomera no se cumple en todos los casos. Parece que la madurez del saco embrionario en antesis es un carácter con una fuerte componente genética.

En trabajos realizados con otros frutales también se han observado diferencias en el grado de desarrollo del saco embrionario en antesis entre variedades. Así en cerezo dulce se comparó el estado de desarrollo del saco embrionario en antesis de cuatro variedades (Eaton, 1962) observando que una de ellas estaba más avanzada que las otras, siendo además la que más tarde florecía, por lo que el autor indica que las temperaturas más elevadas no inhiben el desarrollo del megagametofito en relación a las partes externas de la flor, sino que el desarrollo interno y externo parecen ser más o menos independientes. En peral la variedad 'Decana del Comizio' presenta óvulos maduros en antesis (Bini y Bellini, 1971; Bini, 1972), mientras que en la variedad 'Agua de Aranjuez' están retrasados y no se encuentran maduros hasta 5 días tras la antesis (Herrero, 1983).

Daubeny *et al.* (1967) estudiaron dos variedades de frambuesa y en una de ellas los sacos embrionarios estaban más retrasados a la apertura de la flor; en esa variedad el número de frutos o drupas obtenidos era menor. Lillecrapp *et al.* (1999) observaron que, de tres variedades de albaricoquero estudiadas, dos de ellas

tenían los óvulos a la apertura de la flor más avanzados que la tercera y este retraso en el desarrollo del saco embrionario se podía relacionar con los porcentajes más bajos de fructificación que habitualmente presenta esta variedad. Nosotros hemos estudiado la correlación que existe entre el grado de madurez del saco embrionario en las variedades que se cultivan en Santomera y las fructificaciones que se registraron durante los tres años de experimentación. Aunque no existe una correlación positiva entre los porcentajes de óvulos viables de cada variedad en antesis y los porcentajes de fructificación, observando la Tabla 7.3, podemos hacer algunas anotaciones. En las variedades de albaricoquero los porcentajes de fructificación oscilan mucho de unas a otras y aquellas que tienen una elevada fructificación (superior al 50 %) tienen elevado número de óvulos funcionales. Así ocurre también con la variedad de almendro 'Ferragnes' cuyos óvulos están maduros al 100 % en los tres años y las fructificaciones son del orden del 60 % invariablemente. Pero no todas las variedades de albaricoquero que tienen un elevado porcentajes de óvulos funcionales o con posibilidades de ser fecundados tienen una buena fructificación, como ocurre con 'Colorao' o 'Goldrich', y la explicación puede ser que sobre el cuajado de frutos influyen diversos factores que se escapan a nuestro estudio y son determinantes de la disminución del número de flores que llegan a frutos. Por lo tanto, parece ser condición necesaria pero no suficiente para obtener una buena producción que los óvulos de la flor del albaricoquero tengan un cierto grado de desarrollo a la apertura de la flor, pues de lo contrario no evolucionan lo suficientemente rápido para poder ser fecundados.

Tabla 7.3. Porcentajes de óvulos viables y fructificación de nueve variedades de albaricoquero cultivadas en Santomera en 1998, 1999 y 2000

| | Óvulos viables | Fructificación |
|-------------|----------------|----------------|
| 1998 | | |
| ‘Ferragnes’ | 100 | 67,10 |
| ‘Palstein’ | 90,00 | 53,67 |
| ‘Bebeco’ | 57,14 | 66,00 |
| ‘Colorao’ | 70,00 | 5,00 |
| ‘Pepito’ | 85,72 | 14,37 |
| ‘Guillermo’ | 30,00 | 24,07 |
| ‘Goldrich’ | 80,00 | 3,26 |
| ‘Bergerón’ | 20,00 | 9,95 |
| 1999 | | |
| ‘Ferragnes’ | 100 | 58,30 |
| ‘Priana’ | 90,00 | 51,86 |
| ‘Beliana’ | 100 | 63,86 |
| ‘Palstein’ | 80,00 | 57,10 |
| ‘Bebeco’ | 0 | 16,32 |
| ‘Colorao’ | 72,70 | 6,70 |
| ‘Pepito’ | 10,00 | 19,42 |
| ‘Guillermo’ | 11,10 | 23,82 |
| ‘Goldrich’ | 60,00 | 14,60 |
| ‘Bergerón’ | 40,00 | 8,02 |
| 2000 | | |
| ‘Ferragnes’ | 100 | 66,56 |
| ‘Priana’ | 50,00 | 61,00 |
| ‘Beliana’ | 80,00 | 63,14 |
| ‘Palstein’ | 84,85 | 50,50 |
| ‘Bebeco’ | 12,50 | 38,64 |
| ‘Colorao’ | 73,70 | 10,72 |
| ‘Pepito’ | 13,33 | 6,18 |
| ‘Guillermo’ | 46,66 | 22,74 |
| ‘Goldrich’ | 100 | 15,52 |
| ‘Bergerón’ | 24,98 | 22,41 |

2. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTOS TRATAMIENTOS DE RIEGO

En las Tablas 7.4 y 7.5 se puede observar el grado de desarrollo del saco embrionario en anthesis de la variedad de albaricoquero 'Guillermo' en distintas condiciones de riego en Abarán durante los años 1999 y 2000.

Tabla 7.4. Porcentaje de óvulos primarios con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en flores recién abiertas, de la variedad de albaricoquero 'Guillermo', sometidas a distintos tratamientos de riego (A, B y C) durante 1999.

| Estado de desarrollo | Tratamiento A | Tratamiento B | Tratamiento C |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Sin saco. Cél. madre | 50 | 70 | 30 |
| 2 Núcleos | 20 | 30 | 20 |
| 4 Núcleos | 20 | 0 | 40 |
| 8 Núcleos | 0 | 0 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 10 | 0 | 0 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 0 | 10 |
| Número de óvulos examinados | 10 | 10 | 10 |

Tabla 7.5. Porcentaje de óvulos primarios con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en flores recién abiertas, de la variedad de albaricoquero 'Guillermo', sometidas a distintos tratamientos (1 y 2) de riego durante 2000.

| Estado de desarrollo | Tratamiento 1 | Tratamiento 2 |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| Sin saco. Cél. madre | 16,67 | 5,55 |
| 2 Núcleos | 50 | 16,67 |
| 4 Núcleos | 33,33 | 38,9 |
| 8 Núcleos | 0 | 11,11 |
| Célula huevo diferenciada | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 0 | 22,22 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 5,55 |
| Número de óvulos examinados | 18 | 18 |

El análisis estadístico de estos datos indicó que no existían diferencias al nivel de probabilidad de 0,05 en el estado de madurez del saco embrionario de esta variedad cuando se le aplicaron los tratamientos A, B y C en el año 1999. Los óvulos primarios de todos los tratamientos están muy poco desarrollados. Sin embargo, aunque el análisis estadístico indica que no hay diferencias entre tratamientos, observando la Tabla 7.4 vemos que en el tratamiento C hay un 40 % de los óvulos examinados con 4 núcleos, mientras que en el A solo hay un 30 % con 4 núcleos o en un estado más avanzado y en el B todos los óvulos están en los dos primeros estados de desarrollo. Estas pequeñas diferencias, que no se detectan con los métodos estadísticos, parecen indicar que hay un ligero avance en el desarrollo de los óvulos en los árboles que sufrieron la falta de riego durante el otoño de 1998 (Tratamiento C). Entre los óvulos examinados del Tratamiento 1 y del Tratamiento 2 aplicados entre el año 1999 y el 2000 si aparecieron diferencias ($P < 0,05$). Estos resultados indican que hay un mayor desarrollo del óvulo en los árboles que se sometieron a estrés hídrico durante el invierno del año 2000. En contra de lo que se podría pensar, la falta de humedad en el suelo no es un factor que influya negativamente en el grado de desarrollo del saco embrionario a la apertura de la flor. Los datos de ambos años, con distintos tratamientos de riego en cada año, apuntan en la dirección contraria, en el primer año de forma solo intuitiva y en el segundo más claramente. Las situaciones de estrés hídrico conducen habitualmente a un retraso en la floración del albaricoquero en nuestras condiciones de cultivo, lo que coincide con lo observado por otros autores (Brown, 1952; 1953; Ferriere *et al.*, 1989). Es posible que el retraso en la floración que se observó en el tratamiento C respecto de los demás tratamientos y en el tratamiento 2 respecto del 1 indujera a un desarrollo ligeramente superior de las partes internas de la flor, mientras que cuando la floración fue más temprana los óvulos estaban más atrasados.

3. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A DISTINTAS CONDICIONES DE FRÍO INVERNAL

En la Tabla 7.6 se recoge el número de óvulos primarios en cada estado considerado, cuando abre la flor, en los tres emplazamientos con diferentes condiciones de frío invernal.

Tabla 7.6. Porcentaje de óvulos primarios con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en flores recién abiertas, de la variedad de albaricoquero 'Guillermo', en distintas condiciones de frío invernal durante los años 1998 y 1999

| Estado de desarrollo | Abarán | Cieza | Santomera |
|----------------------------------|--------|-------|-----------|
| <i>1998</i> | | | |
| Sin saco. Cél. madre | 0 | 20 | 40 |
| 2 Núcleos | 30 | 30 | 30 |
| 4 Núcleos | 40 | 40 | 20 |
| 8 Núcleos | 0 | 10 | 10 |
| Célula huevo diferenciada | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 0 | 0 | 0 |
| - Núcleos polares fusionados | 10 | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 20 | 0 | 0 |
| Número de óvulos examinados | 10 | 10 | 10 |
| <i>1999</i> | | | |
| Sin saco. Cél. madre | 50 | 10 | 33,3 |
| 2 Núcleos | 20 | 30 | 55,6 |
| 4 Núcleos | 20 | 40 | 11,1 |
| 8 Núcleos | 0 | 10 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 10 | 0 | 0 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 10 | 0 |
| Número de óvulos examinados | 10 | 10 | 9 |
| <i>Medias de los dos años</i> | | | |
| Sin saco. Cél. madre | 25 | 15 | 36,84 |
| 2 Núcleos | 25 | 30 | 42,10 |
| 4 Núcleos | 30 | 40 | 15,80 |
| 8 Núcleos | 0 | 10 | 5,26 |

Al analizar estadísticamente estos datos observamos que el año no tiene influencia en el grado de desarrollo del saco embrionario de la variedad 'Guillermo' en antesis. Esto coincide con los resultados obtenidos por Egea y Burgos (1994), quienes observaron los óvulos de ocho variedades de albaricoquero del grupo denominado 'variedades de clase' durante cuatro años y no pudieron encontrar ninguna relación entre las diferentes condiciones climáticas de cada año (temperaturas pre-florales tomadas desde el 15 de noviembre hasta el 15 de febrero) y el desarrollo del óvulo en antesis.

En las localizaciones donde se cultivó 'Guillermo' se registraron diferentes unidades frío en cada año, pero el hecho de que se cubran las necesidades de frío de esta variedad de 'clase' mejor en unas que en otras no afectó significativamente al grado de desarrollo del óvulo en antesis.

A pesar de que no existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en las distintas localizaciones, la suma del porcentaje de óvulos en los dos primeros estados considerados (óvulos no funcionales o sin posibilidades de ser fecundados) fue ligeramente superior en Santomera, encontrándose un 79% del total de los óvulos observados (media de los datos de los dos años, Tabla 7.6) frente a un 50% en Abarán y un 45% en Cieza. Es decir, en Santomera, en los dos años del ensayo, los óvulos examinados están menos avanzados que en las otras localizaciones. Egea y Burgos (1998) también encontraron un ligero retraso del óvulo de cuatro variedades de albaricoquero, cuyas necesidades de frío son elevadas, cuando eran cultivadas en Santomera respecto de estas mismas cultivadas en otra localización con más frío.

4. MADUREZ DEL ÓVULO EN LA VARIEDAD 'GUILLERMO' SOMETIDA A ELEVADAS TEMPERATURAS PRE-FLORALES

Durante los tres años en los que se llevó a cabo el ensayo consistente en embolsar ramas durante la fase prefloral, se tomaron muestras de óvulos en antesis y los resultados relativos a su estado de madurez se pueden observar en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Porcentaje de óvulos primarios con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en flores recién abiertas, de la variedad de albaricoquero 'Guillermo', sometida a elevadas temperaturas pre-florales durante los años 1998, 1999 y 2000

| Estado de desarrollo | Embolsados | No embolsados |
|----------------------------------|------------|---------------|
| 1998 | | |
| Sin saco. Cél. madre | 30 | 0 |
| 2 Núcleos | 20 | 30 |
| 4 Núcleos | 10 | 40 |
| 8 Núcleos | 20 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 0 | 0 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 10 |
| Óvulos malformados | 20 | 20 |
| Número de óvulos examinados | 10 | 10 |
| 1999 | | |
| Sin saco. Cél. madre | 80 | 50 |
| 2 Núcleos | 0 | 20 |
| 4 Núcleos | 20 | 20 |
| 8 Núcleos | 0 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 0 | 10 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 0 |
| Número de óvulos examinados | 10 | 10 |
| 2000 | | |
| Sin saco. Cél. madre | 30 | 16,67 |
| 2 Núcleos | 25 | 50 |
| 4 Núcleos | 30 | 33,33 |
| 8 Núcleos | 15 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 0 | 0 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 0 |
| Óvulos malformados | 0 | 0 |
| Número de óvulos examinados | 20 | 18 |

No apareció ninguna influencia del año ni del tratamiento en el grado de desarrollo del óvulo primario en anthesis. Esto implica que los pequeños incrementos de temperaturas conseguidos al embolsar las ramas unos días antes de la floración no afectan al desarrollo del megagametofito en la variedad de albaricoquero 'Guillermo' y en definitiva parecen indicar que dentro de los límites de la variación de temperatura establecida hay sincronismo en la velocidad de desarrollo de las partes externas e internas de la flor.

Estos resultados difieren de los obtenidos por Eaton (1959) en cerezo dulce en dos localizaciones, ya que observó un retraso del óvulo respecto a las partes externas de la flor en la localización donde las temperaturas medias eran inferiores en 4°C. Sin embargo, en un trabajo posterior este mismo autor encontró que una variedad de cerezo dulce que florecía más tarde que otras tres tenía el saco embrionario más desarrollado en anthesis que las demás (Eaton, 1962) deduciendo por ello que el desarrollo interno y externo de la flor debe ser más o menos independiente. Beppu *et al.* (1997) sometieron árboles de la variedad 'Satohnishiki' de cerezo dulce a un régimen de temperaturas de 20-25°C durante el día y 10-15°C durante la noche, desde un mes antes de la apertura de la flor hasta la caída de pétalos. Observaron que los sacos embrionarios degeneraban rápidamente y asociaron esta degeneración del saco y de la nucela con la disminución del cuajado de frutos que registraban cuando las temperaturas previas y durante la floración eran elevadas. Miller *et al.* (1987), trabajando con manzano, encontraron que las temperaturas elevadas previas a la floración provocaban un desarrollo más rápido del saco embrionario que de las partes externas florales. En un trabajo con variedades de almendro, Egea y Burgos (1995) indicaron que en la variedad 'Malagueña' podía existir una importante influencia de las temperaturas preflorales en la viabilidad del óvulo, cuando estas incrementaban 3-4°C debido al embolsamiento de ramas con bolsas de plástico. El número de frutos con semillas dobles en estas ramas disminuyó considerablemente, lo que supone una temprana degeneración del óvulo secundario. Sin embargo, la fructificación no fue diferente en ramas embolsadas y no embolsadas. Los autores explican los resultados

obtenidos indicando que el incremento de temperatura pudo ser suficiente para reducir la viabilidad del óvulo pero no suficientemente grande para afectar a la fructificación. Igualmente, para poder observar el efecto de las temperaturas preflorales elevadas sobre la funcionalidad de los óvulos primarios en nuestro trabajo, quizá sería necesario un incremento mayor de las temperaturas.

8. PROGRESIÓN DE LA MADUREZ DEL ÓVULO Y AVANCE DEL TUBO POLÍNICO

INTRODUCCIÓN

Para que la fecundación del óvulo tenga lugar son necesarias entre otras las siguientes dos condiciones: que el óvulo alcance el estado de madurez adecuado y que el tubo polínico que crece a través del estilo a una velocidad que es función de la temperatura (Williams, 1970a) alcance el ovario mientras el óvulo permanezca viable. (Herrero y Arbeloa, 1989), en un trabajo con melocotonero señalan que para que ocurra la fertilización el desarrollo del gametofito masculino y la

maduración del pistilo necesitan estar sincronizados. Numerosos autores, trabajando con distintas especies frutales, han encontrado como causa importante de fallos de fructificación la excesiva madurez del óvulo en antesis (Eaton, 1962; Marro, 1976; Stösser y Anvari, 1982). En estas condiciones el óvulo degenera antes que los tubos polínicos alcancen el ovario, siendo entonces imposible la fertilización. Como hemos visto anteriormente en esta memoria y en otros trabajos (Burgos y Egea, 1993; Egea y Burgos, 1994; Egea y Burgos, 1998) cuando abre la flor del albaricoquero, es frecuente en muchas variedades, un retraso del desarrollo del megagametofito. Por lo tanto, en albaricoquero la excesiva madurez del óvulo en antesis no es habitualmente un impedimento para que se lleve a cabo la fecundación. (Pimienta y Polito, 1983), al analizar óvulos de la variedad de almendro 'Nonpareil', encontraron que los sacos embrionarios en antesis estaban inmaduros y que cuando los tubos polínicos llegaban a la parte superior del ovario su crecimiento se ralentizaba o detenía mientras el saco embrionario evolucionaba hasta su completo desarrollo. En el momento en que el óvulo estaba maduro los tubos polínicos continuaban su crecimiento y entraban a través del micropilo.

Es frecuente que durante la época de floración de muchas de las variedades de albaricoquero cultivadas en Murcia las temperaturas diurnas sean elevadas (22-25°C), por lo que la velocidad de crecimiento del tubo polínico es también elevada (Williams, 1970a), pudiendo éste alcanzar el ovario en 3 ó 4 días. Si el óvulo está muy inmaduro para ser fecundado cuando llegan los tubos polínicos, puede ser que la degeneración de éstos ocurra antes de que el óvulo pueda evolucionar hasta completar su desarrollo. En este ensayo intentamos determinar que grado de madurez presentaban los óvulos de algunas variedades de albaricoquero cuando eran alcanzados por los tubos polínicos y si un asincronismo entre la llegada del tubo polínico al ovario y la madurez o viabilidad del óvulo puede ser una causa de su escasa fructificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha realizado en cuatro variedades un análisis histológico de los óvulos de flores polinizadas con el fin de estudiar la evolución de su maduración con el tiempo desde la antesis. Al mismo tiempo se observó el avance de los tubos polínicos en las mismas variedades polinizadas en antesis.

1. MATERIAL VEGETAL Y DISEÑO DE LOS EXPERIMENTOS

Se escogieron dos variedades en las que la fructificación es habitualmente elevada y el estado del óvulo a la apertura de la flor es avanzado ('Beliana' y 'Palstein') y otras dos en las que las fructificaciones son bajas y el óvulo frecuentemente está atrasado en antesis ('Guillermo' y 'Bergerón').

En un ensayo se trabajó con las variedades 'Beliana', que florece a final de febrero, y 'Guillermo', que florece a mitad de marzo. El experimento se llevó a cabo en 1999, recogiendo de estas ramas embolsadas flores a los 3, 4 y 5 días tras la antesis y polinización para establecer el grado de desarrollo del saco embrionario y el avance de los tubos polínicos. Se recogieron 10 flores por variedad cada día para observar el grado de madurez del óvulo primario y entre 10 y 12 flores por variedad y día para determinar el avance de los tubos polínicos.

En 1999 se realizó el mismo ensayo con carácter preliminar escogiendo las variedades 'Palstein', que florece aproximadamente en la misma época que 'Beliana', y 'Bergerón' cuya floración suele ser casi un mes más tarde. El número de óvulos examinados en ese año fue muy bajo, ya que se trataba de tener una idea del estado de los óvulos pasados unos días desde la apertura de la flor en estas variedades. Se tomaron flores en los mismos días para determinar el avance de los tubos polínicos (10 flores por día). Al año siguiente, debido a que en 1999 los

tubos polínicos no habían alcanzado aún el óvulo en los pistilos del día 3, se retrasaron un día las fechas de recogida de pistilos. Por lo tanto, se tomaron muestras a los 4, 5 y 6 días tras la antesis y polinización y se realizaron las mismas observaciones sobre los óvulos primarios y los tubos polínicos. En el año 2000 se realizó este ensayo únicamente con las variedades 'Palstein' y 'Bergerón'. Para analizar el estado del óvulo, el número de flores por variedad y día fue alrededor de 15 y entre 10 y 12 pistilos por variedad y día para observar los tubos polínicos.

2. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL SACO EMBRIONARIO

Para seguir el desarrollo del saco embrionario durante unos días después de la antesis, flores de las variedades objeto de estudio se emascularon en el estado D-E de Fleckinger y a continuación se polinizaron manualmente con una mezcla de polen procedente de muchas variedades, obtenido como se describe en el Capítulo 6, con el fin de asegurar la polinización de todas las flores y homogeneizar el tipo de polen utilizado en todas las variedades, ya que florecen en diferentes épocas.

Los pistilos de cada variedad fueron recogidos cuando habían transcurrido unos días desde la antesis y la polinización, siendo procesados en el mismo modo que se describió en el Capítulo 7. Se observó el óvulo primario adscribiendo el estado de desarrollo del saco embrionario a uno de los estados establecidos en ese capítulo. Se consideraron óvulos inmaduros los que se encontraron en estados anteriores al de célula huevo diferenciada y maduros los que mostraban la célula huevo diferenciada y los núcleos polares no fusionados o fusionados.

3. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL TUBO POLÍNICO

A la vez que se tomaron muestras para observar el estado del óvulo primario se cogieron flores para observar los tubos polínicos. Los pistilos se fijaron

con F.A.A. (5% de formaldehído al 40%, 5% de acético glacial y 90% de alcohol al 70%). Tras la fijación, los pistilos se lavaron y se mantuvieron en un autoclave a 1 atmósfera durante 30 minutos, inmersos en una solución de sulfito sódico al 5%. Este tratamiento ablanda las flores, lo cual facilita su tinción posterior con azul de anilina al 0,1% en fosfato potásico 0,1N y su preparación para observación mediante microscopía de fluorescencia (Linskens y Esser, 1957; Martin, 1959; Kho y Baër, 1968) de la germinación del polen en el estigma y el crecimiento del tubo polínico en el estilo.

El método de tinción fluorescente está basado en la absorción selectiva por la callosa del tinte azul de anilina. La callosa (polímero de glucosa) se deposita como una delgada película a lo largo de la pared del tubo de polen y periódicamente aparece como nudos a lo largo del tubo. Cuando se tiñe con anilina la callosa fluoresce bajo luz U.V. de 365 μm . El brillo amarillo verdoso de la callosa contrasta con el resto de los tejidos del pistilo. Para la observación microscópica se eliminan los tejidos que rodean al tejido trasmisor por donde avanzan los tubos polínicos y se requiere el aplastamiento del pistilo entre el portaobjetos y cubreobjetos, lo cual facilita la observación. Para realizar las observaciones se utilizó un microscopio Olympus BH2 con un sistema de transmisión de luz ultravioleta adaptado BH2-RFL-T2 que utiliza como fuente una lámpara de alta presión de mercurio Osram HBO 100 W/2.

Se determinó el número de granos de polen germinados, la longitud total del estilo, la longitud del frente de tubos, la longitud del tubo más largo y el número de tubos en el ovario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. EVOLUCIÓN DEL SACO EMBRIONARIO Y DEL TUBO POLÍNICO EN LAS VARIEDADES 'BELIANA' Y 'GUILLERMO'

La evolución del estado de desarrollo de los óvulos primarios de las variedades 'Beliana' y 'Guillermo' embolsadas se observa en la Figura 8.1. Se muestran los óvulos inmaduros, maduros y malformados de ambas variedades en cada día.

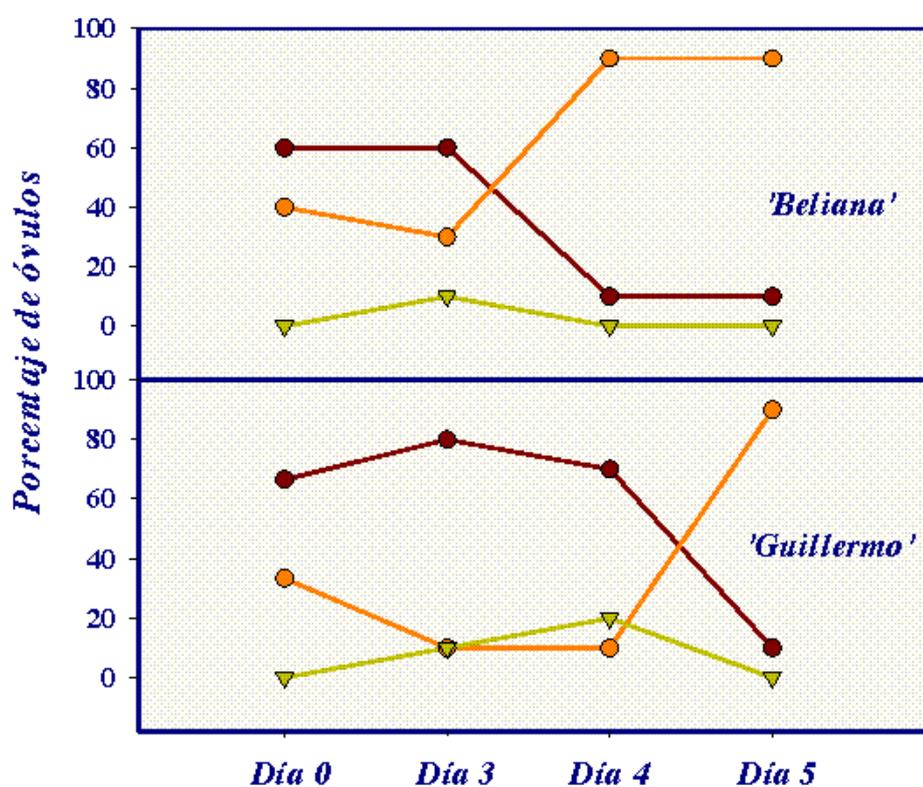


Figura 8.1. Evolución de la maduración de los óvulos con el tiempo en las variedades de albaricoquero 'Beliana' y 'Guillermo' embolsadas tras la floración. Óvulos inmaduros (●), óvulos maduros (●) y óvulos malformados (▼)

Es a partir del día 3 en el caso de 'Beliana' y del día 4 en 'Guillermo' cuando los óvulos evolucionan de inmaduros a maduros mayoritariamente. A pesar de que en antesis el porcentaje de inmaduros era ligeramente superior en 'Guillermo', el quinto día el porcentaje total de inmaduros y maduros es igual en las dos variedades.

Sin embargo, analizando detalladamente los estados de madurez de cada variedad en los distintos días (Tabla 8.1), vemos que en la variedad 'Guillermo' a la antesis un 44,40% de los óvulos estaban con menos de 4 núcleos y en 'Beliana' no había ninguno tan inmaduro. Al quinto día desde la antesis en 'Beliana' el 70% de los óvulos examinados mostraban los núcleos polares fusionados, mientras que en 'Guillermo' solo un 20% se encontraba en ese estado de desarrollo. Por lo tanto, se mantiene a lo largo de los cinco días desde la antesis y polinización un relativo atraso del saco embrionario. Respecto a los óvulos malformados no se observó un incremento con el tiempo del porcentaje de óvulos en ese estado y se puede decir que las anomalías no son importantes en estas variedades en las etapas tempranas del desarrollo de flores polinizadas.

Se observaron tubos polínicos en el ovario el día 3 en el caso de 'Beliana' y el día 5 en 'Guillermo' (Tabla 8.2). Hay un avance más rápido de los tubos polínicos en 'Beliana', la variedad con los óvulos más avanzados, a pesar de que las temperaturas durante la época de floración de esa variedad fueron ligeramente inferiores que las de la época de floración de 'Guillermo'. También es mayor el número de granos germinados. Esto parece indicar que existe una influencia del desarrollo del megagametofito sobre el gametofito masculino.

Tabla 8.1. Porcentajes de óvulos primarios de las variedades de albaricoquero 'Beliana' y 'Guillermo' con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en antesis y 3,4 y 5 días tras la antesis (1999)

| Estados de desarrollo | Día 0 | Día 3 | Día 4 | Día 5 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 'Beliana' | | | | |
| Sin saco. Célula madre | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 Núcleos | 0 | 10 | 10 | 0 |
| 4 Núcleos | 10 | 50 | 0 | 10 |
| 8 Núcleos | 50 | 0 | 0 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 40 | 30 | 70 | 20 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 0 | 20 | 70 |
| Óvulos malformados | 0 | 10 | 0 | 0 |
| Número de óvulos examinados | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 'Guillermo' | | | | |
| Sin saco. Célula madre | 22,2 | 0 | 0 | 0 |
| 2 Núcleos | 22,2 | 10 | 10 | 0 |
| 4 Núcleos | 22,2 | 20 | 20 | 0 |
| 8 Núcleos | 0 | 50 | 40 | 10 |
| Célula huevo diferenciada | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 33,4 | 0 | 0 | 70 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 10 | 10 | 20 |
| Óvulos malformados | 0 | 10 | 20 | 0 |
| Número de óvulos examinados | 9 | 10 | 10 | 10 |

Tabla 8.2. Crecimiento de los tubos polínicos de las variedades 'Beliana' y 'Guillermo' en 1999

| | Día 3 | Día 4 | Día 5 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| 'Beliana' | | | |
| Número de granos germinados | 82 | 51 | 59 |
| Longitud total del estilo (mm) | 11,8 | 12,2 | 12,2 |
| Longitud del frente de tubos (mm) | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| Longitud del tubo más largo (mm) | 11,8 | 12,2 | 12,2 |
| Número de tubos en el ovario | 1 | 2 | 5 |
| Número de pistilos examinados | 10 | 10 | 10 |
| 'Guillermo' | | | |
| Número de granos germinados | 34 | 33 | 42 |
| Longitud total del estilo (mm) | 14,6 | 15,3 | 14,0 |
| Longitud del frente de tubos (mm) | 5,4 | 8,3 | 8,0 |
| Longitud del tubo más largo (mm) | 11,5 | 15,0 | 13,4 |
| Número de tubos en el ovario | - | - | 4 |
| Número de pistilos examinados | 12 | 10 | 9 |

Los estudios sobre la interacción del gametofito masculino y el femenino conducen a resultados contradictorios. En la variedad de almendro 'Nonpareil' (Pimienta y Polito, 1983) indicaron que existía una estrecha relación entre el crecimiento del tubo polínico y el desarrollo del saco embrionario. Estos autores opinan que la presencia de los tubos polínicos estimula el desarrollo del óvulo. Por el contrario, Sedgley (1976) sugirió que existía un control del saco embrionario sobre el crecimiento del tubo polínico en aguacate. También en melocotonero Herrero y Arbeloa (1989) indicaron que el pistilo ejerce un papel importante en la cinética del tubo polínico y señalan que los pistilos de melocotonero están inmaduros en antesis, siendo necesario que se produzcan secreciones en el pistilo para que madure y crezcan a través de él los tubos polínicos. En una revisión posterior realizada por Herrero (1992) se indica que el hecho de que los tubos puedan vagar antes de entrar en el óvulo sugiere que la maduración de éste puede ser necesaria antes de que los tubos penetren en el ovario y esto afectaría a la fertilización. Debería confirmarse en futuros trabajos que la maduración del óvulo en albaricoquero influye en el crecimiento de los tubos polínicos, ya que esto tendría consecuencias directas en el proceso de fecundación.

En 'Beliana' el día 3, cuando los tubos polínicos alcanzan el ovario, el porcentaje de óvulos maduros era muy bajo pero al día siguiente aumentó considerablemente y en 'Guillermo' encontramos un alto porcentaje de óvulos maduros el día 5, cuando se observan tubos en el ovario, aunque solo un 20% de los óvulos tiene los núcleos polares fusionados (Figura 8.1 y Tabla 8.1). El tubo polínico llega al ovario y tarda un tiempo en penetrar en el óvulo, tal y como ocurre en distintas especies en las que el tiempo necesario es diferente (Buttrose y Sedgley, 1979; Herrero y Arbeloa, 1989; Xu *et al.*, 1995; Rodrigo y Herrero, 1998). En el caso de 'Beliana' los tubos polínicos crecieron rápidamente y llegaron el día 3 pudiendo penetrar el óvulo en los días siguientes, cuando los sacos embrionarios estaban maduros en un alto porcentaje. En la variedad 'Guillermo' nos encontramos que los tubos polínicos crecieron más lentamente llegando al

ovario el día 5. En los días siguientes la mayoría de los óvulos podrían completar su desarrollo y ser fecundados cuando los tubos penetraran a través del micropilo. Se han realizado trabajos sobre la viabilidad del saco embrionario y de los óvulos de frutales. Algunos autores apuntan que ésta es, normalmente, bastante corta y puede limitar la fructificación (Stösser y Anvari, 1982). En un trabajo realizado con la variedad 'Moniquí Fino' (Burgos y Egea, 1993) a partir del día 8 aparecían porcentajes elevados de óvulos degenerados. Nosotros no hemos encontrado síntomas de degeneración de óvulos en los observados hasta el día 6 tras la antesis y óvulos de distintas variedades de albaricoquero observados cuando han transcurrido muchos más días desde la polinización (hasta 15 días) se mantienen viables, con saco alargado, célula huevo y núcleos polares fusionados (datos relativos al Capítulo 9). Esto induce a pensar que la degeneración de los óvulos de albaricoquero con el tiempo es un carácter genético y en muchas variedades no hay problema en cuanto al límite de la viabilidad de los óvulos.

Nuestros resultados indican que no existe un asincronismo importante entre la llegada del tubo polínico al ovario y la madurez del óvulo en ninguna de las dos variedades. Sin embargo, como veremos más adelante (Capítulo 9), los porcentajes de óvulos fecundados que se dan en la variedad 'Beliana' son más elevados que los de 'Guillermo'. Las causas de las dificultades en la fecundación son desconocidas. Podría ocurrir que los óvulos más atrasados en el momento de la apertura de la flor, para cuando completan su desarrollo, entran en competencia con otros puntos vegetativos que, por efecto de las temperaturas habituales en las épocas de floración de muchas de las variedades, comienzan a desarrollar. Otros autores han sugerido la existencia de un factor quimiotrófico en otras especies como responsable de la entrada de los tubos polínicos en el óvulo para fecundarlo (Jensen *et al.*, 1983; Lord y Kohorn, 1986), ya que no hay una guía de tipo anatómico. Puede suceder que este factor exista en albaricoquero y no opere adecuadamente en algunas variedades.

2. EVOLUCIÓN DEL SACO EMBRIONARIO Y DEL TUBO POLÍNICO EN LAS VARIEDADES 'PALSTEIN' Y 'BERGERÓN'

A la apertura de la flor el grado de desarrollo de la variedad 'Palstein' es mayor que en 'Bergerón', como ya vimos en el Capítulo 7. En el ensayo preliminar de 1999 se observó un avance gradual de la madurez de los óvulos a partir del día 3 en las dos variedades, y no pareció influir en la velocidad de desarrollo del óvulo la época de floración, diferente en ambas variedades, con temperaturas más elevadas durante la floración de 'Bergerón'. Ya en ese año se observaron diferencias apreciables en cuanto al número de óvulos maduros en una variedad y otra al quinto día a pesar del tamaño reducido de la muestra (datos no mostrados).

La evolución de la maduración los óvulos de las dos variedades con el tiempo en el año 2000 se puede observar en la Figura 8.2. En ambos casos el elevado número de óvulos inmaduros del día 0 desciende bruscamente el día 4. El porcentaje de óvulos maduros de la variedad 'Palstein' alcanza el máximo en ese día con casi un 70% de los óvulos examinados, mientras que en 'Bergerón' el máximo de óvulos maduros es del 37,5%, también el día 4. Estas diferencias se mantienen aproximadamente en esos niveles en los días 5 y 6. Se observa un claro aumento de los óvulos malformados con el tiempo en ambas variedades, aunque de mayor magnitud en 'Bergerón'.

En el año 2000 las últimas muestras se tomaron el día 6 y aparecieron algunos óvulos de 'Palstein' fecundados (14,28%). Un 42,86% se encontraban en el estado de célula huevo diferenciada y núcleos polares no fusionados o fusionados (Tabla 8.3). Sin embargo, en 'Bergerón' no habían óvulos fecundados el día 6 tras la antesis y el porcentaje de óvulos con la célula huevo diferenciada era de 33,33%, estando pues más retrasado que 'Palstein'. El retraso que inicialmente mostraban los sacos embrionarios de 'Bergerón' continua a lo largo del tiempo manifestándose diferencias en el desarrollo el día 6 tras la antesis y polinización.

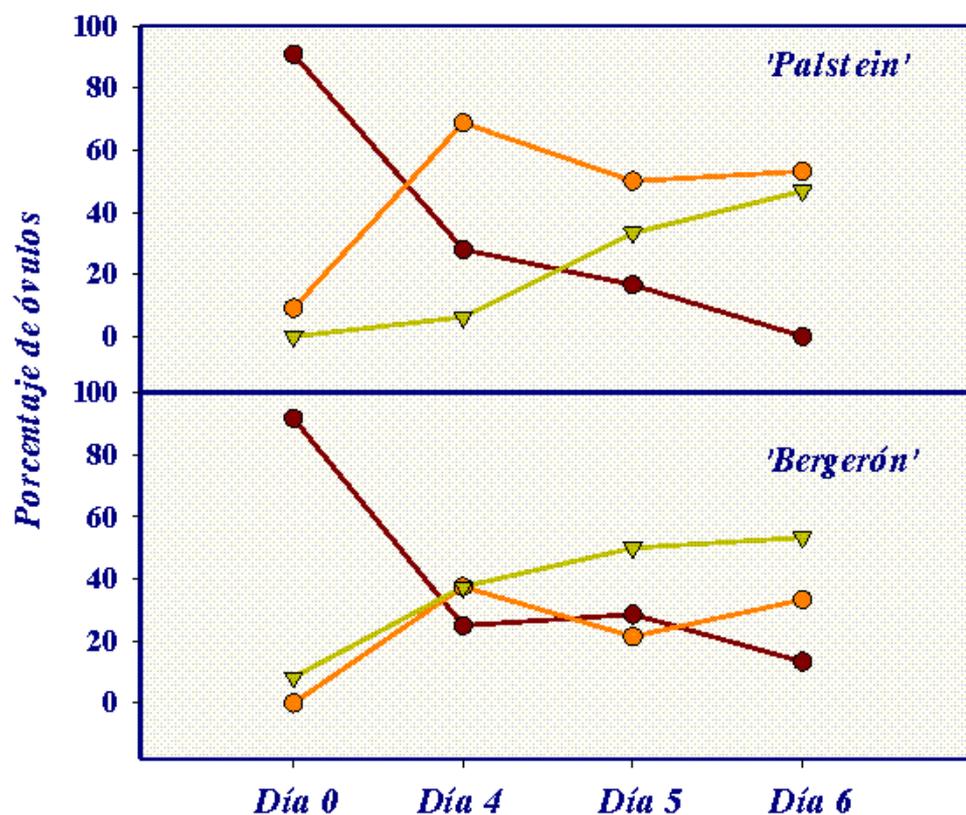


Figura 8.2. Evolución de la maduración de los óvulos con el tiempo de las variedades de albaricoquero 'Palstein' y 'Bergerón'. Óvulos inmaduros (●), óvulos maduros (●) y óvulos malformados (▼)

En el ensayo preliminar del año 1999 observamos que los tubos polínicos alcanzaron el ovario el día 4 en las dos variedades estudiadas, pero el número de tubos en el ovario fue mayor en 'Palstein' que en 'Bergerón' (datos no mostrados). Los datos del año 2000 indican un ligero retraso del crecimiento de los tubos en 'Bergerón', llegando los tubos al ovario el día 5 tras la polinización. En 'Palstein' llegaron el día 4 (Tabla 8.4). También se observaron más tubos polínicos en el

ovario de ésta última variedad, que es la que presenta óvulos más desarrollados. Como ya se indicó en el apartado anterior, estos resultados sugieren que el mayor desarrollo de los sacos embrionarios influye positivamente en el crecimiento de los tubos polínicos.

Tabla 8.3. Porcentajes de óvulos primario de las variedades de albaricoquero 'Palstein' y 'Bergerón' con saco embrionario en diferentes estados de desarrollo en antesis y 4,5 y 6 días tras la antesis (Año 2000)

| Estado de desarrollo | Día 0 | Día 4 | Día 5 | Día 6 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 'Palstein' | | | | |
| Sin saco. Célula madre | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 Núcleos | 15,15 | 12,50 | 0 | 0 |
| 4 Núcleos | 60,60 | 6,25 | 8,33 | 0 |
| 8 Núcleos | 15,15 | 6,25 | 8,33 | 0 |
| Célula huevo diferenciada | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 9,10 | 18,75 | 25,00 | 21,43 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 50 | 25,00 | 21,43 |
| Fecundados | 0 | 0 | 0 | 14,28 |
| Óvulos malformados | 0 | 6,25 | 33,34 | 46,83 |
| Número de óvulos examinados | 33 | 16 | 12 | 14 |
| 'Bergerón' 2000 | | | | |
| Sin saco. Célula madre | 47,23 | 0 | 0 | 0 |
| 2 Núcleos | 22,22 | 6,25 | 0 | 0 |
| 4 Núcleos | 19,44 | 12,50 | 7,15 | 6,67 |
| 8 Núcleos | 2,78 | 6,25 | 21,43 | 6,67 |
| Célula huevo diferenciada | | | | |
| - Núcleos polares no fusionados | 0 | 31,25 | 14,28 | 20 |
| - Núcleos polares fusionados | 0 | 6,25 | 7,15 | 13,33 |
| Óvulos malformados | 8,33 | 37,50 | 49,99 | 53,33 |
| Número de óvulos examinados | 36 | 16 | 14 | 15 |

Tabla 8.4. Crecimiento de los tubos polínicos de las variedades 'Palstein' y 'Bergerón' en el año 2000

| | Día 4 | Día 5 | Día 6 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| <i>'Palstein'</i> | | | |
| Número de granos germinados | 94 | 38 | 45 |
| Longitud total del estilo (mm) | 14 | 14 | 14,5 |
| Longitud del frente de tubos (mm) | 12 | 12 | 13,0 |
| Longitud del tubo más largo (mm) | 14 | 14 | 14,5 |
| Número de tubos en el ovario | 8 | 9 | 7 |
| Número de pistilos examinados | 12 | 12 | 11 |
| <i>'Bergerón'</i> | | | |
| Número de granos germinados | 77 | 53 | 44 |
| Longitud total del estilo (mm) | 14,0 | 14,5 | 14,5 |
| Longitud del frente de tubos (mm) | 11,0 | 13,0 | 13,0 |
| Longitud del tubo más largo (mm) | 13,5 | 14,5 | 14,5 |
| Número de tubos en el ovario | - | 2 | 4 |
| Número de pistilos examinados | 12 | 12 | 12 |

En 'Palstein' hemos comprobado que cuando llegan los tubos polínicos al ovario, el saco embrionario de un elevado porcentaje de óvulos examinados está completamente desarrollado (Tablas 8.3 y 8.4). En 'Bergerón' el día 5 tras la polinización, cuando alcanzan los tubos polínicos el ovario, el porcentaje de óvulos maduros es menor que en 'Palstein'. El problema que presenta la variedad 'Bergerón' es que muchos de sus óvulos no evolucionan correctamente y quedan con saco sin formar, considerándolos óvulos malformados. Mientras que en 'Palstein', como ocurría en 'Beliana', se da un sincronismo entre la madurez de un elevado porcentaje de óvulos y la llegada de los tubos polínicos al ovario, en 'Bergerón' esto no sucede, ya que la mayoría de los óvulos son inviábiles. Esto explicaría las diferencias que encontramos en la fertilización de estas variedades, como veremos más adelante (Capítulo 9).

En las cuatro variedades estudiadas los resultados obtenidos apuntan a que las posibilidades de que se produzca la fertilización quedan reducidas a aquellos óvulos que están maduros o maduran en uno o dos días tras la llegada de los tubos

polínicos al ovario. Estos resultados están en contra de lo indicado por (Pimienta y Polito, 1983), quienes trabajando con la variedad de almendro 'Nonpareil' observaron que el tubo polínico detenía su desarrollo hasta que el saco embrionario evolucionara completamente y la fecundación de éste tenía lugar sin problemas.

9. PROCESO DE FERTILIZACIÓN

INTRODUCCIÓN

Como ya se ha indicado en el Capítulo 7, hay un retraso generalizado en la maduración de los óvulos de todas las variedades respecto a otras especies y en algunas variedades el retraso es especialmente acentuado. La hipótesis que se plantea como base para el desarrollo del trabajo de este capítulo es que esta inmadurez del óvulo incide negativamente en el proceso de fertilización, ya que las variedades que tienen más desarrollados los sacos embrionarios cuando se produce naturalmente la polinización, es decir a la apertura de la flor, tienen un mayor número de óvulos fecundados, lo que se traduce en unas producciones superiores,

que en aquellas en las que el saco embrionario está muy atrasado en el momento de la polinización.

Paralelamente, se quería determinar cuando tiene lugar la fertilización y la aparición del embrión para la especie albaricoquero en nuestras condiciones de cultivo. En numerosos frutales, como en peral (Herrero, 1983) o en manzano (Sato *et al.*, 1988), se han realizado estudios sobre la fertilización, observando que la fecundación ocurre en diferentes momentos. Lo mismo ocurre en distintas especies del género *Prunus* (Pimienta y Polito, 1982; Herrero y Arbeloa, 1989; Xu *et al.*, 1995; Cerovic y Micic, 1999). En la variedad de albaricoquero 'Moniquí Fino', Rodrigo y Herrero (1998) observaron que, en las condiciones climáticas locales, la fertilización tenía lugar entre los días 6 y 7 tras la polinización.

MATERIALES Y MÉTODOS

La relación entre la temperatura y el desarrollo de las flores en árboles frutales ha sido estudiada en muchas ocasiones (Richardson *et al.*, 1974; Richardson *et al.*, 1975; Rattigan y Hill, 1986). Para que se produzca la doble fecundación de la célula huevo y de los núcleos polares fusionados, apareciendo los núcleos endospermicos y el embrión, es necesaria una cierta acumulación de calor. Estos requerimientos de calor se midieron en GDH (Growing Degree Hours). Una GDH se define como una hora a la temperatura de 1°C por encima de 4,5°C (Richardson *et al.*, 1975) y se calcula restando 4,5°C a la temperatura horaria comprendida entre 4,5°C y 25°C. Cuando la temperatura supera los 25°C se estima que la acumulación de esa hora es de 20,5 GDHs. Para calcular las GDHs diarias se toma la media de la temperatura máxima y la mínima de ese día, se le resta 4,5 y se multiplica por 24 (Baskerville y Emin, 1969). Se tomó esta unidad de calor acumulativo como medida del tiempo transcurrido desde la antesis y polinización, en lugar de tomar como unidad el día, ya que conviene ajustar el

tiempo a una cantidad de calor acumulada similar en todas las variedades estudiadas, que florecen en épocas diferentes.

Para este ensayo se escogieron dos variedades que habitualmente muestran sus óvulos con saco embrionario relativamente desarrollado en antesis, 'Palstein' y 'Beliana'. Los datos de estas variedades se agruparon atendiendo a esa característica común. Por otra parte se eligieron tres variedades cuyos óvulos están frecuentemente muy atrasados en antesis, 'Pepito', 'Guillermo' y 'Bergerón', analizando sus datos conjuntamente. Se repitió la toma de muestras durante tres años consecutivos. Un análisis previo de los datos reveló que no existían diferencias significativas entre los porcentajes de fertilización obtenidos en los distintos años, por lo que decidimos agrupar los datos de todos ellos.

Flores de todas las variedades se emascularon en antesis y se polinizaron manualmente con una mezcla de polen de distintas variedades obtenido como se describe en el Capítulo 6. Ya que intentábamos determinar cuando tenía lugar la fertilización se recogieron muestras de flores cuando se habían acumulado 1500, 2000 y 3000 GDHs (Figura 9.1). Los ovarios fueron tratados como se describió en el Capítulo 7 y se observaron al microscopio adscribiendo el óvulo primario a uno de los siguientes estados:

- Saco embrionario con célula huevo diferenciada y núcleos polares no fusionados
- Saco embrionario con célula huevo diferenciada y núcleos polares fusionados
- Óvulo fecundado
- Óvulo degenerado



Figura 9.1. Pistilos de flores emasculadas en antesis y polinizadas manualmente mostrando el ovario hinchado tras acumular 2000 GDHs desde la polinización.

Se calcularon los porcentajes de fertilización como número de óvulos fecundados respecto del total de óvulos potencialmente viables, sin tener en cuenta los malformados. Con esto pretendíamos evitar las posibles interferencias en la fecundación derivadas de la aparición de malformaciones a las que se hace referencia en el Capítulo 10 y se describen los tipos y la incidencia con la que se presentan a lo largo de la evolución del saco embrionario en las variedades de albaricoquero estudiadas.

Los datos de óvulos fecundados se sometieron a un análisis de varianza de máxima verosimilitud y se establecieron contrastes específicos cuando fue preciso encontrar diferencias entre niveles de un determinado tratamiento.

Estudiamos la posible relación entre el grado de desarrollo del saco embrionario en antesis y la fertilización. Para ello se observaron los porcentajes de óvulos fecundados en cada variedad y se relacionaron con el número de óvulos funcionales en antesis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de los datos mostró que el número de óvulos fecundados en las variedades con óvulos avanzados en antesis era diferente del observado en las variedades con óvulos atrasados y también existía una influencia del tiempo transcurrido desde la polinización sobre la fecundación de los óvulos (Tabla 9.1). En la Tabla 9.2 se muestran los porcentajes de óvulos examinados en los diferentes estados considerados.

Los contrastes específicos entre los porcentajes de fecundación a diferentes GDHs nos indican que hay un número de óvulos fecundados diferente en cada nivel de GDHs (Tabla 9.1). En la Tabla 9.2 y en la Figura 9.2 podemos observar que

muy pocos óvulos de los dos grupos de variedades estaban fecundados a las 1500 GDHs, quizás sólo los más adelantados cuando se polinizaron, pues el estado de desarrollo del saco embrionario cuando abre la flor no es homogéneo en ningún caso. A las 2000 GDHs aparecieron porcentajes de fecundación mucho mayores que a las 1500, siendo a las 3000 GDHs los porcentajes de óvulos fecundados los más elevados. Estos resultados sugieren que la fertilización de los óvulos de albaricoquero tiene lugar cuando se han acumulado más de 1500 GDHs, entre las 2000 y las 3000 GDHs. Las 3000 GDHs es tiempo suficiente para que hayan sido fecundados los óvulos viables. En los óvulos fecundados se pueden observar núcleos endospermicos distribuidos de forma lineal a lo largo de gran parte de las paredes del saco (Figura 9.3 B y C) y en algunos casos, a las 3000 GDHs fue a veces perceptible el embrión en el extremo micropilar del saco, apareciendo como una masa compacta de células que a veces mostraban clara diferenciación entre ellas (Figura 9.4).

Tabla 9.1. Valores de χ^2 obtenidos en el análisis de la varianza de máxima verosimilitud y contrastes para el número de óvulos fecundados de las variedades 'Palstein' y 'Beliana' frente a 'Pepito', 'Guillermo' y 'Bergerón' a las 1500, 2000 y 3000 GDHs

| Fuente de variación | Grados de libertad | Óvulos fecundados (χ^2) |
|-------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Constante | 1 | 8,00 ** |
| Variedades | 1 | 84,07 *** |
| GDH | 2 | 38,68 *** |
| Variedades x GDH | 2 | - ^a |
| Residuo | 2 | 0,57 ** |
| CONTRASTES | | 2 |
| 1500 GDHs vs. 2000 GDHs | 1 | 8,72 ** |
| 2000 GDHs vs. 3000 GDHs | 1 | 27,49 *** |
| 1500 GDHs vs. 3000 GDHs | 1 | 19,60 *** |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{ns}.

^a Estos términos no fueron significativos y fueron eliminados en el modelo reducido

Al observar la Tabla 9.2 apreciamos que la mayoría de los óvulos no fecundados se encuentran en el estado de célula huevo diferenciada y núcleos polares fusionados y muestran el saco alargado (Figura 9.3 A).

Tabla 9.2. Porcentajes de óvulos primarios en distintos estados de madurez de las variedades 'Palstein', 'Beliana', 'Pepito', 'Guillermo' y 'Bergerón' tras acumular 1500, 2000 y 3000 GDHs

| | 'Palstein' y 'Beliana' | | | 'Pepito', 'Guillermo' y 'Bergerón' | | |
|-------------------------------|------------------------|-------|-------|------------------------------------|-------|-------|
| | 1500 | 2000 | 3000 | 1500 | 2000 | 3000 |
| Célula huevo diferenciada. | | | | | | |
| Núcleos polares no fusionados | 50 | 1,00 | 0 | 16,67 | 3,20 | 3,90 |
| Célula huevo diferenciada. | | | | | | |
| Núcleos polares fusionados | 40 | 25,25 | 8,23 | 83,33 | 88,10 | 50,65 |
| Fecundados | 10 | 73,75 | 91,76 | 0 | 8,70 | 45,45 |
| Degenerados | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Número de óvulos observados | 10 | 99 | 85 | 6 | 92 | 77 |

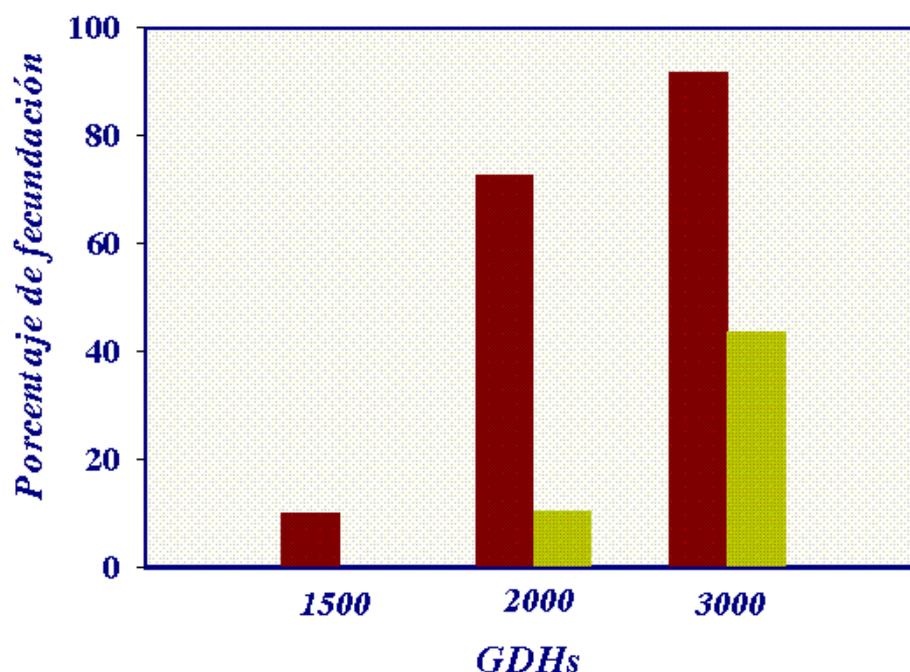


Figura 9.2. Porcentaje de óvulos fecundados de las variedades Palstein y Beliana (■) y Pepito, Guillermo y Bergerón (■) a las 1500, 2000 y 3000 GDH.

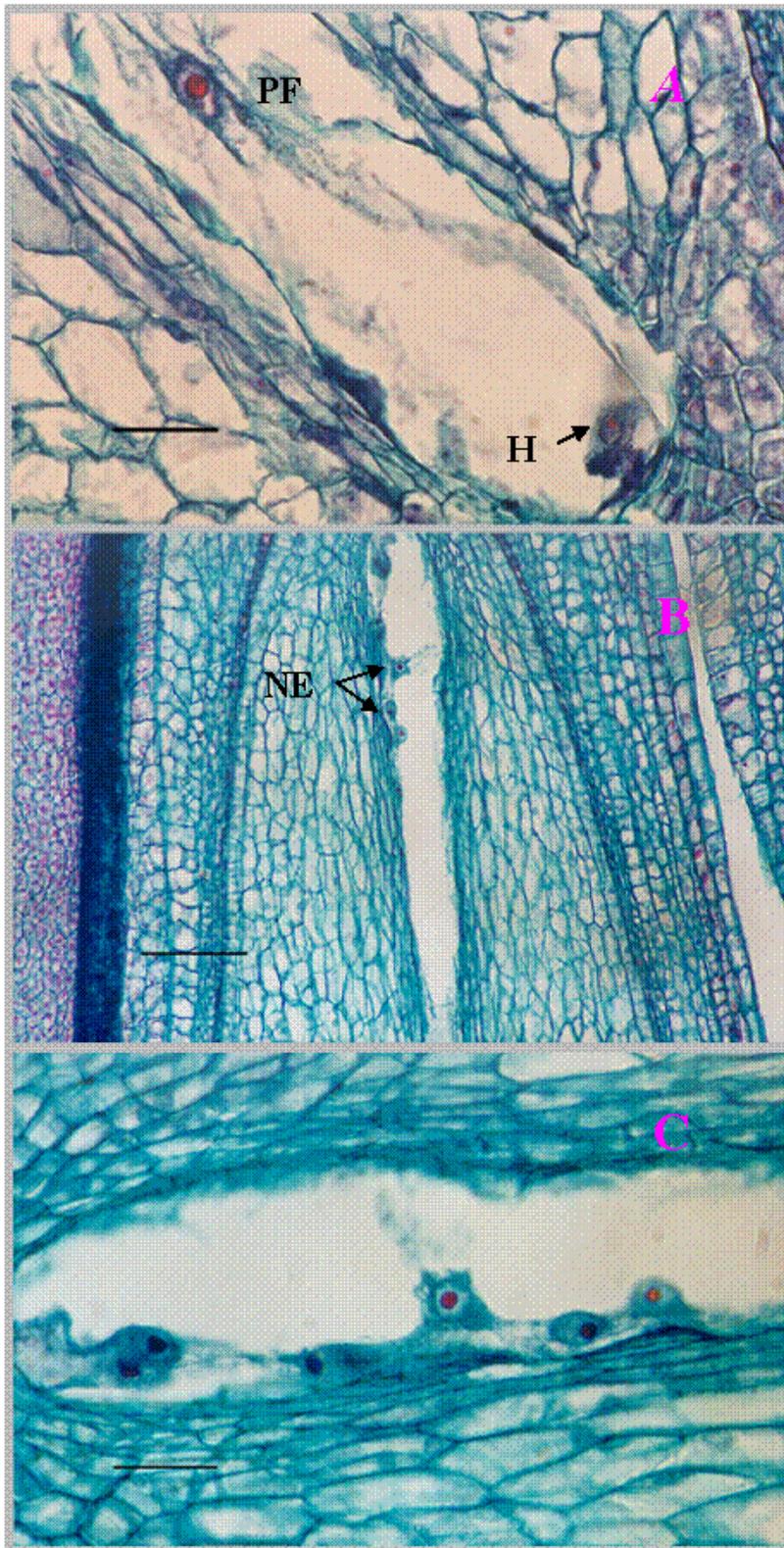


Figura 9.3. A) Saco embrionario en óvulo no fecundado mostrando célula huevo (H) y núcleos polares fusionados (PF). B) Saco embrionario alargado en óvulo fecundado mostrando núcleos endospermicos (NE) distribuidos alrededor de las paredes del saco. C) Detalle de los núcleos endospermicos. Las barras representan 12,5 μm en A), 25 μm en B) y 8 μm en C).

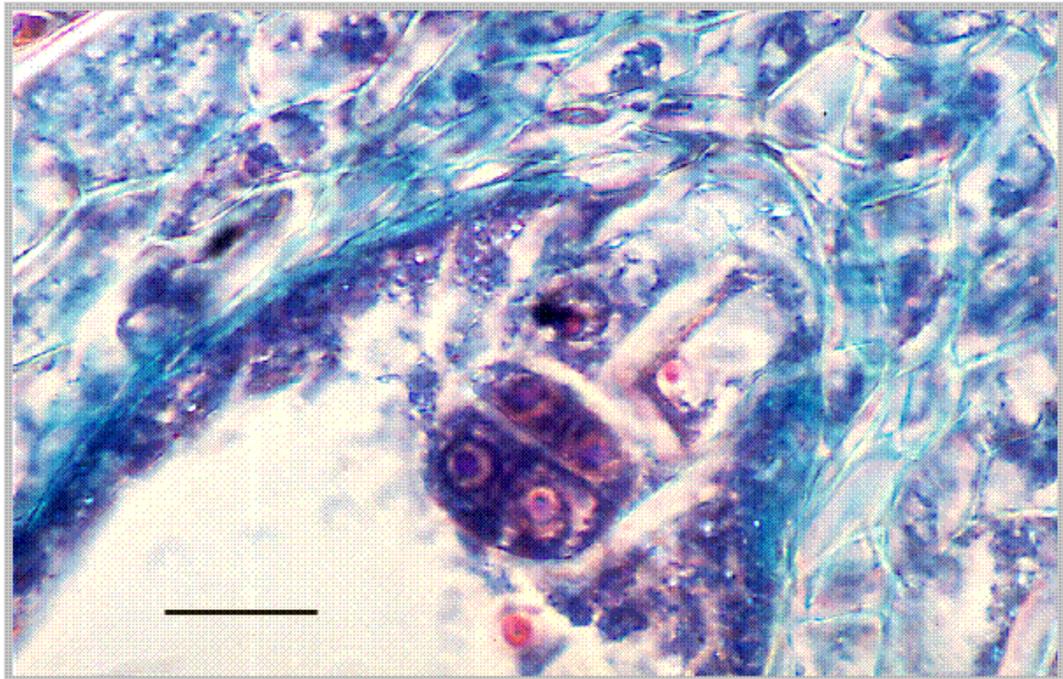


Figura 9.4. Ovulo fecundado. Parte superior del saco embrionario mostrando principio de embrión. La barra representa 4,5 μm .

En ninguna de las variedades estudiadas se observaron óvulos degenerados, ni a las 2000, ni a las 3000 GDH (Tabla 9.2). Aquellos óvulos que no son fecundados se mantienen como óvulos con el saco completamente desarrollado, al menos hasta las 3000 GDH. En nuestras condiciones climáticas las 3000 GDH habitualmente se alcanzan entre 13 y 15 días. Sin embargo, Eaton y Jamont (1964) encontraron un porcentaje elevado de óvulos con sacos embrionarios degenerados cuando se realizaron análisis desde la antesis hasta la caída de pétalos en la variedad de albaricoquero 'Constant'. También Burgos y Egea (1993) encontraron en la variedad 'Moniquí Fino' de albaricoquero, a partir del sexto día tras la polinización, que los óvulos comenzaban a degenerar en un porcentaje que incrementaba hasta el décimo día, en el que eran muy numerosos los óvulos degenerados. Esto indica que la degeneración de los óvulos en flores polinizadas de albaricoquero puede ser una característica varietal.

En la variedad de albaricoquero 'Moniquí Fino' (Rodrigo y Herrero, 1998) observaron un elevado porcentaje de los óvulos fecundados entre los días 6 y 7 tras la polinización. Esto está de acuerdo con el hecho de que, en nuestras condiciones climáticas y en determinados años, las 2000 GDHs se han cubierto en 6 días. Xu *et al.* (1995) encontraron que en albaricoquero japonés (*Prunus mume*) la doble fertilización se produce 5 días después de la polinización. Por el contrario se aleja de los 19 días que toma la especie melocotonero en ese proceso (Arbeloa y Herrero, 1987). En todo caso sería necesario conocer las condiciones de temperatura en que se desarrollaron estas experiencias.

Se observa el hecho de que las variedades con mayor retraso del saco embrionario en antesis ('Pepito', 'Guillermo' y 'Bergerón') son las que registran porcentajes más bajos de fertilización (Figura 9.1). A las 3000 GDHs el número de óvulos fecundados en estas variedades es aproximadamente la mitad que en las variedades con el óvulo más desarrollado en antesis. Esto sugiere que muchos de los óvulos retrasados en el momento de la apertura de la flor no evolucionan correctamente y no son fecundados. Esto último está de acuerdo con la afirmación

de Furukowa y Bukovac (1989) de que los óvulos en flores de cerezo agrio, cuyo saco embrionario estaba inmaduro a la apertura de la flor, son inviables y sin embargo no concuerda con lo señalado por Pimienta y Polito (1983) en almendro, donde encuentran que un importante retraso en el desarrollo del saco embrionario no afectó la fructificación.

Como se ha comentado anteriormente el grado de desarrollo de los sacos embrionarios a la apertura de la flor es una característica muy ligada a la variedad. Ya que hemos observado que los porcentajes de óvulos fecundados de las variedades con diferencias respecto de esa característica también son diferentes, estudiamos si existía una relación de tipo lineal entre los porcentajes de óvulos considerados funcionales en antesis y porcentajes de óvulos fertilizados de las variedades 'Palstein', 'Beliana', 'Pepito', 'Guillermo' y 'Bergerón'. Aunque los datos no se ajustan a un modelo lineal, probablemente debido a la gran variabilidad de este tipo de datos, si existe cierta tendencia que indicaría que para que haya una elevada fertilización es necesario que el porcentaje de óvulos considerados funcionales en antesis (con saco 4 núcleos o en estado más avanzado) sea considerablemente elevado, como se puede apreciar en los datos de la Tabla 9.3. Sin embargo, no todos los óvulos funcionales terminarán siendo fecundados ya que existen muchos factores que pueden influir en este proceso. Por lo tanto, es condición necesaria, aunque no suficiente, que los óvulos de las flores de albaricoquero tengan un cierto desarrollo en antesis para que ocurra la fertilización. En aquellas variedades donde los óvulos están muy retrasados a la apertura de la flor tienen más dificultades para ser fecundados y esta puede ser una de las causas de sus bajas fructificaciones, (ver Tabla 5.14).

Tabla 9.3. Porcentajes de óvulos funcionales en antriosis y de óvulos fecundados observados en las variedades 'Palstein', 'Beliana', 'Pepito', 'Guillermo' y 'Bergerón'

| Variedades | Óvulos funcionales | Óvulos fecundados |
|--------------------|--------------------|-------------------|
| <i>Passtein</i> | 84,89 | 81,54 |
| <i>'Beliana'</i> | 91,18 | 70,17 |
| <i>'Pepito'</i> | 28,13 | 26,98 |
| <i>'Guillermo'</i> | 32,35 | 9,37 |
| <i>'Bergerón'</i> | 25,01 | 20,51 |

10. MALFORMACIONES DEL SACO EMBRIONARIO

INTRODUCCIÓN

Las malformaciones florales perceptibles a la vista han sido descritas frecuentemente. Son, entre otras, el aborto del pistilo, aborto del ovario, diferentes longitudes del pistilo en flores de la misma variedad y por ello flores con diferente potencial de fructificación (Uriu, 1959; Seth y Kuksal, 1977). Las malformaciones que no se detectan con el examen visual de las flores pasan desapercibidas como causa de fracaso de las fructificaciones si no se examinan los ovarios con más precisión, y particularmente los óvulos y el saco embrionario.

Los distintos tipos de malformaciones que pueden darse en el saco embrionario son, indudablemente, causa de fallos en la fertilización. En frutales se han hecho numerosos estudios sobre las irregularidades que presenta el desarrollo de los óvulos, tanto en flor recién abierta como en estados más avanzados. Trabajando con peral, variedad 'Comice' (Bini, 1972) encontró óvulos no funcionales en distintos estados de desarrollo, bien antes de que maduren, antes de que sean fecundados e incluso llegan a abortar cuando ya han desarrollado un embrión. (Tomer *et al.*, 1976) observaron en cuatro variedades de aguacate anomalías muy diversas en óvulos de flores recogidas en varias fechas durante la floración, y (Tomer y Gazit, 1979) describieron los estados tempranos de desarrollo del fruto, encontrando algunos malformados y degenerados. (Sato *et al.*, 1988), estudiando dos cultivares de manzano, relacionaron los porcentajes más bajos de fertilización en uno de ellos con la presencia en él de porcentajes mayores de óvulos atrasados en antesis y tres días después, por lo que consideraron estos óvulos como inviables.

Muchos autores han discutido sobre la influencia de la presencia de polen en el desarrollo del megagametofito y algunos han encontrado un efecto positivo (Sedgley y Scholefield, 1980; Pimienta y Polito, 1983; Herrero y Gascon, 1987; Herrero, 1992; Cerovic y Micic, 1999), bien porque estimula el desarrollo del saco embrionario, prolonga su viabilidad o evita su degeneración, favoreciendo así la fertilización. Sin embargo, en albaricoquero, Rodrigo y Herrero (1998) sostienen que la evolución del óvulo hasta la degeneración es un proceso que ocurre independientemente de la polinización. En nuestro trabajo se han observado óvulos de flores polinizadas y no polinizadas cuando ha transcurrido cierto tiempo desde la antesis para estimar la influencia de la polinización en la aparición de malformaciones y en la degeneración del saco embrionario de albaricoquero.

Al igual que se han descrito en otros trabajos sobre albaricoquero (Eaton y Jamont, 1964; Burgos y Egea, 1993; Egea y Burgos, 1994; Burgos *et al.*, 1995), al

llevar a cabo el análisis de los óvulos de las variedades que se estudian en este trabajo encontramos diversas anomalías. Debido a que fueron muy importantes en el caso de algunas variedades, especialmente cuando se recogieron los ovarios algunos días después de la antesis, se ha llevado a cabo la especificación de los tipos de malformaciones observadas y se ha determinado la incidencia de éstas.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. MALFORMACIONES DE ÓVULOS EN LAS PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO

Como se indicó en el Capítulo 7, al analizar el estado del óvulo de las flores recogidas en antesis se observaron los óvulos primarios malformados de las variedades objeto de estudio dicho capítulo, tanto las cultivadas en Santomera, como de la variedad ‘Guillermo’ cuando se sometió a distintas condiciones de frío invernal o a diversos tratamientos de riego.

También se detectaron las anomalías que aparecieron en los óvulos de flores recogidas a los 3, 4, 5 y 6 días tras la antesis y polinización de las variedades ‘Beliana’ y Guillermo, así como de las variedades ‘Palstein’ y ‘Bergerón’, tal y como se describe en el Capítulo 8.

2. MALFORMACIONES EN ÓVULOS DESARROLLADOS

Con el fin de centrar el estudio en el examen de los óvulos que presentan en principio una evolución normal, evitando así las posibles interferencias en la fecundación derivadas de la aparición de malformaciones precoces, se procedió a la identificación de malformaciones en los óvulos de las variedades estudiadas cuando había transcurrido un periodo de tiempo que se consideró suficiente para que el

saco embrionario se desarrolle y se alargue, es decir, a partir de 2000 GDHs desde la polinización.

Para determinar si existe influencia de la presencia de tubos polínicos en la aparición de malformaciones, ya que en la bibliografía hay opiniones encontradas respecto a la incidencia de la polinización en el desarrollo del megagametofito, en 1998 se observaron los óvulos malformados en 'Palstein' y 'Goldrich' en flores polinizadas y no polinizadas que se recogieron cuando habían acumulado más de 2000 GDHs. Se eligieron estas variedades como representativas de buena productividad ('Palstein') y de productividad habitualmente baja ('Goldrich') en nuestras zonas de cultivo.

En los años 1999 y 2000 se realizaron observaciones sobre un conjunto de siete variedades. Para su examen se dividieron en dos grupos: uno formado por las variedades 'Palstein' y 'Beliana', cuyo comportamiento productivo fue bueno en los años de estudio y el otro constituido por 'Colorao', 'Pepito', 'Guillermo', 'Goldrich' y 'Bergerón', variedades que registraron bajos porcentajes de fructificación ambos años. Se recogieron los pistilos de flores polinizadas en antesis cuando habían acumulado más de 2000 GDHs. Se compararon los óvulos malformados de un grupo y de otro intentando asociar la falta de producción con la presencia de malformaciones.

El análisis estadístico empleado fue un ANOVA de máxima verosimilitud, donde la variable es dicotómica (óvulos malformados o no) y el estadístico es la χ^2 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. MALFORMACIONES DE ÓVULOS EN LAS PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO

En numerosas variedades de diferentes especies la degeneración temprana del óvulo es un fenómeno con una incidencia muy importante en la fructificación. Así ocurre en nogal (Catlin y Polito, 1989), cerezo (Furukawa y Bukovac, 1989) y olivo (Rallo *et al.*, 1981). Sin embargo, en albaricoquero este problema no se plantea como tal y solo en casos excepcionales aparecen pequeños porcentajes de óvulos degenerados. Es más común en esta especie la presencia de óvulos muy atrasados con saco sin formar en anthesis, en un estado anterior a la tétrada de células madre de la megaspora. Se podrían considerar como individuos con ovarios muy atrasados, pero con frecuencia se han considerado como óvulos con fallo en la diferenciación del saco embrionario. Muchos autores han encontrado este tipo de anomalía y la han identificado como tal, (Mogensen, 1975) en *Quercus*, (Tomer *et al.*, 1976) en aguacate, (Stern *et al.*, 1996) en litchi, (Eaton y Jamont, 1964) en albaricoquero, variedad 'Constant' y Fuss *et al.* (1990) en melocotonero. El fallo en la formación del saco embrionario puede tener su origen en alteraciones durante la meiosis de las células madre (Mogensen, 1975; Forino *et al.*, 1987). (Tomer y Gottreich, 1978) indicaron que este es el origen común de un conjunto de malformaciones en aguacate.

Una de las malformaciones observada en albaricoquero ha sido descrita "como óvulos que presentan una nucela no cubierta totalmente por los integumentos y parcialmente en contacto con las paredes del ovario" (Egea y Burgos, 1994). Posteriormente Burgos *et al.* (1995) señalan la doble nucela como otro tipo de malformación de los óvulos de albaricoquero. En las variedades objeto de estudio de este trabajo no se han presentado estas aberraciones.

En nuestro trabajo, las malformaciones encontradas al examinar los óvulos en las etapas más tempranas han sido fundamentalmente de dos tipos: saco sin

formar, no apareciendo ni siquiera la tétrada de células madre de la megaspora, y saco formado con ausencia de núcleos.

En la Tabla 7.2 del Capítulo 7 se muestran los óvulos malformados que aparecieron al examinar las flores recogidas en antesis de las variedades cultivadas en Santomera. Al analizar estadísticamente los porcentajes de óvulos malformados encontramos que no fueron significativamente diferentes ni entre variedades ni entre años. En el año 1998 sólo se encontró un 10 % de los óvulos analizados de 'Colorao' con saco sin formar y en 1999 también un 10 % de los óvulos de 'Bergerón' se encontraba con la misma malformación (Figura 10.1). En el año 2000 aparecieron malformaciones en la variedad 'Priana' del tipo saco formado pero sin núcleos en un 20 % de los óvulos examinados (Figura 10.1) y en 'Bergerón' en un 8.33 % de los óvulos no se había diferenciado el saco embrionario.

En la variedad 'Guillermo', cuando se sometió a distintos tratamientos de riego, se observaron pequeños porcentajes de óvulos en antesis con el tipo de malformación 'saco sin formar' (Tablas 7.4 y 7.5). El tratamiento de riego no tuvo influencia en la aparición de malformaciones. Al analizar óvulos de 'Guillermo' en distintas localizaciones (Tabla 7.6) se encontraron porcentajes con saco sin formar del 20 % en un año en Abarán y del 10 % al siguiente año en Cieza. Estadísticamente se comprobó que no existían diferencias entre localizaciones ni entre años en cuanto al número de óvulos malformados. Por lo tanto, la anomalía consistente en saco sin formar se da en un porcentaje relativamente importante de óvulos en antesis de algunas variedades de albaricoquero, independientemente del riego al que se sometan o del emplazamiento en el que se cultiven, y esto tiene una influencia negativa sobre el número de óvulos que pueden ser fecundados.

(Eaton y Jamont, 1964) observaron varios sacos embrionarios en un sólo óvulo en la variedad 'Constant' de albaricoquero. En nuestros análisis hemos encontrado algunos casos de este tipo en la variedad 'Guillermo' (Figura 10.1),

aunque de forma no muy clara ya que es difícil observar esta malformación, sobre todo cuando los sacos están superpuestos. Por otra parte, no tenemos una idea exacta de las consecuencias que puede tener este tipo de malformación sobre la fructificación.

Los tipos de malformaciones encontradas en las muestras de las variedades estudiadas a los 3, 4, 5 ó 6 días tras la antesis en flores polinizadas fueron las mismas que se dieron en flores recién abiertas y además en este caso se consideraron como malformados los óvulos que no tenían el saco diferenciado pero aparecía la célula madre del saco, por entender que después de tres días desde la apertura de la flor no se pueden considerar como inmaduros y lo más probable es que esos óvulos no hayan evolucionado correctamente.

En las variedades 'Beliana' y 'Guillermo' observamos porcentajes relativamente bajos de óvulos malformados (Figura 8.1 y Tabla 8.1). Un 10 % de los óvulos de 'Beliana' correspondientes al día 3 tras la antesis se encontraba con saco sin formar. En la variedad 'Guillermo' aparecieron óvulos malformados también al tercer día (10 % con saco sin formar) y además un 20 % de los óvulos del día 4 mostraban saco embrionario sin núcleos. Estas pequeñas diferencias entre variedades o entre días no son estadísticamente significativas.

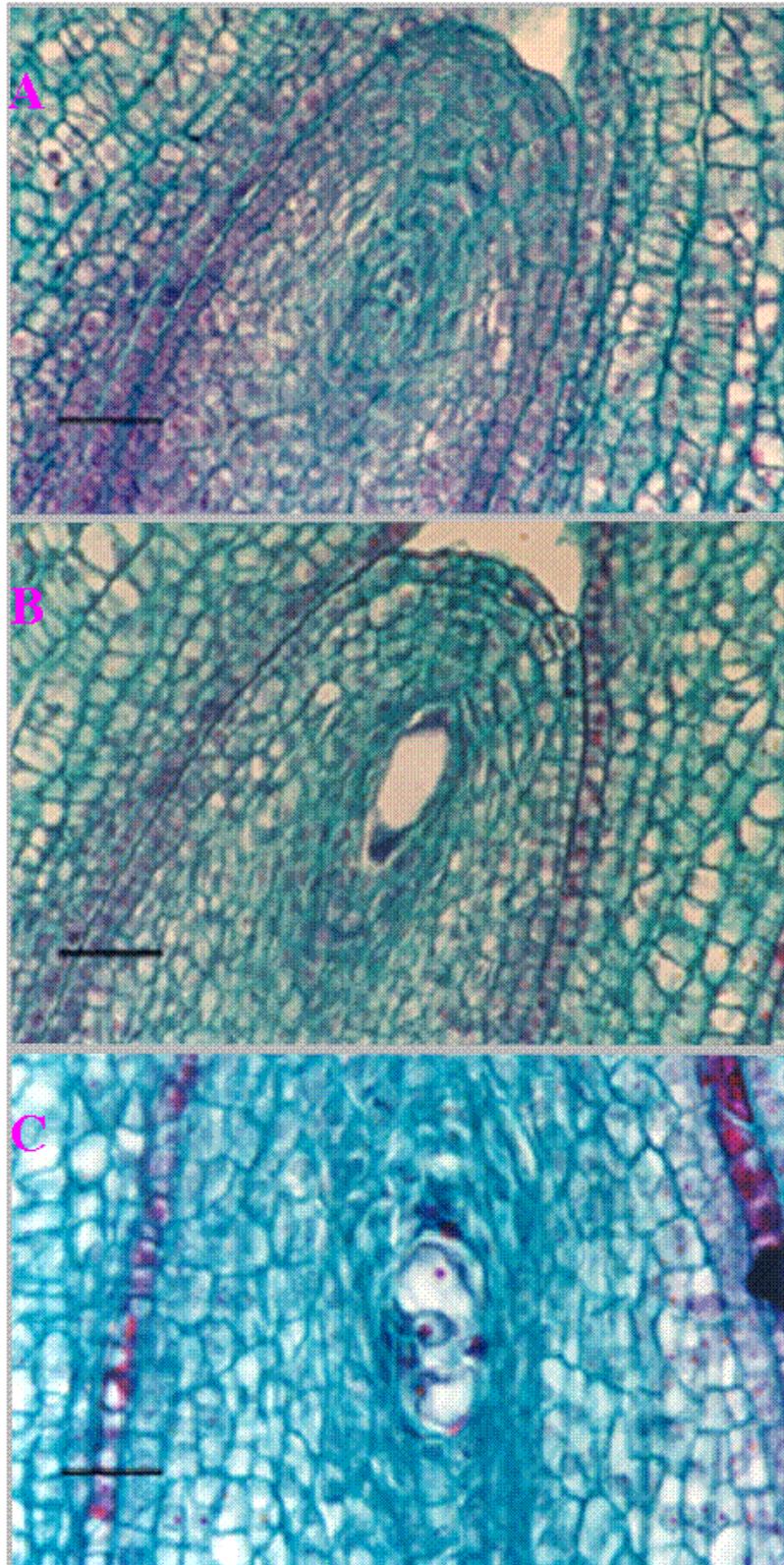


Figura 10.1. Tipos de malformaciones del óvulo. *A)* Óvulo sin saco embrionario diferenciado. *B)* Óvulo con saco sin núcleos. *C)* Óvulo con saco doble. La barra representa 12,5 μm en *A)*, *B)* y 8 μm en *C)*.

En 1999 el número de óvulos examinados de las variedades 'Palstein' y 'Bergerón' a los 3, 4 y 5 días tras la antesis fue muy bajo, ya que se trataba de un ensayo preliminar que nos diera una idea del estado del óvulo pasados unos días desde la apertura de la flor. Al observar los óvulos malformados de esta pequeña muestra encontramos que la media de los porcentajes de óvulos malformados en la variedad 'Palstein' fue de 5,7% y en 'Bergerón' del 18% (datos no mostrados), aunque estadísticamente no existen diferencias entre ambas variedades, ni entre los días de recogida de muestra, probablemente debido al reducido tamaño de la misma. En el año 2000 se tomaron más muestras de las dos variedades, pero los días de recogida fueron el 4, 5 y 6 tras la antesis y polinización, ya que eran más interesantes desde el punto de vista de analizar el sincronismo entre el desarrollo del óvulo y el avance del tubo polínico. En este segundo ensayo aparecieron diferencias entre los porcentajes de óvulos malformados de las dos variedades ($P < 0,05$), siendo la media del 28,8% para 'Palstein' y del 47% para 'Bergerón'. (Figura 8.2 y Tabla 8.3). El número de óvulos malformados aumentó desde la antesis hasta el sexto día, tanto en 'Palstein' como en 'Bergerón', alcanzando valores más altos en la segunda variedad. En todos los casos las malformaciones fueron de falta de diferenciación del saco embrionario. Pimienta y Polito en la variedad de almendro 'Nonpareil' (Pimienta y Polito, 1982) también encontraron un porcentaje elevado de óvulos primarios que no alcanzaron el total desarrollo. Éste parece ser un carácter ligado a la variedad, que constituye una malformación y causa dificultades para la fertilización, traduciéndose en una escasa fructificación. En las variedades donde esta anomalía se da en menor grado, como ocurre en 'Palstein', la producción de frutos es habitualmente superior.

Aunque los días de recogida de muestras fueron diferentes de un año a otro y no se pueden comparar los resultados, los datos apuntan a que existe una influencia del año en la aparición de malformaciones, encontrando un número mayor de ellas el año 2000 en que las temperaturas preflorales del mes de febrero

fueron excepcionalmente cálidas, situación con la que podría estar relacionado este resultado.

Para concluir podemos decir que los fallos en el proceso de diferenciación y desarrollo del saco embrionario son la malformación más importante observada en anthesis y unos días después, apareciendo indistintamente en las variedades de albaricoquero estudiadas. Ya que en algunos casos suponen un porcentaje importante de los óvulos examinados, se puede considerar como un factor más que influye en la disminución de la cosecha del albaricoquero.

2. MALFORMACIONES EN ÓVULOS DESARROLLADOS

Las malformaciones observadas en los óvulos transcurrido el tiempo suficiente para que se complete su desarrollo y el saco embrionario se alargue, son básicamente de dos tipos: óvulos sin saco diferenciado y óvulos con saco no alargado. Consideramos que esta última clase de óvulos son malformados porque lo normal en el proceso de evolución del óvulo es el alargamiento del saco, previo a la doble fecundación, coincidiendo con lo apuntado por (Pimienta y Polito, 1983). Dentro de los sacos no alargados se presentan, ocasionalmente, sacos sin núcleos.

2.1. Influencia de la polinización en la aparición de óvulos malformados

Tradicionalmente existe la polémica de si la polinización influye o no en el correcto desarrollo del saco embrionario y por lo tanto, en la aparición de malformaciones, encontrando en la bibliografía diferentes resultados según la especie (Herrero, 1992; Rodrigo y Herrero, 1998; Cerovic y Micic, 1999). En este ensayo se analiza esta posible influencia en dos variedades de albaricoquero, 'Palstein' y 'Goldrich'.

El análisis estadístico de los datos reveló que hay diferencias entre las malformaciones que aparecen en 'Palstein' y 'Goldrich', una vez que se ha

acumulado la cantidad de GDHs suficiente para que el saco embrionario se haya desarrollado (Tabla 10.1). Al comparar las variedades vimos que en la primera, que habitualmente presenta mejor comportamiento productivo, el número de óvulos viables es mayor que en la otra. Mientras que en 'Palstein' hay una media de óvulos viables del 93 %, en 'Goldrich' ésta alcanza sólo un 52 % (Tabla 10.2).

Las malformaciones se manifiestan en 'Palstein' prácticamente como fallos en el alargamiento de los sacos. Sin embargo, en 'Goldrich' también hay elevados porcentajes de óvulos malformados en los que no se ha diferenciado el saco embrionario (Tabla 10.2).

Tabla 10.1. Valores de χ^2 obtenidos en el análisis de la varianza de máxima verosimilitud para el número de óvulos malformados de las variedades 'Palstein' y 'Goldrich' a las 2000 y 3000 GDHs en flores polinizadas y no polinizadas. 1998

| Fuente de variación | Grados de libertad | Óvulos malformados χ^2 |
|-------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Constante | 1 | 27,25 *** |
| Variedad | 1 | 23,80 *** |
| Polinización | 1 | 0,68 ^{ns.} |
| Variedad x Polinización | 1 | ^a |
| Residuo | 1 | 1,85 ^{ns.} |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{ns.}

^a Estos términos no fueron significativos y fueron eliminados en el modelo reducido

Tabla 10.2. Porcentaje de malformaciones en el desarrollo de óvulos de las variedades de albaricoquero 'Palstein' y Godrich en flores polinizadas y no polinizadas. 1998

| | | Polinizadas | No polinizadas |
|--------------------------------|------------|-------------|----------------|
| | 'PALSTEIN' | | |
| Sin saco | | 0 | 2,86 |
| Saco no alargado | | 2,5 | 8,57 |
| Saco alargado (óvulos viables) | | 97,5 | 88,57 |
| Número de óvulos | | 40 | 35 |
| | 'GOLDRICH' | | |
| Sin saco | | 5,88 | 28,57 |
| Saco no alargado | | 41,18 | 20,00 |
| Saco alargado (óvulos viables) | | 52,94 | 51,43 |
| Número de óvulos | | 34 | 35 |

La polinización no influye en la aparición de óvulos malformados (Tabla 10.1). Comparando las flores polinizadas y no polinizadas de 'Goldrich' (Tabla 10.2) no encontramos diferencias en cuanto al número total de óvulos malformados, que representa un 47% del total de los examinados en el caso de las flores polinizadas y un 48,57% de los óvulos de las flores no polinizadas. Esto induce a pensar que la presencia de los tubos polínicos no estimula el desarrollo del saco y su elongación en albaricoquero contrariamente a lo que apuntan Pimienta y Polito (1983) en almendro. Ellos observaron que la fusión de los núcleos polares solo ocurría en pistilos polinizados y que esta fusión precedía a la elongación del saco. Otros autores, en otras especies del género *Prunus*, también han observado la falta de elongación del saco en ausencia de tubos polínicos ((Eaton, 1959) en ciruelo dulce, (Eaton y Jamont, 1964) en albaricoquero). Sin embargo, en melón (Buttrose y Sedgley, 1979) la fusión de los núcleos polares y la elongación del saco embrionario se observaba en flores polinizadas y no polinizadas y en albaricoquero (Rodrigo y Herrero, 1998) indicaron que, tanto el desarrollo del óvulo primario como la degradación del secundario, eran procesos independientes de la

polinización. En un trabajo reciente, estos autores indican que las primeras fases de desarrollo del ovario del albaricoquero ‘Moniquí Fino’ tienen lugar de igual manera en las flores polinizadas como en las no polinizadas (Rodrigo y Herrero, 2000). Nuestros resultados coinciden con lo anterior y sugieren que las malformaciones consistentes en sacos no alargados son un carácter ligado a la variedad y se manifiestan independientemente de la polinización.

2.2. Malformaciones en óvulos de distintas variedades polinizadas en antesis

En el conjunto de variedades estudiadas, organizadas en dos grupos según su buen o mal comportamiento productivo, el análisis estadístico de las malformaciones que aparecen a partir de las 2000 GDHs reveló que existían diferencias muy significativas entre las malformaciones de un grupo de variedades y otro, pero no entre los dos años en que se realizó el ensayo (Tabla 10.3).

Tabla 10.3. Valores de χ^2 obtenidos en el análisis de la varianza de máxima verosimilitud para el número de óvulos malformados de dos grupos de variedades en 1999 y 2000

| Fuente de variación | Grados de libertad | Óvulos malformados (χ^2) |
|---------------------|--------------------|---------------------------------|
| Constante | 1 | 104,07 ^{***} |
| Grupo de variedades | 1 | 15,95 ^{***} |
| Año | 1 | 2,52 ^{n.s.} |
| Variedad x Año | 7 | - ^a |
| Residuo | 1 | 0,01 ^{n.s.} |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{n.s.}

^a Estos términos no fueron significativos y fueron eliminados en el modelo reducido

En la Figura 10.2 se muestran los porcentajes de óvulos viables frente a los malformados en los dos grupos considerados. Puesto que no hay diferencias entre

años se han unido los datos. Para las variedades ‘Beliana’ y ‘Palstein’, que tienen fructificaciones entre el 50 y el 64% (Tabla 5.14), la media de los óvulos malformados es del 8,55%, mientras que la media de los óvulos malformados del resto de las variedades (‘Pepito’, ‘Colorao’, ‘Guillermo’, ‘Goldrich’, ‘Bergerón’), cuyas producciones son más bajas (Tabla 5.14), es del orden de tres veces más (26,36%).

En la Tabla 10.4 podemos observar los porcentajes de los óvulos malformados que se encontraron en cada tipo de malformación, así como de óvulos viables en los dos grupos de variedades. Respecto al tipo de malformación observamos que aparecen sacos sin formar y sacos no alargados aproximadamente en el mismo orden de magnitud en las variedades que habitualmente producen buenas cosechas. Sin embargo, en el otro grupo de variedades la malformación consistente en saco no alargado tiene mayor peso que la del otro tipo.

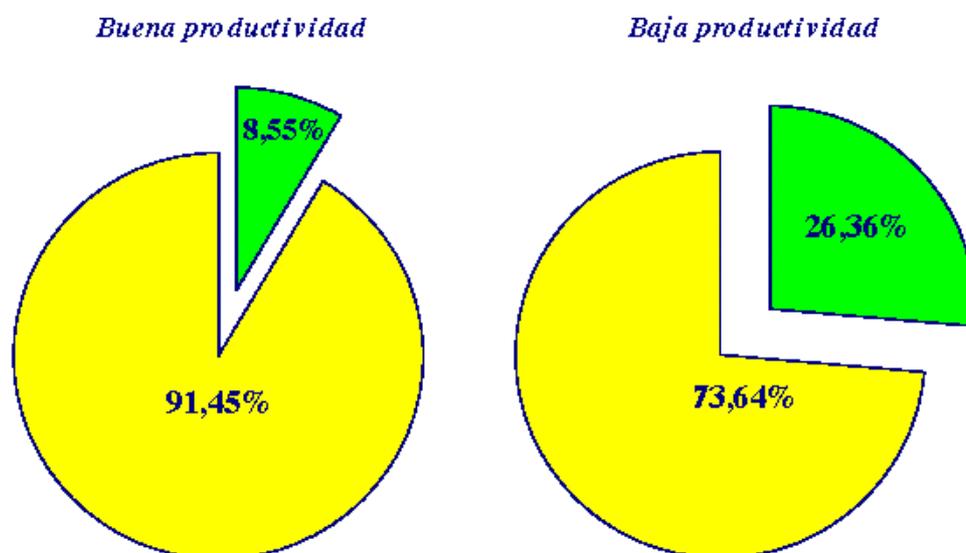


Figura 10.2. Medias de los porcentajes de óvulos viables (●) y malformados (●) de los grupos de variedades con buena y con baja productividad

Tabla 10.4. Porcentajes de óvulos malformados y viables observados en flores de distintas variedades de albaricoquero en 1999 y 2000

| | 'Beliana' y 'Palstein' | 'Pepito', 'Colorao', 'Guillermo', 'Goldrich' y 'Bergerón' |
|--------------------------------|------------------------|---|
| Sin saco | 3,95 | 9,69 |
| Saco no alargado | 4,60 | 16,67 |
| Saco alargado (óvulos viables) | 91,45 | 73,64 |
| Número de óvulos | 152 | 258 |

Estos resultados sugieren que las malformaciones de los óvulos en el conjunto de variedades estudiadas de albaricoquero, cuando ha transcurrido el tiempo suficiente para que se produzca el completo desarrollo del saco embrionario tienen un carácter genético. Se presentan frecuentemente en mayor medida en unas variedades que en otras, siendo su presencia más importante en aquellas cuyas necesidades de frío son mayores y pueden presentar un cierto grado de inadaptación en un medio de inviernos relativamente suaves.

En muchas especies (en manzano (Marro, 1976); en cerezo (Furukawa y Bukovac, 1989); en melocotón (Fuss *et al.*, 1990); en litchi (Stern *et al.*, 1996)), las anomalías de los óvulos se consideran un factor de fuerte incidencia negativa en la producción. En algunos trabajos con distintos frutales no se ha podido establecer una relación entre la frecuencia de aparición de malformaciones y la cosecha obtenida, (Tomer *et al.*, 1976; Rallo *et al.*, 1981; Furukawa y Bukovac, 1989) y se ha sugerido que existen otros factores que juegan un importante papel en la determinación de la fructificación. En albaricoquero, como venimos analizando, hay diversos factores que determinan los bajos porcentajes de fructificación en muchas variedades y, la magnitud de las anomalías encontradas, ya sean de un tipo u otro, hace que se deban considerar como un determinante más de los bajos porcentajes de fructificación que se dan en numerosas variedades de albaricoquero.

11. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN, LA FERTILIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN

INTRODUCCIÓN

Los factores que determinan la fertilización y la fructificación son numerosos. El concepto de “Periodo de Polinización Efectiva” (P.P.E.) fue establecido por Williams (1966) como síntesis de algunos de ellos: germinación del polen y crecimiento de tubos polínicos, receptividad del estigma y viabilidad del óvulo. El P.P.E. enlaza la fertilidad femenina con la polinización y expresa las posibilidades de fructificación de la flor.

(Egea *et al.*, 1991) y (Egea y Burgos, 1992) encontraron que el P.P.E. de algunas variedades de albaricoquero cultivadas en nuestra Región era corto,

pudiendo ser esta una de las causas de los fallos de fertilización y fructificación que frecuentemente se presentan. Las causas que habitualmente se aducen para explicar la ocurrencia de un corto periodo de polinización efectiva han sido un corto periodo de receptividad del estigma (Egea *et al.*, 1991), una madurez excesiva del óvulo en antesis (Stösser y Anvari, 1982) o bien un tiempo muy largo para que el tubo polínico alcance el ovario, fundamentalmente como consecuencia de bajas temperaturas tras la polinización (Thompson y Liu, 1973). Sin embargo, una excesiva inmadurez del óvulo en antesis podría tener consecuencias negativas sobre la fecundación de los óvulos y la fructificación por falta de sincronismo entre la madurez del óvulo y la llegada del tubo polínico a éste. Por ello pensamos que al retrasar el momento de la polinización el óvulo podría evolucionar y estar más maduro cuando el tubo polínico entrara en él para fecundarlo. De esta manera los porcentajes de fertilización y de fructificación serían mayores cuando se polinizara algunos días después de la antesis. Para comprobar esta hipótesis se realizaron polinizaciones durante varios días tras la antesis en distintas variedades que manifiestan habitualmente diferencias en cuanto a la madurez del óvulo en antesis, en cuanto a porcentajes de óvulos fecundados y tienen también diferentes comportamientos productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIAL VEGETAL

Para realizar estos ensayos se escogieron las variedades de albaricoquero 'Beliana', 'Palstein', 'Guillermo' y 'Bergerón'. Las dos primeras, como ya se ha visto en capítulos anteriores, suelen tener un elevado porcentaje de ovarios con el óvulo avanzado a la apertura de la flor y las fructificaciones son generalmente abundantes. Por el contrario, 'Guillermo' y 'Bergerón' tienen la mayoría de los óvulos en antesis muy atrasados y los porcentajes de fructificación son frecuentemente bajos. Además se escogió una variedad de almendro, 'Ferragnes',

como testigo de muy buen comportamiento productivo ya que sus fructificaciones normalmente son superiores a las de cualquier variedad de albaricoquero. De esta variedad de almendro además se conoce que tiene los óvulos avanzados en antesis (Egea y Burgos, 2000).

2. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FERTILIZACIÓN

Se estableció un ensayo con las variedades 'Palstein' y 'Bergerón' en 1999. Se eligió 'Palstein' como testigo y 'Bergerón' como variedad problemática. Se emascularon aproximadamente 40 flores de cada variedad en el estado D-E de Fleckinger y se polinizaron 20 flores el día de la antesis y 20 flores dos días más tarde con la misma mezcla de polen de distintas variedades obtenido como se describió en el Capítulo 8. Se observó la fertilización como porcentaje de óvulos fecundados respecto del total de flores polinizadas cuando se acumularon 2000 GDHs.

Al año siguiente se repitió el ensayo solamente con 'Bergerón' comparando los porcentajes de óvulos fecundados de cada día de polinización.

3. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN

Este ensayo se realizó con todas las variedades descritas en el apartado 1. En todas ellas se aplicó fundamentalmente la técnica descrita por Williams (1970b) que consiste en polinizar flores en días sucesivos desde la antesis y determinar la fructificación consiguiente. Para las polinizaciones se escogió una mezcla de polen de distintas variedades de albaricoquero garantizando así la compatibilidad polen-estigma. Cuando las variedades comenzaron a florecer se eligieron ramas con un elevado número de flores en estado D-E de Fleckinger, comprendido entre 25 y 30 como mínimo y se emascularon. Los botones florales que estaban más adelantados

o más atrasados se desecharon. Se prepararon de esta manera doce ramas distribuidas en dos árboles de la misma variedad de cada una de las estudiadas.

Las flores de tres ramas correspondientes al día 0 del ensayo fueron polinizadas inmediatamente y en el resto de las ramas las flores emasculadas se fueron polinizando (tres ramas por día) en los días sucesivos, 1, 2 y 3 tras la emasculación.

La fructificación fue medida 5 semanas después de las polinizaciones como número de frutos respecto del número de flores polinizadas y expresada como porcentaje.

En todos los casos se recogieron pistilos de las ramas polinizadas el día 3 cuando habían transcurrido 3 ó 4 días desde la polinización para observar si el estigma permanecía receptivo cuando se polinizó. Para ello se determinó el número de granos germinados en el estigma clasificándolos en tres categorías: entre 0 y 20, entre 20 y 50 y con más de 50. La técnica empleada para el tratamiento de estos pistilos fue la descrita en el Capítulo 8. Se tomaron entre 10 y 15 pistilos por variedad.

Los datos de fructificación obtenidos de todas las variedades de albaricoquero y de la variedad de almendro se dividieron en dos grupos. Por una parte los porcentajes de frutos cuajados de 'Beliana', 'Palstein' y 'Ferragnes', cuyos óvulos en antesis están bastante desarrollados, y por otra parte las fructificaciones de las variedades 'Guillermo' y 'Bergerón', que suelen mostrar óvulos muy atrasados a la apertura de la flor.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de fertilización del día 0 y del día 2 se sometieron a un análisis de varianza de máxima verosimilitud, en el que la respuesta de la variable dicotómica es óvulos fecundados o no fecundados.

Los porcentajes de fructificación se analizaron mediante un ANOVA que permitió comparar los porcentajes de fructificación de los días del ensayo entre sí en el conjunto de las variedades y en cada grupo de variedades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FERTILIZACIÓN

Al analizar estadísticamente los datos de fertilización de las variedades 'Palstein' y 'Bergerón' a las 2000 GDHs cuando polinizamos las flores el día de la antesis y cuando polinizamos dos días después, observamos que existen diferencias en la fertilización de las dos variedades, no hay influencia del día de polinización globalmente y tampoco existe interacción entre las variedades y el día en que se polinizó (Tabla 11.1).

Se estudiaron las variedades por separado, pero el análisis estadístico indicó que no habían diferencias entre el número de óvulos fecundados de flores de 'Palstein' polinizadas en distintos días y tampoco en 'Bergerón'.

Tabla 11.1. Valores de χ^2 obtenidos en el análisis de la varianza de máxima verosimilitud para el número de óvulos fecundados de las variedades 'Palstein' y 'Bergerón' a las 2000 GDHs en flores polinizadas el día 0 y el día 2 tras la antesis (1999)

| Fuente de variación | Grados de libertad | Óvulos fecundados |
|---------------------|--------------------|--------------------|
| Constante | 1 | 3,89 [*] |
| Variedad | 1 | 5,29 [*] |
| Día | 1 | 0,82 ^{ns} |
| Variedad x Día | 1 | - ^a |
| Residuo | 1 | 0,98 ^{ns} |

^{*}, ^{**} y ^{***} indican diferencias significativas a los niveles de probabilidad 0,05, 0,01 y 0,001. Las diferencias no significativas al nivel de probabilidad del 0,05 se indican con ^{ns}.

^a Estos términos no fueron significativos y fueron eliminados en el modelo reducido

Observando la Figura 11.1 se puede apreciar que, aunque no aparezcan diferencias estadísticas, tanto en 'Palstein' como en 'Bergerón' los valores de fecundación son ligeramente superiores cuando se polinizó el segundo día tras la apertura de la flor que cuando se polinizó en antesis. En 'Palstein' se da un incremento en el porcentaje de fecundación del 8.9% y en 'Bergerón' el incremento observado es del 18.1%, más del doble que en 'Palstein'.

Al año siguiente se realizó el mismo ensayo solamente con 'Bergerón' y el análisis estadístico indicó que no eran diferentes los porcentajes de óvulos fecundados de las flores polinizadas el día 0 y el día 2 a pesar de que en el primer caso había un 0% de óvulos fertilizados y en el otro un 41,67%.

Ya que la metodología empleada para el análisis de las muestras es muy laboriosa, el número de repeticiones que se pueden realizar es limitado y el tipo de análisis estadístico que se debe aplicar a los datos categóricos es poco preciso cuando el tamaño de la muestra es reducido. Esta podría ser la razón de que no se manifiesten diferencias entre los días de polinización. Sería necesario realizar el

ensayo con un mayor número de muestras para confirmar lo que se insinúa con los datos obtenidos. A la vista de los porcentajes de fecundación más elevados cuando se retrasa la polinización, sobre todo en la variedad con los óvulos más retrasados en antesis, cabe pensar que el margen de tiempo entre la apertura de la flor y la polinización permite que un número apreciable de óvulos maduren y sean fecundados cuando penetra el tubo polínico a través del micropilo.

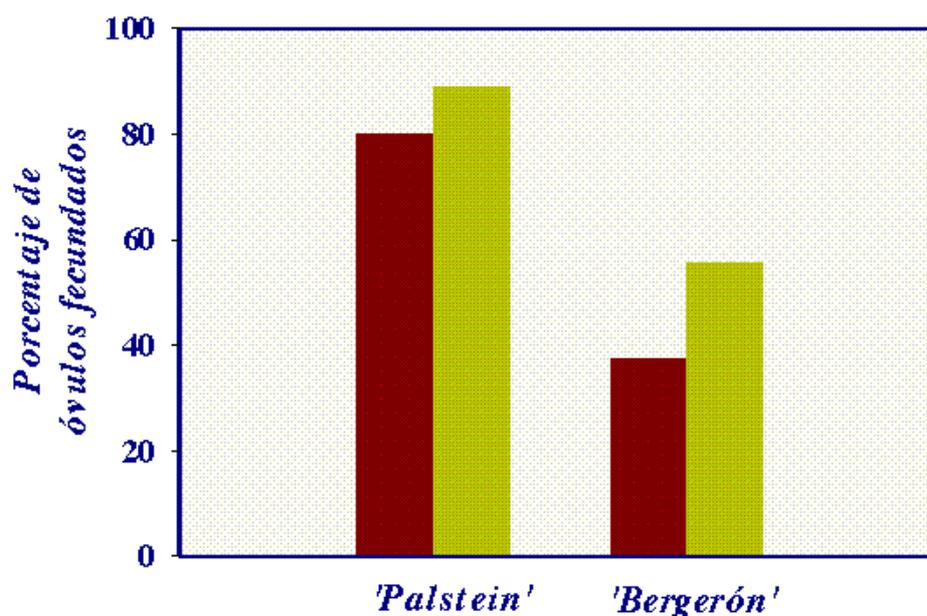


Figura 11.1. Fertilización de flores de 'Palstein' y 'Bergerón' polinizadas el día de la antesis (■) y dos días después (■) recogidas a las 2000 GDHs desde la polinización.

2. RELACIÓN ENTRE EL MOMENTO DE POLINIZACIÓN Y LA FRUCTIFICACIÓN

Al analizar estadísticamente las fructificaciones obtenidas en los días sucesivos para el conjunto de variedades observamos que no hay influencia del día de polinización. Del mismo modo no se encontraron diferencias en el cuajado de frutos de las variedades que habitualmente presentan el saco embrionario más desarrollado en antesis al polinizar en distintos días tras la antesis y tampoco aparecieron al analizar los datos de fructificación de las variedades con el saco embrionario muy poco desarrollado en antesis.

En la Figura 11.2 se presentan los porcentajes medios de fructificación obtenidos en los dos grupos de variedades objeto del estudio en los distintos días ensayados.

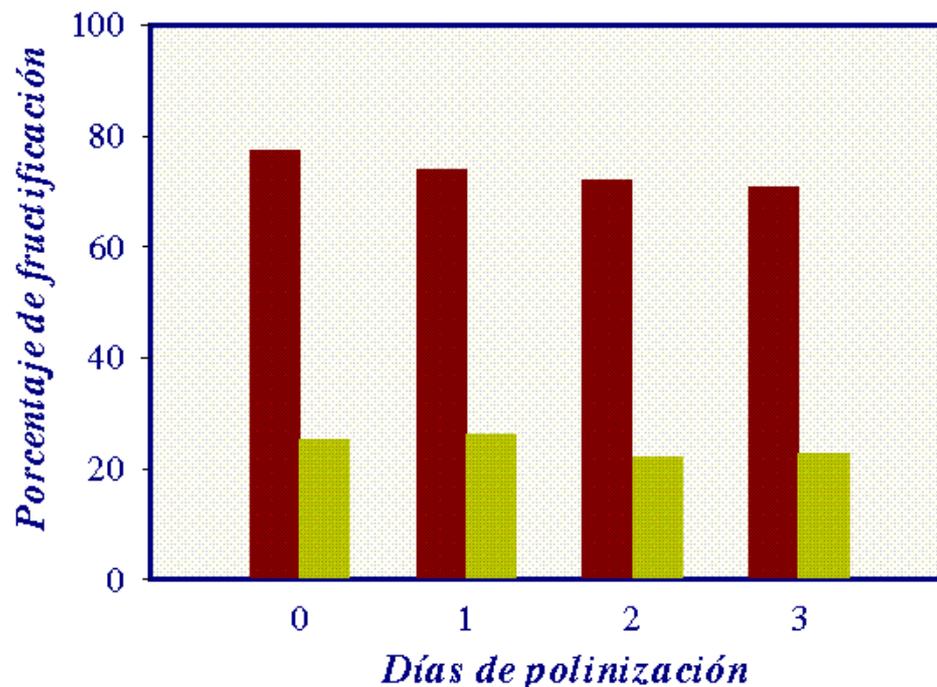


Figura 11.2. Porcentajes de fructificación al polinizar los días 0, 1, 2 y 3 tras la antesis de las variedades Beliana, Palstein y Ferragnes (■) caracterizadas por tener óvulos desarrollados en antesis y de Guillermo y Bergerón (■) caracterizadas por tener óvulos atrasados en antesis. Las barras verticales representan el error standard

Al observar la Figura 11.2 comprobamos que hay una gran variación entre las fructificaciones de los dos grupos de variedades en el conjunto de los días. Las diferencias en cuanto al cuajado de los frutos en las variedades de albaricoquero ya fueron discutidas en el Capítulo 5, en el apartado sobre fructificación. Aquí se incluye la variedad de almendro 'Ferragnes' y los porcentajes de fructificación son similares a los de 'Beliana' y 'Palstein'. En las variedades 'Guillermo' y 'Bergerón' la fructificación es menor que en las demás.

La receptividad del estigma el día 3 en todas las variedades estudiadas (tanto en la de almendro como en las de albaricoquero) fue buena, con una media de entre 20 y 50 granos germinados, de acuerdo con (Marcucci y Visser, 1987) y (Eaton, 1962). Al igual que la receptividad del estigma no decreció y se conservó hasta el tercer día tras la antesis, las fructificaciones, resultado de polinizar los días 0, 1, 2 y 3, se mantuvieron aproximadamente en los mismos niveles para cada grupo de variedades. En algunas especies los mejores cuajes se han encontrado uno o dos días después de la antesis (Herrero, 1983; Williams *et al.*, 1984) y sin embargo en otras las fructificaciones más altas se producen en el momento de la antesis decreciendo posteriormente (Bini, 1984; Guerrero-Prieto *et al.*, 1985; Furukawa y Bukovac, 1989; Egea y Burgos, 1992). En nuestro estudio no hay variaciones en el porcentaje de frutos cuajados que apunte en una u otra dirección.

Es de destacar que a pesar de la madurez de los óvulos de la variedad de almendro 'Ferragnes' comprobada en trabajos anteriores (Egea y Burgos, 2000) y en este trabajo (Tabla 7.2) la fructificación no disminuye significativamente al retrasar el momento de la polinización (Tabla 11.2). Esto sugiere que la viabilidad de la mayoría de los óvulos que ya en antesis tienen célula huevo y núcleos polares fusionados, es al menos de 7 ó 8 días (3 de retraso en la polinización y 4 ó 5 para que llegue el tubo polínico al óvulo). Por lo tanto, en almendro la relativa madurez del saco

embrionario no provocó falta de fructificación, como se ha descrito en cerezo (Eaton, 1962; Stösser y Anvari, 1982); o en manzano (Marro, 1976). En las variedades de albaricoquero ‘Beliana’ y ‘Palstein’ el saco embrionario no está tan desarrollado a la apertura de la flor como ocurre en ‘Ferragnes’ y su viabilidad no queda comprometida por esta razón. También podemos observar que no se da una disminución del porcentaje de fructificación en función del día de polinización que pueda ser atribuida a una degeneración del óvulo maduro en las variedades de albaricoquero (Tabla 11.2).

Nuestros resultados indican que la polinización retrasada unos días respecto de la apertura de la flor no mejoró la fructificación en aquellas variedades que habitualmente tienen el saco embrionario poco desarrollado cuando abre la flor. Esto apunta al hecho de que los óvulos muy atrasados (saco sin formar con célula madre o tal vez parte de los que han alcanzado el estadio 2 núcleos en el momento de la apertura de la flor) no evolucionan o bien su evolución lenta no permite establecer el sincronismo adecuado con la llegada del tubo polínico al óvulo, tal como apuntaban los datos del Capítulo 8. Por lo tanto, sólo serían viables aquellos óvulos que en antesis tuvieran un grado de desarrollo suficiente.

Tabla 11.2. Evolución de la fructificación tras la polinización a diferentes tiempos en las variedades de albaricoquero ‘Beliana’, ‘Palstein’, ‘Guillermo’ y ‘Bergerón’ y en la variedad de almendro ‘Ferragnes’ (medias \pm errores standard)

| Variedad | Fructificación (%) | | | |
|-------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | Día 0 | Día 1 | Día 2 | Día 3 |
| ‘Beliana’ | 77,30 \pm 4,07 | 75,27 \pm 3,98 | 77,50 \pm 3,88 | 69,96 \pm 10,46 |
| ‘Palstein’ | 65,03 \pm 6,12 | 65,80 \pm 7,11 | 61,57 \pm 1,56 | 62,20 \pm 5,92 |
| ‘Ferragnes’ | 89,60 \pm 3,56 | 80,00 \pm 6,03 | 72,00 \pm 3,00 | 77,90 \pm 5,31 |
| ‘Guillermo’ | 25,95 \pm 3,71 | 26,13 \pm 4,52 | 26,37 \pm 2,97 | 26,92 \pm 1,81 |
| ‘Bergerón’ | 23,96 \pm 8,76 | 26,27 \pm 5,22 | 13,93 \pm 1,96 | 16,30 \pm 1,71 |

A pesar de que en el apartado anterior vimos que existía una tendencia a mejorar la fertilización cuando se atrasaba el momento de la polinización, los resultados obtenidos en la fructificación no coinciden con esa tendencia. La explicación podría encontrarse en las etapas del proceso reproductivo que se dan entre la fertilización y la fructificación. Tomer y Gazit (1979) en aguacate observaron óvulos fecundados en los que el embrión o el endospermo degeneraban en diferentes estados de desarrollo. En algunas ocasiones se ha citado el colapso del cigoto como causa de fallos de fructificación (Mogensen, 1975). También pueden estar implicados fenómenos fisiológicos como disponibilidad de nutrientes, o de reservas de almidón (Rodrigo y Herrero, 2000), etc. En cualquier caso, son muchos los factores que pueden operar impidiendo que óvulos fecundados lleguen a convertirse en frutos y serían necesarios futuros estudios sobre este tema.

12. RESUMEN Y CONCLUSIONES GENERALES

La especie albaricoquero se caracteriza entre otras cosas por ser una especie de escasa “plasticidad varietal” entendiéndose por tal que cada variedad muestra unas exigencias climáticas relativamente precisas, de tal forma que, en general, las variedades presentan una buena adaptación en zonas muy concretas y cuando se sacan de ellas, aunque sea mínimamente, muestran dificultades que, generalmente, se traducen en último extremo en una productividad baja o errática.

En Murcia, que como se sabe es una de las principales regiones productoras de albaricoque en el mundo, muchas de las variedades cultivadas presentan una fructificación sujeta frecuentemente a fluctuaciones importantes generalmente asociadas a las importantes fluctuaciones climáticas que se dan año tras año.

De entre todas las variedades cultivadas, están especialmente sujetas a esas notables variaciones productivas, aquellas que se denominan variedades 'de Clase', variedades que en buena medida parecen estar asociadas a la variedad Moniquí o proceder de ella, ya que parece ser la más antigua, además de la más emblemática y conocida a nivel mundial. De ese grupo de variedades 'de Clase', el paso del tiempo ha ido decantando el cultivo hacia el grupo denominado 'Pepitos' de tal forma que, en conjunto, este grupo puede representar hoy en torno al 90% del total de las variedades 'de Clase' cultivadas. Su nombre parece provenir de la variedad más extendida del grupo denominada 'Pepito del Rubio', aunque dentro de la denominación se incluyen numerosos representantes, generalmente poco extendidos y que poseen un conjunto de rasgos comunes tales como buen tamaño de fruto, necesidades de frío medio elevadas, buen sabor, carne blanca/amarilla, buena resistencia a la manipulación, etc.

La escasa atención prestada a la cuestión de la autenticidad varietal ha conducido a crear un grupo heterogéneo con componentes que pueden incluso presentar autoincompatibilidad floral, pero que en general presentan un comportamiento productivo errático que parece haberse acentuado en los últimos tiempos, sin saber si tal dificultad está o no relacionada con el supuesto cambio climático que parece haber propiciado inviernos más suaves o con los importantes cambios producidos en los últimos años, tanto en las técnicas de cultivo como en los emplazamientos productivos, con frecuencia alejados de los entornos tradicionales en donde habían sido seleccionadas las variedades.

En cualquier caso, esos problemas de fructificación errática, aparentemente acentuados, están poniendo en cuestión la continuidad del cultivo de ese grupo de variedades muy características de la zona central de la Región de tal fecha de maduración que en algún momento han supuesto una producción superior a 25 millones de Kg.

Tanto la importancia económica como la propiamente científica, necesitada de comprender las razones últimas del problema, nos llevaron a profundizar en el estudio de las posibles causas del mismo.

En estudios anteriores, habíamos establecido ya algunas de estas causas (autoincompatibilidad, macrostilia, receptividad del estigma, etc.) que por otra parte no bastaban para explicar por si solas las dificultades de la fructificación. Nos propusimos entonces, indagar sobre otras posibles causas del problema, lo que ha sido el objeto de este trabajo.

En primer lugar determinamos la "fertilidad floral" o sea la mayor o menor disposición general de estas variedades a producir yemas de flor, primer paso para la obtención de frutos, y la comparamos con otras variedades conocidas por su buena fructificación. Esta comparación puso claramente en evidencia que son variedades con baja "fertilidad floral", presentando habitualmente una producción de yemas de flor que alcanza solo la mitad e incluso un tercio de la encontrada en las variedades de referencia. Esto conduce a una reducción estimable de su potencial productivo especialmente significativo cuando las condiciones de fructificación son desfavorables.

Examinamos también un aspecto que si bien en otras especies ha sido evaluado con frecuencia, no ha sido examinado habitualmente en ésta. Se trata de la caída de yemas de flor. Este examen fue realizado considerando como testigos las mismas variedades referidas anteriormente. Establecimos que con frecuencia las caídas de yemas de flor son muy elevadas en estas variedades en comparación a las encontradas en los testigos pudiendo alcanzar a veces cifras del orden del 90% en determinadas condiciones que, por otra parte, son habituales en las zonas del cultivo.

El examen de las caídas en diferentes condiciones provocadas de riego o frío invernal, puso de manifiesto que las caídas son muy importantes en todos los casos,

no pudiéndose establecer claramente qué factores medioambientales influyen, dado que los tres años de estudio y la viabilidad de las condiciones anuales representan una muestra limitada para el análisis. En cualquier caso, en este parámetro tan elevado, hay otra importante causa de la reducción del potencial productivo de estas variedades.

Indagamos sobre la evolución del desarrollo de las yemas de flor desde el otoño hasta su evolución rápida subsiguiente a la ruptura del letargo invernal, intentando establecer si se daban fallos en la evolución de las mismas y, en su caso, el momento en que se producían síntomas de degradación y las posibles causas de ésta.

No se producían a lo largo del proceso evidencias de desarrollo inadecuado o malformaciones, alcanzando la mayor parte de las yemas etapas avanzadas del mismo en todos los casos y condiciones estudiadas. Hubo pequeños atrasos o adelantos asociados a la climatología al modo en que se dan tales fluctuaciones en la propia evolución de la floración en los diferentes años. Las caídas de yemas se producen básicamente al final del estadio denominado yema de invierno o sea cuando se alcanza el estadio B de Fleckinger justo cuando la flor comienza a evolucionar rápidamente después de haber cubierto, en buena medida, sus necesidades de frío para romper el letargo.

Dado que frecuentemente se asocia una fructificación deficiente con temperaturas elevadas bien sean anteriores, coincidentes o posteriores a la apertura de la flor, pusimos en marcha una serie de experimentos tendentes a modificar las temperaturas, especialmente las máximas, en esas etapas del desarrollo de la flor. Evidentemente sujetas a las fluctuaciones climáticas habituales; viento, insolación, frío, etc. Para ello introdujimos ramas en el interior de bolsas de plástico transparente lo que condujo a diferencias de temperatura con el exterior durante las horas de insolación. Las incertidumbres climáticas determinaron respuestas difusas de tal forma que no fue posible establecer con claridad consecuencias derivadas de

las modificaciones realizadas en los aspectos que nos parecían de especial interés, tales como la caída de yemas o la fructificación. Fue, sin embargo, evidente un mayor desarrollo vegetativo en el interior de las bolsas y una mayor coincidencia entre la floración y la foliación.

En cualquier caso, es preciso desarrollar nuevos experimentos en condiciones más controladas si se quiere tener una visión más consistente de las consecuencias de estas actuaciones.

En trabajos anteriores habíamos encontrado una gran inmadurez del óvulo en el momento de la apertura de la flor en variedades de albaricoquero caracterizadas por una productividad baja o errática. Cuando se estudió la influencia de la localización, representada básicamente por la diferencia de temperaturas, se pudo observar que el estado de madurez del óvulo era ligeramente más avanzado en el enclave más frío, pero que esta ligera diferencia no parecía suficiente para explicar las importantes diferencias de fructificación que se daban entre ambas localizaciones.

Comenzamos a pensar en las consecuencias que este importante retraso en la madurez del óvulo podía tener en la fructificación y tratamos de dilucidar la consistencia de algunas afirmaciones que indicaban que si el óvulo está retrasado en el momento de la apertura de la flor y como consecuencia de ello no está maduro cuando el tubo polínico llega al óvulo después de la polinización, este detiene su crecimiento continuándolo una vez el óvulo ha madurado y se encuentra disponible para la fecundación.

Examinamos durante varios años, el estado de desarrollo del óvulo, en el momento de la apertura de la flor, en diferentes variedades de diferente aptitud para la fructificación y encontramos importantes diferencias entre ellas, estableciendo que, en las condiciones de nuestro trabajo, era condición necesaria

aunque no suficiente, tener un grado de desarrollo avanzado del óvulo a la apertura de la flor para finalmente alcanzar una buena fructificación.

Cuando se estudió la influencia de diferentes factores sobre el estado de madurez del óvulo a la apertura de la flor, se pudieron detectar tendencias, aunque no fue posible establecer datos definitivos al respecto debido a la dificultad del método que propició el examen de un número limitado de óvulos, lo que unido a la importante variabilidad en los estados de madurez de los mismos en cada tratamiento dificultó el análisis. En cualquier caso se puede apuntar que condiciones más frías favorecen un mayor desarrollo del óvulo a la apertura de la flor; que en consonancia con lo anterior, cuando se aumentó la temperatura de las yemas de flor por embolsamiento en las etapas previas a la floración, hubo un retraso en la maduración. Finalmente, cuando los árboles fueron sometidos a diferentes tratamientos de riego, los óvulos más avanzados se encontraron en los que inducían mayor estrés, contrariamente a lo que podía haberse pensado. El mayor déficit hídrico induce un retraso en las fechas de floración que podría propiciar, sin embargo, un avance en el desarrollo del óvulo.

Puesto que las condiciones medioambientales y especialmente la temperatura determinan en gran medida la velocidad de los procesos, estimamos de interés estudiar, en las condiciones de nuestro entorno, la evolución tanto del desarrollo de los tubos polínicos después de la polinización como la de los óvulos, mediante el examen del desarrollo del saco embrionario para determinar el grado de sincronismo de ambos procesos y su posible incidencia en la fecundación del óvulo y, en último extremo, en la fructificación.

Trabajos anteriores, con esta y otras especies, habían puesto de manifiesto que en las condiciones de temperatura habituales en las zonas de cultivo del albaricoquero 'de Clase' durante la floración, el tiempo necesario para que los tubos polínicos alcancen el ovario se podía cifrar en unos pocos días. Decidimos entonces recoger pistilos de las variedades polinizadas en un intervalo de tiempo

que iba de los tres a los seis días desde la polinización, tanto para determinar la progresión del tubo polínico como la madurez del óvulo al cabo de esos intervalos de tiempo. Los ensayos se llevaron a cabo tanto en variedades que tienen habitualmente una buena fructificación como en otras que no, a fin de comparar las diferencias que presentan entre ellas. Los tubos polínicos alcanzan antes el ovario en las variedades cuyos óvulos están más avanzados a la apertura de la flor. Aunque se podría pensar que la longitud del pistilo pudiera ser responsable de esas diferencias, la constatación de pistilos de igual longitud en uno de los casos disipó la duda.

Aunque la evolución del saco embrionario fue relativamente rápida, aún en las variedades que lo tenían más atrasado, se pudo comprobar que, en todos los casos hubo un mayor sincronismo entre la llegada de los tubos polínicos al ovario y la madurez del óvulo en las variedades de mayor fructificación. Al mismo tiempo, se pudo constatar que un mayor número de óvulos parecieron mostrar un desarrollo ralentizado o incluso nulo en las variedades de menor fructificación. En el año 2000 el mayor avance de tubos y sacos embrionarios en las variedades más fértiles se plasmó en la aparición precoz de óvulos fecundados en éstas el día 6 desde la polinización.

El proceso de fertilización en albaricoquero ha sido relativamente poco estudiado y quisimos determinar, en nuestras condiciones climáticas, cuando tiene lugar la doble fecundación en un conjunto amplio de variedades. Este conjunto estaba formado por variedades que habitualmente tienen el saco embrionario desarrollado en antesis y otras cuya característica común es que presentan el óvulo muy atrasado en antesis. Comparamos los porcentajes de fertilización que se daban en unas y otras. La fecundación de la mayoría de los óvulos ocurrió entre las 2000 y las 3000 GDHs (Growing Degree Hours = unidad de calor acumulativo). Encontramos un número más elevado de óvulos fecundados en las variedades con los óvulos adelantados en antesis que en las que habitualmente tienen óvulos muy inmaduros. Nuestros resultados sugieren que un cierto desarrollo del saco

embrionario cuando abre la flor es condición necesaria para que tenga lugar la fertilización. Sin embargo, no es la única condición ya que existen muchos factores implicados en el proceso de fecundación de los óvulos.

Al analizar los óvulos de numerosas flores procedentes del amplio grupo de las variedades estudiadas, nos encontramos con algunos estados anormales del saco embrionario. Debido a que las irregularidades que presenta el desarrollo de los óvulos tiene una clara repercusión en los problemas de fertilización, se observaron los tipos de malformaciones encontradas tanto en las primeras etapas de desarrollo como en las más cercanas a la fecundación y se determinó la incidencia de éstas.

En algunas variedades los fallos en el proceso de diferenciación y desarrollo del saco embrionario en las etapas tempranas de desarrollo del óvulo tuvieron una importancia considerable y se puede considerar como un factor de incidencia negativa en la productividad del albaricoquero. Las malformaciones observadas en las etapas más tardías de desarrollo del óvulo consistieron en saco embrionario no diferenciado o no alargado. Se comprobó que la aparición de éstas anomalías en un grupo de variedades con buen comportamiento productivo era mucho menos frecuente que en otras cuya productividad es habitualmente más baja.

Se consideró el hecho de que un retraso del momento de polinización tuviera una influencia positiva en los porcentajes de óvulos fecundados y en la productividad de determinadas variedades que presentan problemas de fructificación.

Aunque no se observó una clara influencia del retraso de la polinización en el número de óvulos fecundados, si pareció existir una tendencia a mejorar los porcentajes de fertilización, lo que supondría que un margen de tiempo entre la apertura de la flor y la polinización permitiría que un número de óvulos madure y sean fecundados en las variedades con sacos embrionarios poco desarrollados en anthesis. Sin embargo, no encontramos ninguna influencia del día de polinización en

la fructificación, lo que no coincide con la tendencia apuntada anteriormente. En las diversas etapas que tienen lugar a lo largo del proceso reproductivo son muchos los factores que influyen en la evolución desde óvulo fecundado hasta fruto, por lo que este proceso se pudo detener por diferentes motivos y los porcentajes de fructificación fueron afectados de esta manera, a pesar de que existiera una influencia positiva del retraso del momento de polinización en la fertilización de los óvulos.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott D.L.** (1962) The effect of four controlled winter temperatures on the flowering and fruiting of the apple. *Journal of Horticultural Science*, **37**: 272-284.
- Abbott D.L.** (1971) Physiology of fruit - set in apple. *Pomology and Plant Breeding*, 30-32.
- Abdul-Baki A.A. y Stommel J.R.** (1995) Pollen viability and fruit set of tomato genotypes under optimum and high temperature regimes. *HortScience*, **30**: 115-117.
- Arbeloa A. y Herrero M.** (1987) The significance of the obturator in the control of pollen tube entry into the ovary in Peach. *Annals of Botany*, **60**: 681-685.
- Atkinson C.J. y Lucas A.S.** (1996) The response of flowering date and cropping of *Pyrus communis* cv Concorde to autumn warming. *Journal of Horticultural Science*, **71**: 427-434.

- Atkinson C.J. y Taylor L.** (1994) The influence of autumn temperature on flowering time and cropping of *Pyrus communis* cv conference. *Journal of Horticultural Science*, **69**: 1067-1075.
- Atkinson C.J., Taylor L., Taylor J.M. y Lucas A.S.** (1998) Temperature and irrigation effects on the cropping, development and quality of 'Cox's Orange Pippin' and 'Queen Cox' apples. *Scientia Horticulturae*, **75**: 59-81.
- Audergon J.M.** (1995) Variety and breeding. *Acta Horticulturae*, **384**: 35-45.
- Austin P.T., Hewett E.W., Noiton D. y Plummer J.A.** (1998) Self incompatibility and temperature affect pollen tube growth in 'Sundrop' apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, **73**: 375-386.
- Bailey C.H. y Hough L.F.** (1975) Apricots. En: Advances in fruit breeding. (Janick, J. y Moore, J.N. eds.) Purdue University Press, West Lafayette, Indiana, pp.:367-383.
- Bar-Tsur A.** (1977) High temperature effects on gas exchange characteristics, flowering and fruit-set in tomatoes. (Tesis).
- Barack D.** (1961) The apricot in Israel. *Hassadeh*, **41 (4,5,6)**: 2-15.
- Basconsuelo S., Reinoso H., Lorenzo E. y Bottini R.** (1995) Dormancy in peach (*Prunus persica* L.) flower buds. *Plant Growth Regulation*, **16**: 113-119.
- Baskerville G.L. y Emin P.** (1969) Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology*, **50**: 514-517.
- Beattie B.B. y Folley R.R.W.** (1977) Production variability in apple crops. *Scientia Horticulturae*, **6**: 271-279.
- Beattie B.B. y Folley R.R.W.** (1978) Production variability in apple crops. II. The long-term behaviour of the English crop. *Scientia Horticulturae*, **8**: 325-332.
- Bellini E. y Gianelli G.** (1975) Sul valore tassonomico di alcuni caratteri del ramo nel pesco. *Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana*, **59**: 440-458.
- Benzoni A., Palzkill D.A. y Nelson J.M.** (1992) Flower bud dormancy, ABA concentration, and survival during frost of jojoba genotypes under water stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **117**: 976-980.
- Beppu K., Okamoto S., Sugiyama A. y Kataoka I.** (1997) Effects of temperature on flower development and fruit set of "Satohnishiki" sweet

- cherry. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, **65** (4): 702-712.
- Bini G.** (1972) Ulteriori osservazioni su alcuni aspetti della biologia florale e di fruttificazione della cultivar di pero 'Decana del Comizio'. *Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana*, **56** (4): 299-307.
- Bini G.** (1984) Fioritura e impollinazione nell'olivo. Indagini sul periodo d'impollinazione, recettività dello stigma ed evoluzione del gametofito femminile. *Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana*, **68**: 57-69.
- Bini G. y Bellini E.** (1971) Macrosporogenesi nella cultivar di pero 'Decana del Comizio' e ricerca del periodo più opportuno per la sua impollinazione. *Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana*, **55** (4): 332-336.
- Brooks R.M.** (1948) Seasonal incidence of perfect and staminate olive flowers. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **52**: 213-218.
- Brown D.S.** (1952) Relation on irrigation practice to the differentiation and development of apricot flower buds. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **114**: 95-102.
- Brown D.S.** (1953) The effects of irrigation on flower bud development and fruiting in the apricot. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **61**: 119-124.
- Brown D.S.** (1957) The rest period of apricot flower buds as described by a regression of time of bloom on temperature. *Plant Physiology*, **32**: 75-85.
- Brown D.S.** (1958) The relation of temperature to the flower bud drop of peaches. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **71**: 77-87.
- Brown D.S. y Abi-Fadel J.F.** (1953) The stage of development of apricot flower buds in relation to their chilling requirement. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **61**: 110-118.
- Browning G. y Miller J.M.** (1992) The association of year-to-year variation in average yield of pear cv. conference in England with weather variables. *Journal of Horticultural Science*, **67** (5): 593-599.
- Burgos L., Berenguer T. y Egea J.** (1995) Embryo-sac development in pollinated and non-pollinated flowers of two apricot cultivars. *Journal of Horticultural Science*, **70**: 35-39.
- Burgos L. y Egea J.** (1993) Apricot embryo-sac development in relation to fruit set. *Journal of Horticultural Science*, **68**(2): 203-208.

- Burgos L., Egea J. y Dicenta F.** (1991) Effective pollination period in apricot (*Prunus armeniaca*, L.) varieties. *Annals of Applied Biology*, **119**: 533-539.
- Burgos L., Egea J., Guerriero R., Viti R., Monteleone P. y Audergon J.M.** (1997) The self-compatibility trait of the main apricot cultivars and new selections from breeding programmes. *Journal of Horticultural Science*, **72**: 147-154.
- Buttrose M.S. y Sedgley M.** (1979) Anatomy of watermelon embryo sacs following pollination, non-pollination or parthenocarpic induction of fruit development. *Annals of Botany*, **43**: 141-146.
- Caprio J.M. y Quamme H.A.** (1998) Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science*, 129-137.
- Carraut A.** (1968) Contribution a l'étude de la levée de dormance des bourgeons a fleurs de l'abricotier. *Acta Horticulturae*, **11**: 479-484.
- Catlin P.B. y Polito V.S.** (1989) Cell and tissue damage associated with pistillate flower abscission of Persian Walnut. *HortScience*, **24** (6): 1003-1005.
- Cerovic R. y Micic N.** (1999) Functionality of embryo sacs as related to their viability and fertilization success in sour cherry. *Scientia Horticulturae*, **79**: 227-235.
- Cerovic R. y Ruzic D.** (1992) Senescence of ovules at different temperatures and their effect on the behaviour of pollen tubes in sour cherry. *Scientia Horticulturae*, **51**: 321-327.
- Clanet H. y Salles J.C.** (1974) Contribution a l'étude de la fructification de l'abricotier dans des conditions climatiques différentes. *Annales de l'amélioration des plantes*, **24**: 97-127.
- Corbet S.A.** (1990) Pollination and the weather. *Israel journal of botany*, **39**: 13-30.
- Crisosto C.H., Lombard P.B., Richardson D.G. y Tetley R.** (1992) Putrescine Extends Effective Pollination Period in Comice Pear (*Pyrus communis* L.) Irrespective of Post-Anthesis Ethylene Levels. *Scientia Horticulturae*, **49**: 211-221.
- Crisosto C.H., Lombard P.B., Sugar D. y Polito V.S.** (1988) Putrescine influences ovule senescence, fertilization time, and fruit set in 'Comice' pear. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **113**: 708-712.

- Crossa-Raynaud P.** (1961) L'abricot et le climat. *Journées Nationales de l'abricotier Perpignan*, 55-57.
- Daubeny H.A., Crandall P.C. y Eaton G.W.** (1967) Crumbliness in the red raspberry with special reference to the 'Summer' variety. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **91**: 224-230.
- DGEP (Dirección General de Economía y Planificación).** (1999) Plan de reactivación económica de la Región de Murcia. Adaptado 1997-1999. (Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia ed.) Consejería de Economía y Hacienda, Murcia.
- Dorsey M.J.** (1929) The relation between embryo sac development and the set of fruit in the apple. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **26**: 56-61.
- Eaton G.W.** (1959) A study of the megagametophyte in *Prunus avium* and its relation to fruit setting. *Canadian Journal of Plant Science*, **39**: 466-476.
- Eaton G.W.** (1962) Further studies on sweet cherry embryo sacs in relation to fruit setting. *Rept Ont Hort Exp Sta*, 26-38.
- Eaton G.W. y Jamont A.M.** (1964) Embryo sac development in the apricot, *Prunus armeniaca* L. cv. 'Constant'. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **86**: 95-101.
- Egea J.** (1998) El albaricoquero en España: panorámica varietal. *Fruticultura Profesional*, **96**: 49-55.
- Egea J., Berenguer T. y Burgos L.** (1999) Dates of bloom and maturity of several apricot selections from european breeding programmes. *Acta Horticulturae*, **488**: 159-163.
- Egea J. y Burgos L.** (1992) Effective pollination period as related to stigma receptivity in apricot. *Scientia Horticulturae*, **52**: 77-83.
- Egea J. y Burgos L.** (1994) Year-to-year variation in the developmental stage of the embryo sac at anthesis in flowers of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Horticultural Science*, **69(2)**: 315-318.
- Egea J. y Burgos L.** (1995) Double kernalled fruits in almond (*Prunus dulcis*, Mill.) as related to pre-blossom temperatures. *Annals of Applied Biology*, **126**: 163-168.
- Egea J. y Burgos L.** (1998) Fructification problems in continental apricot cultivars growing under Mediterranean climate. Ovule development at anthesis in two climatic areas. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, **73**: 107-110.

- Egea J. y Burgos L. (2000) Ovule differences between single-kernelled and double-kernelled fruits in almond (*Prunus dulcis*). *Annals of Applied Biology*, **136**: 291-295.
- Egea J., Burgos L., García J.E. y Egea L. (1991) Stigma receptivity and style performance in several apricot cultivars. *Journal of Horticultural Science*, **66** (1): 19-25.
- Egea J., García J.E. y Berenguer T. (1994) El albaricoquero. Situación y perspectivas del cultivo. *Hortofruticultura*, **6**: 53-54.
- Egea J., García J.E. y Berenguer T. (1994) Variedades de albaricoquero. *Hortofruticultura*, **6**: 56-62.
- Egea J., García J.E., Egea L. y Berenguer T. (1988a) Degré de compatibilité intervariétale en amandier. Etude différentielle au moyen de fluorescence. *7 Colloque du GREMPA (Tarragona)*, 165-174.
- Egea J., García J.E., Egea L. y Berenguer T. (1995) Productive behaviour of apricot varieties in a warm winter area. *Acta Horticulturae*, **384**: 129-133.
- Egea L., Berenguer T., Egea J. y García J.E. (1988b) Origen, situación y características de las variedades de albaricoquero de Murcia. *Anales de Edafología y Agrobiología*, **XLVII**: 999-1011.
- Egea L., Leon A. y Berenguer T. (1975) Adaptación de *Prunus* en el sureste español. *Memorias I O A T S*, 67-81.
- El Ahmadi A.B. y Stevens M.A. (1979) Reproductive responses of heat-tolerant tomatoes to high temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **104**: 686-691.
- Estadística Agraria de la Región de Murcia (1996-1997) Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Anuario Regional de Estadística Agraria
- Ewart A. y Kliever W.M. (1977) Effects of controlled day and night temperatures and nitrogen on fruit - set, ovule fertility, and fruit composition of several wine grape cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, **28** (2): 88-95.
- FAOSTAT (1999) Datos de estadística agraria. Página webb <http://apps.fao.org/>
- FECOAM (Federación de Cooperativas Agrarias de la Región de Murcia). (1998) Datos de interés recopilados. *FECOAM*, **20**: 14-15.
- Felipe A.J. (1989) Patrones para frutales de pepita y hueso. (Felipe A.J. ed.) Ediciones Técnicas Europeas, Barcelona.

- Ferriere J., Milthorpe P.L. y Dunstone R.L.** (1989) Variability in chilling requirements for the breaking of flower bud dormancy in jujube (*Simmondsia chinensis* [Link] Schneider). *Journal of Horticultural Science*, **64**: 379-387.
- Fleckinger J.** (1955) Phenologie et arboriculture fruitière. *Bon Jardinier*, **1**: 362-372.
- Forino L.M.C., Tagliasacchi S. y Avanzi S.** (1987) Embryo-sacs frequency in ovules of abscission affected fruits in *Malus domestica* Borkh. *Advances in Horticultural Science*, **1**: 65-67.
- Forte V.** (1992) Origen. Clasificación y caracteres botánicos. "Habitat". En: El albaricoquero. Caracteres. Cultivo. Comercialización. Anonymous Mundi-Prensa, Madrid, pp.:11-21.
- Furukawa Y. y Bukovac M.J.** (1989) Embryo sac development in Sour Cherry during the pollination period as related to fruit set. *HortScience*, **24** (6): 1005-1008.
- Fuss A.M., Burne P.M., Coombe B.G. y Sedgley M.** (1990) Cultural manipulation for out-of-season peach production under glass. *Scientia Horticulturae*, **43**: 15-27.
- Galimberti P., Marro M. y Youssef J.** (1987) Periodo utile d'impollinazione in *Actinidia chinensis* (Planch). *Rivista di Frutticoltura*, **1**: 51-54.
- García J.E.** (1978) Biología floral en variedades cultivadas de *Prunus amygdalus* Batsch. (1 ed.) Anonymous C.E.B.A.S.-C.S.I.C., Murcia. pp.: 300.
- George A.P., Nissen R.J. y Collins R.J.** (1994) Effects of temperature and pollination on growth, flowering and fruit set of the non-astringent persimmon cultivar "Fuyu" under controller temperatures. *Journal of Horticultural Science*, **69** (2): 225-230.
- Gerlach D.** (1969) A rapid safranin-crystal violet-light green staining sequence for paraffin sections of plant materials. *Stain Technology*, **44**: 210-211.
- Gonzalez M.V., Coque M. y Herrero M.** (1995) Stigmatic receptivity limits the effective pollination period in kiwifruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **120**: 199-202.
- Guerrero-Prieto V.M., Vasilakakis M.D. y Lombard P.B.** (1985) Factors controlling fruit set of 'Napoleon' sweet cherry in western Oregon. *HortScience*, **20** (5): 913-914.

- Guerriero R., Viti R. y Bartolini S.** (1985) Winter changes in the appearance of flower cup anomalies in an Italian late blooming variety. *Acta Horticulturae*, **192**: 49-56.
- Hartmann H.T. y Hoffman R.M.** (1953) Olive fruiting behavior. *California Agriculture*, **7**: 9-10.
- Hartmann H.T. y Panetsos C.** (1961) Effect of soil moisture deficiency during floral development on fruitfulness in the olive. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **78**: 209-217.
- Hendrickson A.H. y Veilmeyer F.J.** (1950) Irrigation experiment with apricots. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **55**: 1-10.
- Herrero J. y Ibarz P.** (1971) Variedades de albaricoquero en España. *Anales de la Estacion Experimental de Aula Dei*, 143-164.
- Herrero M.** (1983) Factors affecting fruit set in 'Agua de Aranjuez' pear. *Acta Horticulturae*, **139**: 91-96.
- Herrero M.** (1992) From pollination to fertilization in fruit trees. *Plant Growth Regulation*, **11**: 27-32.
- Herrero M. y Arbeloa A.** (1989) Influence of the pistil on pollen tube kinetics in peach (*P. persica*). *American Journal of Botany*, **76** (10): 1441-1447.
- Herrero M. y Gascon M.** (1987) Prolongation of embryo sac viability in pear (*Pyrus communis*) following pollination or treatment with gibberellic acid. *Annals of Botany*, **60**: 287-293.
- Higuchi H., Utsunomiya N. y Sakuratani T.** (1998) High temperature effects on cherimoya fruit set, growth and development under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, **77**: 23-31.
- Huslig S.M., Smith M.W. y Brusewitz G.H.** (1993) Irrigation schedules and annual rygrass as a ground cover to conserve water and control peach tree growth. *HortScience*, **28**: 908-913.
- Jackson J.E. y Hamer P.J.C.** (1980) The causes of year-to-year variation in the average yield of 'Cox's Orange Pippin' apple in England. *Journal of Horticultural Science*, **55** (2): 149-156.
- Jackson J.E., Hamer P.J.C. y Wickenden M.F.** (1983) Effects of early spring temperatures on the set of fruits of Cox's Orange Pippin apple and year-to-year variation in its yields. *Acta Horticulturae*, **139**: 75-82.
- Jensen W.A.** (1973) Fertilization in flowering plants. *BioScience*, **23**: 21-27.

- Jensen W.A., Ashton M.E. y Beasley C.A.** (1983) Pollen tube-embryo sac interaction in cotton. (1 ed.) En: *Pollen: Biology and implications for plant breeding*. (Mulcahy, D.L. y Ottaviano, E. eds.) Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, Amsterdam, Oxford., pp.:67-72.
- Jonkers H.** (1979) Bud dormancy of apple and pear in relation to the temperature during the growth period. *Scientia Horticulturae*, **10**: 149-154.
- Kho Y.O. y Baër J.** (1968) Observing pollen tubes by means of fluorescence. *Euphytica*, **17**: 298-302.
- Kliewer W.M.** (1977) Effect of high temperatures during the bloom - set period on fruit - set, ovule fertility, and berry growth of several grape cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, **28** (4): 215-222.
- Lang A.** (1952) Physiology of flowering. *Plant Physiology*, **3**: 265-306.
- Larson K.D., Dejong T.M. y Johnson R.S.** (1988) Physiological and growth responses of mature peach trees to postharvest water stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **113**: 296-300.
- Layne R.E.C., Tan C.S. y Hunter D.M.** (1994) Cultivar, Ground-Cover, and Irrigation Treatments and Their Interactions Affect Long-Term Performance of Peach Trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **119**: 12-19.
- Legave J.M.** (1975) La différenciation du bourgeon à fleur et le repos hivernal chez l'abricotier (*Prunus Armeniaca Vulgaris*). *La Pomologie Française*, **17**: 150-168.
- Legave J.M.** (1978) Aspects of floral necrosis before flowering in Apricot. *Annales de l'amélioration des plantes*, **28** (3): 333-340.
- Legave J.M., García G. y Marco F.** (1982) Some descriptive aspects of drops process of flower buds, or young flowers observed on apricot tree in south of France. *Acta Horticulturae*, **121**: 75-83.
- Lichou J. y Audubert A.** (1989) L'abricotier. (Granier, J. ed.) Ctifl, Montpellier.
- Lichou J., Audubert A., Jay M. y Costes E.** (1995) Influence of floral fertility and pollination on fruit drop and productivity of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Acta Horticulturae*, **384**: 333-337.
- Lillecrapp A.M., Wallwork M.A. y Sedgley M.** (1999) Female and male sterility cause low fruit set in a clone of the 'Trevatt' variety of apricot (*Prunus armeniaca*). *Scientia Horticulturae*, **82**: 255-263.

- Linskens H.F. y Esser K.** (1957) Über eine spezifische anfärbung der pollenschläuche im griffel und die zahl der kallosepfropfen nach selbstung und fremdung. *Naturwissenschaften*, **44**: 16-16.
- Lord E.M. y Kohorn L.U.** (1986) Gynoeceal development, pollination and the path of pollen tube growth in the therapy bean *Phaseolus acutifolius*. *American Journal of Botany*, **73**: 70-78.
- MAPA (Ministerio de Agricultura P.y.A.** (1997) Anuario de estadística agraria. (MAPA ed.) MAPA, Madrid. pp.: 325.
- Marcucci M.C. y Visser T.** (1987) Pollen tube growth in apple and pear styles in relation to self-incompatibility, incongruity and pollen load. *Advances in Horticultural Science*, **1**: 90-94.
- Marro M.** (1976) Recherche sulla evoluzione del sacco embrionaie del melo 'Richard' nel corso della fioritura. *Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana*, **60**: 185-198.
- Martin F.W.** (1959) Staining and observing pollen tubes in the style by means of fluorescence. *Stain Technology*, **34**: 125-128.
- Martinez-Tellez J. y Crossa-Raynaud P.** (1982) Contribution à l'étude du processus de la fécondation chez trois espèces de Prunus: *P. persica* (L.) Batsch., *P. cerasifera* Ehrh., *P. mahaleb* L. grâce à l'utilisation de couples de variétés mâle-stériles et mâle-fertiles. *Agronomie*, **2** (4): 333-340.
- Martinez-Valero R.** (1981) Nuevas variedades murcianas de albaricoquero denominadas de "Clase". *Acta Horticulturae*, **85a**: 349-352.
- McKee J. y Richards A.J.** (1998) The effect of temperature on reproduction in five *Primula* species. *Annals of Botany*, **82**: 359-374.
- Medeira M.C. y Guedes M.E.** (1991) Flower buds abscission and male sterility in apricot. *Acta Horticulturae*, **293**: 311-318.
- Mehlenbacher S.A., Cociu V. y Hough L.F.** (1991) Apricots (Prunus). En: Genetic resources of temperate fruit and nut crops. (Moore,J.N. y Ballington,J.R. eds.) International Society for Horticultural Science, Wageningen, pp.:65-107.
- Miller J.M., Costa J., Wickenden M.F. y Jackson J.E.** (1987) Effects of pre-blossom temperature on cox yield. *Annual Report of East Malling Research Station for 1986*, 113-113.
- Miller J.M., Wickenden M.F. y Jackson J.E.** (1984) Effect of pre-blossom temperatures on effective pollination period and ovule longevity. *Annual Report of East Malling for 1984*, 101-102.

- Mogensen H.L.** (1975) Ovule abortion in quercus (Fagaceae). *American Journal of Botany*, **62** (2): 160-165.
- Monet R. y Bastard Y.** (1971) Effets d'une température modérément élevée: 25°C, sur les bourgeons floraux du pêcher. *Physiol Vég*, **9**: 209-226.
- Moreno Y.M., Millerazarenko A.N. y Potts W.** (1992) Genotype, Temperature, and Fall-Applied Ethephon Affect Plum Flower Bud Development and Ovule Longevity. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **117**: 14-21.
- Overcash J.P. y Campbell J.A.** (1955) The effects of intermittent warm and cold periods on breaking the rest period of peach leaf buds. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **66**: 87-92.
- P.A.R.** (1998) Página webb <http://par.cebas.csic.es/tverde/Griego.htm>
- Paunovic S.A.** (1980) Cultivar, rootstocks and environments as potencial factors for successful apricot growing. *Acta Horticulturae*, **85**: 37-52.
- Petropoulou S.P. y Alston F.H.** (1998) Selecting for improved plination at low temperatures in apple. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, **73**: 507-512.
- Pimienta E. y Polito V.S.** (1982) Ovule abortion in 'Nonpareil' almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D.A. Webb). *American Journal of Botany*, **69** (6): 913-920.
- Pimienta E. y Polito V.S.** (1983) Embryo sac development in almond [*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb] as affected by cross-, self- and non-pollination. *Annals of Botany*, **51**: 469-479.
- Postweiler K., Stösser R. y Anvari S.F.** (1985) The effect of different temperatures on the viability of ovules in cherries. *Scientia Horticulturae*, **25**: 235-239.
- Pressman E., Moshkovitch H., Rosenfeld K., Shaked R., Gamliel B. y Aloni B.** (1998) Influence of low night temperatures on sweet pepper flower quality and the effect of repeated pollinations, with viable pollen, on fruit setting. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, **73**: 131-136.
- Proehsting W.M., Jerie P.H. y Irvine J.** (1989) Water deficits and rooting volume modify peach tree growth and water relations. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **114**: 368-372.
- Rallo L., Martin G.C. y Lavee S.** (1981) Relationship between abnormal embryo sac development and fruitfulness in olive. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **106** (6): 813-817.

- Rattigan K. y Hill S.J.** (1986) Relationship between temperature and flowering in almond. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **26**: 399-404.
- Remy P.** (1953) Contribution a l'étude du pollen der arbres fruitiers a noyau, genre Prunus. *Annales de l'amélioration des plantes*, **3**: 351-388.
- Richardson E.A., Seeley S.D. y Walker D.R.** (1974) A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience*, **1**: 331-332.
- Richardson E.A., Seeley S.D., Walker D.R., Anderson J.L. y Ashcroft G.L.** (1975) Pheno-climatography of spring peach bud development. *HortScience*, **10** (3): 236-237.
- Rodrigo J. y Herrero M.** (1998) Influence of intraovular reserves on ovule fate in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Sexual Plant Reproduction*, **11**: 86-93.
- Rodrigo J. y Herrero M.** (2000) Ovary starch reserves and flower development in apricot. *Physiologia Plantarum*, **108**: 35-41.
- Ruiz-Sánchez M.C., Egea J., Galego R. y Torrecillas A.** (1999) Floral biology of 'Búlida' apricot trees subjected to postharvest drought stress. *Annals of Applied Biology*, **135**: 523-528.
- Ryugo K.** (1990) Fattori di regolazione della fioritura e della allegagione nelle specie frutticole temperate. *Rivista di Frutticoltura*, **11**: 27-31.
- Saini H.S.** (1997) Effects of water stress on male gametophyte development in plants. *Sexual Plant Reproduction*, **10**: 67-73.
- Sato M., Kanbe K., Nakagawa S., Yuda E. y Fukunaga S.** (1988) Studies on development of the embryo sac and its abnormality in the triploid apple cultivar 'Mutsu'. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, **57**: 366-372.
- Schuch U.K., Fuchigami L.H. y Nagao M.A.** (1992) Flowering, ethylene production, and ion leakage of coffee in response to water stress and gibberellic acid. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **117**: 158-163.
- Seavey S.R. y Carter S.K.** (1996) Ovule fates in *Epilobium obcordatum* (Onagraceae). *American Journal of Botany*, **83**: 316-325.
- Sedgley M.** (1976) Control by the embryo sac over pollen tube growth in the style of the avocado (*Persea americana* Mill.). *New Phytologist*, **77**: 149-152.

- Sedgley M.** (1977) The effect of temperature on floral behaviour, pollen tube growth and fruit set in the avocado. *Journal of Horticultural Science*, **52**: 135-141.
- Sedgley M.** (1979) Light microscope study of pollen tube growth, fertilization and early embryo and endosperm development in the Avocado varieties 'Fuerte' and 'Hass'. *Annals of Botany*, **44**: 353-359.
- Sedgley M.** (1981) Early development of the Macadamia ovary. *Australian Journal of Botany*, **29**: 185-193.
- Sedgley M. y Scholefield P.B.** (1980) Stigma secretion in watermelon before and after pollination. *Botanical Gazette*, **14**: 428-434.
- Seth J.N. y Kuksal R.P.** (1977) A note on the causes of poor fruit setting in apricot variety Charmagz. *Progressive Horticulture*, **9** (2): 39-42.
- Shuraki Y.D. y Sedgley M.** (1994) Effect of pistil age and pollen parent on pollen tube growth and fruit production of pistachio. *Journal of Horticultural Science*, **69** (6): 1019-1027.
- S.I.A.M.** (2000) Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Datos climatológicos. Página webb <http://www.carm.es/cagr/cida/indexsiam.html>
- Simons R.K. y Chu M.C.** (1967) Ovule development in the apple as related to morphological and anatomical variation in supporting tissues. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **92**: 37-49.
- Stern R.A., Eisenstein D., Voet H. y Gazit S.** (1996) Anatomical structure of two day old litchi ovules in relation to fruit set and yield. *Journal of Horticultural Science*, **71**: 661-671.
- Stösser R. y Anvari S.F.** (1982) On the senescence of ovules in cherries. *Scientia Horticulturae*, **16**: 29-38.
- Tabuenca M.C.** (1964) Necesidades de frío invernal de variedades de albaricoquero, melocotonero y peral. *Anales de la Estacion Experimental de Aula Dei*, **7**: 113-132.
- Tabuenca M.C.** (1965) Influencia del clima en plantaciones frutales.
- Therios I.N., Tsirakoglou V.M. y Dimassi-Theriou K.N.** (1985) Physiological aspects of pistachio (*Pistacia vera* L.) pollen germination. *Rivista Ortoflorofrutticoltura Italiana*, **69**: 161-170.
- Thompson M.M. y Liu L.J.** (1973) Temperature, fruit set and embryo sac development in 'Italian' prune. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **98** (2): 193-197.

- Tomer E. y Gazit S.** (1979) Early stages in avocado (*Persea americana* Mill.) fruit development: anatomical aspects. *Botanical Gazette*, **140** (3): 304-309.
- Tomer E. y Gottreich M.** (1978) Abnormalities in avocado (*Persea americana* Mill.) ovule development. *Botanical Gazette*, **139** (1): 81-86.
- Tomer E., Gottreich M. y Gazit S.** (1976) Defective ovules in avocado cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **101** (5): 620-623.
- Tonutti P., Ramina A., Cossio F. y Bargioni G.** (1991) Effective pollination period and ovule longevity in *Prunus avium* L. *Advances in Horticultural Science*, **5**: 157-162.
- Torrecillas A., Domingo R., Galego R. y Ruiz-Sánchez M.C.** (2000) Apricot tree response to withholding irrigation at different phenological periods. *Scientia Horticulturae*, **85**: 201-215.
- Tromp J.** (1976) Flower-bud formation and shoot growth in apple as affected by temperature. *Scientia Horticulturae*, **5**: 331-338.
- Tromp J.** (1986) The effect of four early spring temperature regimes of apple fruit set, tree growth and the K and Ca level in fruits. *Scientia Horticulturae*, **30**: 109-116.
- Tromp J. y Borsboom O.** (1994) The effect of autumn and spring temperature on fruit set and on the effective pollination period in apple and pear. *Scientia Horticulturae*, **60**: 23-30.
- Tufts W.P. y Morrow E.B.** (1925) Fruit - bud differentiation in deciduous fruits. *Hilgardia*, **1**: 3-14.
- Uriu K.** (1959) Periods of pistil abortion in the development of the olive flower. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **73**: 194-201.
- Uriu K.** (1964) Effect of post-harvest soil moisture depletion on subsequent yield of apricots. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **84**: 93-97.
- Utsunomiya N., Higuchi H., Yonemoto Y. y Yamashita H.** (1992) Effect of relative humidity on pollen storage and fruit set in Cherimoya. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, **61**: 172-173.
- Villarrubia D. y Mataix E.** (2000) Sistemas de poda en volúmenes de producción. En: Jornadas sobre la cirera i l'albercoc: tecnica i comercialització. Lleida.

- Viti R. y Monteleone P.** (1991) Observations on flower bud growth in some low yield varieties of apricot. *Acta Horticulturae*, **293**: 319-326.
- Walser R.H., Walker D.R. y Seeley S.D.** (1981) Effect of temperature, fall defoliation, and gibberellic acid on the rest period of peach leaf buds. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **106** (1): 91-94.
- Weinberger J.H.** (1954) Effects of high temperatures during the breaking of the rest of Sullivan Elberta peach buds. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **63**: 157-162.
- Weinberger J.H.** (1956) Prolonged dormancy trouble in peaches in the southeast in relation to winter temperatures. *Proceeding American Society for Horticultural Science*, **67**: 107-112.
- Weinberger J.H.** (1968) Some temperature relations in natural breaking of the rest of peach flower buds in the San Joaquin Valley, California. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **91**: 84-89.
- Wiggans C.B.** (1923) A study of the influence of certain environmental and cultural conditions on fruit - bud formation of pear and apricot. (Tesis), pp.:1-29.
- Williams R.R.** (1965) The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. *Journal of Horticultural Science*, **40**: 31-41.
- Williams R.R.** (1966) Pollination studies in fruit trees: III. The effective pollination period for some apple and pear varieties. *Report of Long Ashton Research Station for 1965*, 136-138.
- Williams R.R.** (1970a) An analysis of fruit-set determinants in 1969. (1 ed.) En: Towards regulated cropping. (Williams,R.R. y Wilson,D. eds.) Grower Books, London, pp.:11-22.
- Williams R.R.** (1970b) Techniques used in fruit set experiments. (1 ed.) En: Towards regulated cropping. (Williams,R.R. y Wilson,D. eds.) Grower Books, London, pp.:57-61.
- Williams R.R., Brain P., Church R.M. y Flook V.A.** (1984) Flower receptivity, pollen transfer and fruit set variations during a single flowering period of Cox's Orange Pippin apple. *Journal of Horticultural Science*, **59** (3): 337-347.
- Xu H.Q., Wang Q.Y., Hu J.L. y Huang Q.Y.** (1995) Studies on the development of the pistil and fertilization in *Prunus mume*. *Acta Botanica Yunnanica*, **17**: 61-66.

Yates I.E. y Sparks D. (1994) Anatomy differs for aborting and nonaborting pistillate flowers in pecan. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **119** (5): 949-955.