



Capítulo III.

FRUTALES DE HUESO Y PEPITA

Ignasi Batlle^{1*}, Ignasi Iglesias¹, Celia M. Cantin¹, Maria Luisa Badenes², Gabino Rios², David Ruiz³, Federico Dicenta³, José Egea³, Margarita López-Corrales⁴, Engracia Guerra⁴, José Manuel Alonso⁵, Rafael Socias i Company⁵, Javier Rodrigo⁵, Federico García-Montiel⁶ y Jesús García-Brunton⁶

- 1 Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA)
- 2 Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)
- 3 Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)
- 4 Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICITEX)
- 5 Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)
- 6 Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA)

*Coordinador: ignasi.batlle@irta.es

CONTENIDO:

1. Introducción general
2. Cambio climático y perspectivas de futuro.
3. Manzano
 - 3.1. Introducción y perspectivas de futuro
 - 3.2. Objetivos de mejora





- 3.3. Biotecnología aplicada a la mejora genética
- 3.4. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en mejora
4. Peral
 - 4.1. Introducción y perspectivas de futuro
 - 4.2. Objetivos de mejora
 - 4.3. Biotecnología aplicada a la mejora genética
 - 4.4. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en mejora
5. Melocotonero
 - 5.1. Introducción y perspectivas de futuro
 - 5.2. Objetivos de mejora
 - 5.3. Biotecnología aplicada a la mejora genética
 - 5.4. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en mejora
6. Ciruelo
 - 6.1. Introducción y perspectivas de futuro
 - 6.2. Objetivos de mejora
 - 6.3. Biotecnología aplicada a la mejora genética
 - 6.4. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en mejora
7. Albaricoquero
 - 7.1. Introducción y perspectivas de futuro
 - 7.2. Objetivos de mejora
 - 7.3. Biotecnología aplicada a la mejora genética
 - 7.4. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en mejora
8. Cerezo
 - 8.1. Introducción y perspectivas de futuro
 - 8.2. Objetivos de mejora
 - 8.3. Biotecnología aplicada a la mejora genética
 - 8.4. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en mejora.
9. Almendro
 - 9.1. Introducción y perspectivas de futuro
 - 9.2. Objetivos de mejora
 - 9.3. Biotecnología aplicada a la mejora genética
 - 9.4. Recursos fitogenéticos y especies silvestres relacionadas para su uso en mejora
10. Bibliografía

Capítulo III.

FRUTALES DE HUESO Y PEPITA

1. Introducción general

Las siete especies frutales de zonas templadas consideradas (manzano, peral, melocotonero, ciruelo, albaricoquero, cerezo y almendro) pertenecen a la familia *Rosaceae*, el manzano al género *Malus*, el peral al *Pyrus* y las otras cinco al género *Prunus*.

El manzano, el peral y el melocotonero, han sido tradicionalmente las tres especies de fruta dulce más importantes de España. En la última década se ha unido con particular relevancia el cerezo, seguido por el albaricoquero y el ciruelo. Estas seis especies ocupaban en 2017 una superficie de 205.177 ha. La producción media para el periodo 2015-2017 fue de 2.579.400 t anuales, lo que aportó en el año 2016 el 14,2% a la Producción Final Agraria (PFA). Considerando la Producción Final Agrícola, la fruta dulce ocupa el segundo lugar tras el sector hortícola con un valor estimado para el 2016 de 6.400.000 € anuales. La distribución de las superficies ocupadas por las diferentes especies en el año 2017 y de las producciones medias anuales correspondientes al 2015-2017 se exponen en la Figura 1, en donde se observa la predominancia del melocotonero, especialmente cuando se analizan las producciones. Le siguen en importancia el manzano, el peral, el cerezo, el albaricoquero y el ciruelo. El cerezo es después del melocotonero la especie que más ha incrementado superficie en las dos últimas décadas, situándose en tercer lugar después del manzano.

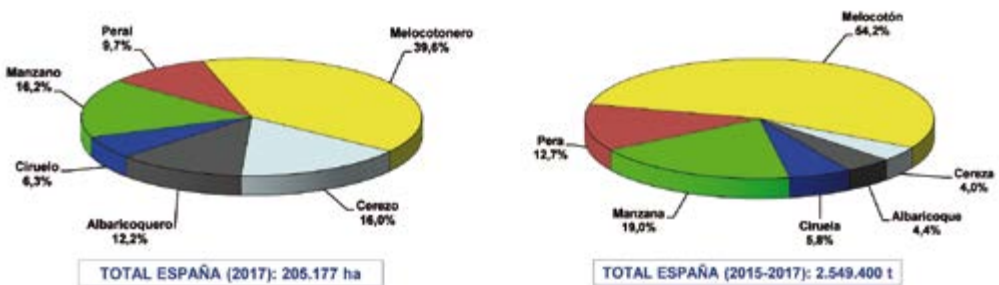


Figura 1. Distribución de las superficies (2017) y de las producciones (valores medios del período 2014-2017) de seis especies de fruta dulce cultivadas en España.

Fuente: elaboración propia a partir MAPAMA y AFRUCAT.

Además de la actual situación en lo referente a superficies y producciones, se constata también la evolución de las mismas, la cual se muestra en la Figura 2 para las producciones comparando dos períodos de referencia (1985-1987 y 2015-2017). Puede observarse como hechos más destacables el fuerte incremento del melocotonero y el importante descenso del manzano. El cultivo del peral pierde también importancia mientras que el cerezo y el ciruelo aumentan su producción.

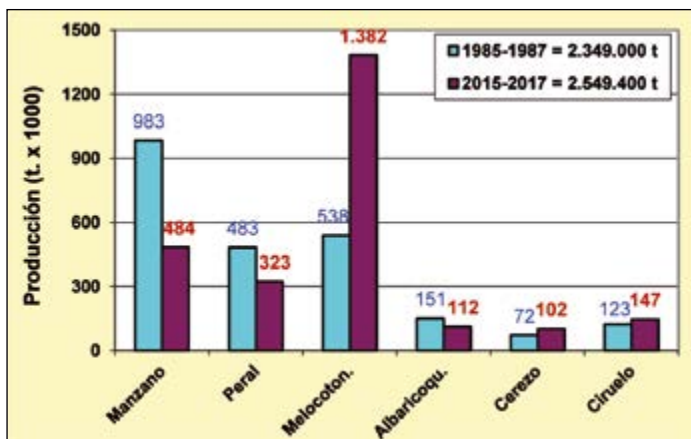


Figura 2. Producciones medias anuales correspondientes a los períodos 1985-1987 y 2015-2017 de seis especies de fruta dulce producidas en España.

Fuente: elaboración propia a partir MAPAMA y AFRUCAT.

La evolución productiva de estos seis frutales se debe a la priorización del sector productor hacia aquellas zonas mejor adaptadas a sus requerimientos ecológicos y caracterizadas principalmente por climas secos y calurosos. De forma general, las cuatro especies de hueso se adaptan mejor a estas zonas que las dos de pepita, en concreto el melocotonero, el albaricoquero y el ciruelo. Respecto al ciruelo, se debe distinguir entre el europeo, adaptado a zonas atlánticas y el japonés mejor adaptado a zonas mediterráneas. El cerezo se adapta mejor a zonas frías mientras que el almendro se adapta mejor a zonas cálidas. Entre las dos especies de pepita, la mayoría de variedades de manzano presentan una adaptación deficiente a climas cálidos por su efecto negativo en la coloración de los frutos y en su calidad. El peral está en cambio, mejor adaptado a dichas condiciones climáticas.

España es el tercer productor mundial de almendra después de Estados Unidos y Australia, con aproximadamente el 5% de la producción. La producción media de los años 2001-2017 ha sido de 41.880 t, con grandes oscilaciones según los años

(Figura 3). Sin embargo, España es el país que mayor superficie dedica al cultivo del almendro, con 487.700 ha productivas (MAPAMA 2016), lo que supone una productividad de unos 86 kg/ha de pepita, muy baja respecto a Estados Unidos y Australia, donde se sitúa alrededor de 2300 kg/ha. Estas diferencias en productividad están causadas en gran medida a que en estos países las condiciones edafo-climáticas son muy favorables al cultivo, las plantaciones son exclusivamente en regadío con elevadas dotaciones de agua, muy tecnificadas y con una gestión altamente cualificada, mientras que en España, las plantaciones que reúnen estas condiciones son todavía muy escasas.

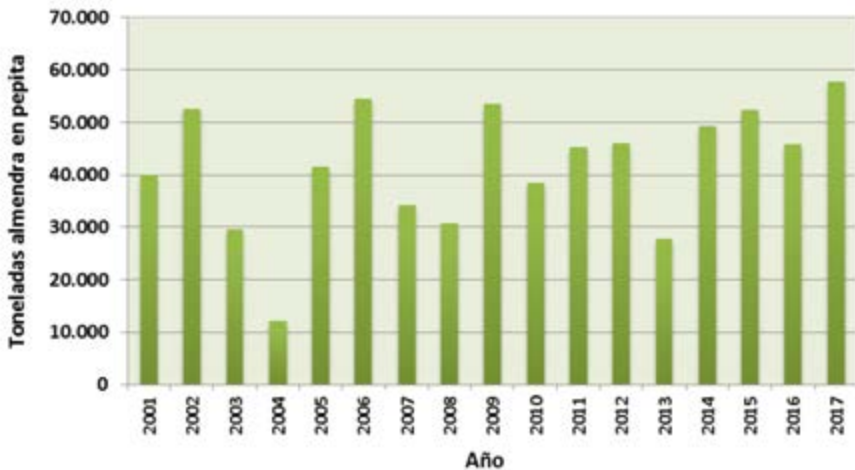
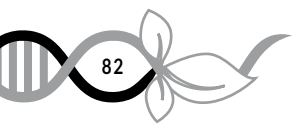


Figura 3. Producción de almendra en pepita de España durante los últimos 17 años. (Cooperativas Agro-Alimentarias).

2. Cambio climático y perspectivas de futuro

El cambio climático afecta en gran medida al crecimiento de las plantas leñosas, a su producción y a la calidad del fruto. Con respecto al frío invernal, el efecto más observado del cambio climático es su insuficiencia a lo largo de las últimas décadas; con una proyección futura pesimista según diversos modelos. Los efectos varían según la especie, su origen botánico, sus necesidades ecológicas y su respuesta fisiológica frente al estrés ambiental, tanto en la fase de reposo invernal como en las de brotación-floración y desarrollo vegetativo y productivo. El proceso de entrada y salida del reposo invernal de los frutales caducifolios es complejo. En estas especies se producen eventos que relacionan iniciación floral, antesis, dormancia, requerimientos en frío y



brotación. La comprensión de estos procesos es importante y crítica para el desarrollo de sistemas productivos en una fruticultura intensiva necesaria para producir más fruta en un clima en calentamiento global.

Los frutales caducifolios tienen un ciclo vegetativo-productivo de dos años separados por una parada vegetativa modulada por el frío invernal. En el pasado se ha constatado que el aumento de las temperaturas invernales en las zonas productoras de melocotonero y en consecuencia la menor disponibilidad de frío, aumenta la demanda de variedades con bajas necesidades en frío (Hennessy and Clayton-Green, 1995. Topp et al. 2008). Las consecuencias que produce la falta de la satisfacción completa de las necesidades de frío en la cantidad y calidad de fruta, tanto a corto como a largo plazo, son aspectos poco conocidos.

Una variedad tiene bajos costes de producción (y potencialmente altas producciones) si está bien adaptada a las condiciones ecológicas donde se cultiva (Monet y Bassi, 2008). Por ello, desde el punto de vista de adaptación y comportamiento productivo, se considera que la mayor limitación actual en zonas cálidas de los frutales templados considerados es satisfacer sus necesidades en frío, y con este objetivo se orientan los actuales programas de mejora.

La menor disponibilidad de frío invernal, provoca en algunas variedades de estos frutales templados brotaciones irregulares y producciones menores y más variables con frutos de menor calidad. Con respecto a la floración-brotación, salida de reposo invernal o incluso inviernos con temperaturas anormalmente cálidas inducen una floración anticipada en muchas variedades de melocotonero de necesidades medias de frío. Ello supone una mayor exposición y riesgo frente a las heladas primaverales. La mejora realizada para floración tardía en algunas especies, particularmente en almendro, puede considerarse contraria a su adaptación al cambio climático.

Durante el período vegetativo, el efecto de las temperaturas cada vez más elevadas y variables es destacado en el manzano. Así en variedades rojas o bicolors, el desarrollo del color depende en gran medida de las temperaturas (Iglesias et al., 2016a). Frente a este inconveniente, la mejora de las últimas décadas, asistida por el uso de marcadores moleculares ha conducido con éxito a la obtención de nuevas variedades de alta coloración (Chagné et al. 2016) y de elevada calidad gustativa, incluso en climas cálidos tal y como se observa en la Figura 4. En dichas condiciones climáticas, otros componentes de calidad del fruto como son la firmeza, los contenidos de sólidos solubles, de ácidos o de componentes aromáticos y la jugosidad de la pulpa también se ven negativamente afectados.

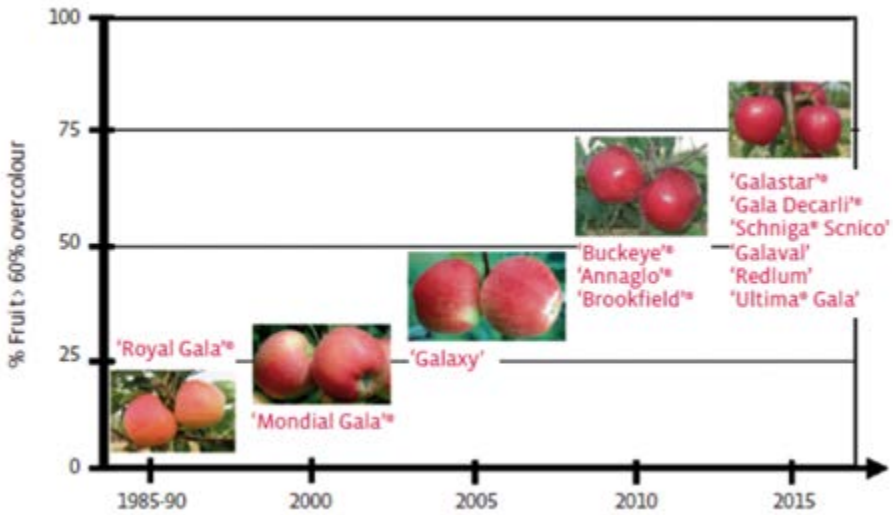


Figura 4. Porcentaje de coloración del fruto (>60% de color) a lo largo del período 1985-2015 correspondiente a diferentes clones de 'Gala' en el Valle del Ebro (España), de menor a mayor coloración (Iglesias et al., 2016a).

La adaptación al cambio climático como objetivo en la mejora genética varietal de la mayoría de especies frutales de pepita y hueso no ha sido contemplado hasta recientemente. Sin embargo, se puede considerar que se ha realizado mejora de forma indirecta para adaptar su producción en zonas generalmente de clima templado-cálido. Esta situación ha exigido el uso en mejora de los recursos genéticos mejor adaptados a estas zonas climáticas.

El efecto del cambio climático en la producción de frutales caducifolios de zonas templadas tiene similitudes con las limitaciones de su cultivo en zonas cálidas y subtropicales (Brasil, Egipto, Turquía, Marruecos, Túnez, Sudáfrica, Israel, etc.). En la Península Ibérica, dentro de su gran variabilidad climática, hay dos zonas donde la incidencia del calentamiento global está siendo importante como son el sureste y el Valle del Guadalquivir. En los frutales de pepita existen dos factores determinantes de la adaptación al calentamiento climático (Hauagge y Cummins, 2000): la habilidad de la especie/variedad a la brotación, floración, cuajado y crecimiento satisfactorio (naturalmente o bajo adecuadas prácticas culturales) y la capacidad para producir fruta de calidad con temperaturas superiores a las óptimas.

El cambio climático experimentado en las dos últimas décadas ha tenido múltiples efectos destacando, además del aumento de las temperaturas estivales, una menor dis-

ponibilidad de frío invernal que ha originado como resultado el adelanto de la fecha de floración y el consecuente incremento de riesgo frente a heladas primaverales. Además en zonas del sur de España, ha originado algunos años producciones irregulares y de menor calidad. La mejora genética deberá desarrollar nuevas variedades con menores exigencias en frío invernal y que a su vez tengan una floración adecuada a la zona climática de cada cultivo, manteniendo los demás atributos referentes al buen comportamiento agronómico y calidad de los frutos. La mejora genética clásica junto con el uso de herramientas genómicas modernas es considerada la mejor combinación para avanzar en el desarrollo de nuevas variedades por su adaptación al cambio climático.

Por otra parte, la progresiva eliminación del uso de reguladores de crecimiento para compensar la falta de frío invernal obliga a la adaptación de los frutales al cambio climático a través de su mejora genética. Aunque se han observado efectos del portainjerto en la época e intensidad de brotación y en el crecimiento de variedades de frutales de hueso y pepita no se ha contemplado en este capítulo.

3. Manzano

3.1. INTRODUCCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

El manzano ocupaba en 2017 en España una superficie de 33.204 ha con una producción media para el período 2015-2017 de 483.700 t (Figura 1). El hecho más destacable de esta especie es su progresiva regresión en las últimas décadas (Figura 2) como lo demuestra la cifra de que en 1985 su superficie alcanzaba las 58.210 ha. Su cultivo se localiza fundamentalmente en las partes más bajas del Valle del Ebro, también en la Comunidad Valenciana, León y Soria siendo Cataluña y Aragón las principales regiones productoras. 'Golden Delicious' es la variedad más importante con más de la mitad de la producción, seguida por 'Gala', 'Red Delicious' y 'Fuji'. Más del 80% del cultivo se encuentra en zonas geográficas caracterizadas por climas secos y calurosos con temperaturas máximas estivales que superan los 35°C y mínimas en torno a los 20°C. Estas condiciones climáticas no son las ideales para el manzano en particular para variedades de maduración estival, dado que afectan negativamente al color de los frutos. Además en variedades del grupo 'Golden' su firmeza es inferior y en otras variedades rojas como 'Fuji', la incidencia de golpes de sol son importantes. Esta problemática se ha acentuado a lo largo de las dos últimas décadas por la tendencia a veranos más calurosos resultando en una continua pérdida de competitividad frente a la manzana de importación (Francia,



Italia, etc.), producida en climas más idóneos. Ello ha originado en la última década el arranque de plantaciones y su sustitución por especies de hueso, principalmente melocotonero.

Dicha pérdida de competitividad se ha acrecentado por el cambio climático de las dos últimas décadas hacia veranos más secos y calurosos. Aún y así, el sector productor se ha adaptado a dicha situación bajo dos estrategias:

- La plantación de nuevas variedades con una mejor aptitud a la coloración incluso en climas cálidos, ya sean clones de más color de los principales grupos varietales ('Gala', 'Delicious', 'Fuji', etc.) o nuevas variedades de alta coloración como 'Modí' o 'Story' (Iglesias et al., 2016b). También con la plantación de variedades de recolección tardía como 'Pink Lady', seleccionada en un clima caluroso como el suroeste de Australia, cuya maduración coincide con oscilaciones térmicas diarias favorables para la coloración de los frutos. En todos los casos la mejora de la calidad gustativa es un factor adicional y básico pensando en el consumidor.
- La reubicación del manzano en zonas con condiciones climáticas favorables a dicha especie en particular temperaturas en un rango óptimo que son las que se dan en altitud y/o zonas de montaña. Es la opción seguida hace décadas por Italia o Francia con la plantación en zonas alpinas y de montaña.

El manzano en España cuenta con un importante potencial de crecimiento, dado que se importan alrededor de 250.000 t de manzana anualmente, principalmente de Italia y Francia. Si el sector es capaz de ofrecer la calidad que el mercado y los consumidores demandan, las expectativas son buenas. Ofrecer dicha calidad pasa por la introducción a escala comercial de variedades mejor adaptadas a climas calurosos y paralelamente su plantación en altitud para aquellas variedades que produzcan mejor en esas condiciones.

3.2. OBJETIVOS DE MEJORA

El manzano (*Malus x domestica* Borkh.) es un híbrido interespecífico de origen aloploiploide. Existen 25-30 especies en el género *Malus*, aunque sólo algunas se utilizan en su mejora. En los últimos años ha habido un gran impulso en la mejora genética de manzano, y sobre todo en el conocimiento para mejorar la eficiencia del proceso de selección. Uno de los objetivos más estudiados en los últimos años, especialmente en Europa, es el control genético de la resistencia a enfermedades y plagas comunes en manzano.



Relacionados con la climatología, actualmente los esfuerzos de mejora se centran en los siguientes objetivos:

- Adaptación a las condiciones medioambientales de cada zona de cultivo, particularmente climas cálidos con falta de frío invernal.
- Buen comportamiento agronómico que implica producciones constantes y de calidad, con baja sensibilidad a los golpes de sol y a desórdenes fisiológicos del fruto.
- Alta coloración incluso en zonas de climas extremadamente cálidos, secos y con elevadas temperaturas estivales y bajas oscilaciones térmicas entre el día y la noche.
- Mejora de la calidad organoléptica del fruto: especialmente la textura de la manzana se ha convertido en el mayor objetivo para la mejora de la calidad del fruto, fundamentalmente en zonas cálidas donde es difícil obtener buenas texturas. Se buscan frutos con firmezas medias pero alta crocancia y jugosidad, con sabores desde el dulce al equilibrado y a poder ser intensos y especiales. También se mejora la intensidad de sabor, buscando sabores especiales, y un buen equilibrio entre dulzor y acidez.
- Mejora de la calidad postcosecha: se buscan variedades con baja sensibilidad a desórdenes poscosecha como el pardeamiento interno, el rajado pistilar, o el "bitter pit" o mancha amarga. Además se buscan variedades que permitan una larga conservación sin pérdidas en la calidad organoléptica (especialmente pérdida de firmeza y aparición de harinosidad).
- Resistencia a plagas principalmente pulgón ceniciento (*Dysaphis plantaginea*) y pulgón lanífero (*Eriosoma lanigerum*) y enfermedades, fundamentalmente moteado (*Venturia inaequalis*), oidio (*Podosphaera leucotricha*), fuego bacteriano (*Erwinia amylovora*) y chancro (*Valsa ceratosperma*).
- Arquitectura del árbol con el objetivo de facilitar el manejo y disminuir los costes de producción.
- Reducción de la alergenicidad: el aumento de alergias alimentarias en las sociedades modernas, ha impulsado la investigación en este ámbito. En los últimos años se han identificado y mapeado cuatro alérgenos principales en el genoma del manzano (Mal d 1, Mal d 2, Mal d 3 y Mal d 4) (Gao et al., 2005a; 2005b). Además, se ha comprobado la implicación de las proteínas transferasas de lípidos (LTP) en las alergias a la fruta (Sancho et al., 2008).



- Nuevas tipologías de fruto, como fruta pequeña tipo “snack”.
- Aumentar las funciones nutraceuticas, especialmente frutos con pulpa roja que poseen mayor contenido en antocianos y por tanto en capacidad antioxidante.

3.3. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

La publicación de la secuencia completa del genoma del manzano en el 2010 (Velasco et al., 2010) ha permitido avanzar en el desarrollo de las técnicas biotecnológicas aplicadas en esta especie. En los últimos años se ha producido un gran avance en la construcción de mapas genéticos de esta especie a partir de los primeros mapas publicados. Actualmente existen multitud de mapas con diferente densidad de marcadores.

En cuanto al desarrollo y uso de marcadores moleculares, actualmente ha decrecido el uso y desarrollo de SSRs (“simple sequence repeats”), y ha aumentado la importancia de los SNPs (“single nucleotide polymorphism”), que son hoy en día los marcadores más utilizados y en los que más se está investigando.

El uso de marcadores moleculares ligados a caracteres de interés en los programas de mejora genética de manzana está actualmente en aumento, a pesar de que sigue siendo minoritario. La mayor parte de marcadores moleculares utilizados están ligados a resistencia a enfermedades como el moteado, para el que se conocen marcadores ligados a diferentes fuentes de resistencia (alelos *Vf*, *Va*, *Vb*, *Vbj*, *Vm* y *Vr*) (Bus et al., 2005; 2011; Patocchi et al., 2009). En el caso del oidio del manzano, se han descrito diferentes fuentes de resistencia (*PI1*, *PI2*, *Plw*, *Pld*) (James et al., 2004, Dunemann et al., 1999; 2007). Sin embargo, los marcadores moleculares disponibles actualmente siguen bajo estudio dado que su relación con la susceptibilidad fenotípica no es lo suficientemente robusta.

También se han desarrollado varios marcadores para resistencia al pulgón lanígero (*Eriosoma lanigerum*), pero su robustez es baja. A pesar de que se han dirigido importantes esfuerzos al desarrollo de marcadores para caracteres de calidad, especialmente para el control genético de la textura en manzana (*Md-ACS*, *Md-ACO*), el uso de estos marcadores en los programas de mejora es todavía anecdótico, debido a la escasa eficiencia de dichos marcadores ocasionada fundamentalmente por su control poligénico.

El reciente desarrollo de un marcador ligado al gen que controla la coloración roja de la piel de la manzana (*MdMYB10*, Chagne et al., 2016) con una buena robustez validada en distintos fondos genéticos, está permitiendo su uso como herramienta de SAM en algunos programas de mejora.

3.4. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN MEJORA

Solamente hay algunas variedades de manzano con necesidades de frío de 600 CU o inferiores desarrolladas para zonas templadas (Hauagge y Cummins, 2000). Existen diferentes especies silvestres de *Malus* y sus híbridos con el manzano cultivado que presentan el carácter de bajas necesidades de frío invernal. Todas ellas producen generalmente frutos de baja calidad y limitan su valor para el desarrollo de variedades a través de cruzamientos. También existen diferentes cultivares locales de bajas necesidad de frío pero de escasa calidad de fruto en países Mediterráneos como Túnez (región de Sfax). Algunos de ellos se han utilizado en programas de mejora del manzano en Israel. En el sur de China existen cultivares locales de pequeño fruto y alta coloración pero no se han introducido en otros países y utilizado para mejora. La variedad más conocida de bajas necesidades de frío es 'Anna' (derivada de 'Golden Delicious') desarrollada en Israel. 'Anna' tiene al menos un gen dominante junto con otros genes menores controlando la necesidades de frío (Hauagge y Cummins, 1991). Se han realizado programas también en Australia ('Cripps' series), Sudáfrica, Brasil, Panamá y en Florida (EEUU). En el programa de mejora de variedades de manzano del IRTA-PFR-FruitFutur se han utilizado selecciones neozelandesas PFR de alta expresión de la coloración rojiza de la piel para la selección en las cálidas condiciones de cultivo del Valle del Ebro obteniéndose buenos resultados en una primera generación y mejorando su textura en una segunda generación a partir de genotipos adaptados combinándolos con selecciones PFR de gran calidad organoléptica.

4. Peral

4.1. INTRODUCCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

El peral ha sido tradicionalmente, junto al manzano, la especie de pepita más importante cultivada en España. En 2017 ocupaba una superficie de tan solo 18.898 ha, con una producción media para el período 2015-2017 de 323.000 t (Figura 1). Al igual que se ha expuesto para el manzano, esta especie ha experimentado una importante recesión en las últimas décadas (Figura 2), dado que en 1985 ocupaba una superficie de 36.200 ha. Recesión debida principalmente a que se trata de un cultivo que requiere más tecnificación, con producciones más aleatorias que otras especies y por el efecto negativo del fuego bacteriano y de la falta de reguladores de crecimiento efectivos. Su cultivo se localiza principalmente en el Valle del Ebro, con Cataluña y Aragón



como principales regiones productoras, seguidas por La Rioja-Navarra, Murcia y Castilla-León. Esta especie se encuentra situada mayoritariamente en zonas con veranos secos y calurosos a los que esta especie se adapta bien, excepto algunas variedades concretas. De hecho, las temperaturas estivales elevadas, al contrario que en el manzano, no afectan negativamente a la calidad fruto más bien al contrario, en algunas como 'Williams' mejoran la calidad de la epidermis. La producción se basa en variedades tradicionales siendo 'Conference' la más importante, seguida por 'Blanquilla', 'Limonera' y 'Williams'.

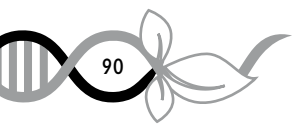
La tendencia descrita en las últimas décadas hacia veranos más secos y calurosos que afecta negativamente a la calidad en manzana, en pera apenas tiene efectos negativos excepto en algunas variedades como 'Conference' por provocar el secado de hojas, más acentuado en climas secos y con baja humedad ambiental.

La mejora varietal en esta especie, y al contrario que en el manzano, no se ha dirigido principalmente a la mejora a la adaptación a condiciones climáticas cambiantes con mayores temperaturas y menor pluviometría, sino a la mejora en la calidad gustativa/textura y/o presentación de los frutos y a la ampliación del calendario de maduración. Diferentes variedades asiáticas han sido la fuente de caracteres innovadores como son el color de la epidermis, la forma, el sabor y la textura (Iglesias et al., 2015). Además la introducción de resistencias frente a enfermedades, como el moteado o el fuego bacteriano, ha estado muy presente, disponiendo de numerosas variedades resistentes.

El futuro del peral en España, tras años de recesión continuada, cuenta con un potencial de crecimiento considerable por la disminución de la oferta. Sin embargo, su potencial está limitado por la innovación varietal dada la dificultad que supone el desarrollo a escala comercial de nuevas variedades. La innovación pasa en gran medida por la especialización de su cultivo y por la disponibilidad de plantaciones eficientes y con un buen potencial de producción y calidad.

4.2. OBJETIVOS DE MEJORA

El peral (*Pyrus communis* L.) posee la estructura varietal más estable de la mayoría de las especies frutales. A pesar de que la actividad de mejora varietal en los últimos años ha obtenido muchas nuevas variedades, sólo unas pocas variedades se cultivan en todo el mundo. El alto nivel de recombinación genética junto con los avances en la selección para atributos como tamaño de fruto, apariencia, sabor, aptitud poscosecha y resistencia a enfermedades y plagas, han dado como resultado un gran número

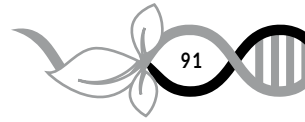


de cultivares con gran diversidad fenotípica. La globalización en el mercado de la fruta obliga a la obtención de cultivares con una excelente calidad del fruto. Para ello, y dada la dificultad del cultivo de esta especie, es necesaria la adaptación de la variedad a cada zona de cultivo. Esto justifica la existencia de programas de mejora en partes del mundo con distintas climatologías.

Uno de los objetivos en los programas de mejora actuales, es la obtención de híbridos entre pera europea y asiática con el fin de obtener nuevas variedades con combinaciones novedosas de textura, sabor y presentación, y para mejorar la resistencia a enfermedades y plagas.

Actualmente, existen unos 15 programas de mejora de variedades de pera en Europa, y solamente uno en España (IRTA-PFR-FruitFutur). Los objetivos de mejora de estos programas son los siguientes:

- Adaptación a factores medioambientales como el frío invernal, heladas primaverales y altas temperaturas estivales.
- Resistencia a plagas: principalmente la psylla europea (*Cacopsylla pyri*), vector del fitoplasma responsable del decaimiento del peral y a enfermedades: fundamentalmente fuego bacteriano (*Erwinia amylovora*), moteado (*Venturia pyrina*) y mancha negra (*Stemphylium vesicarium*).
- Extensión del calendario de cosecha, obtención especialmente de variedades de maduración temprana y tardía.
- Nuevas tipologías de fruto, como híbridos entre pera europea y asiática con nuevas formas, texturas y sabores, o frutos de piel rojo intenso.
- Frutos con apariencia atractiva: dependiendo del tipo de fruto, se buscan frutos atractivos con “russeting” completo en el caso de poseerlo, peras con una chapa de color rojo, peras verdes/amarillas de piel muy limpia, o peras asiáticas con una coloración roja brillante en toda su superficie. Se buscan calibres medios, con formas piriformes y homogeneidad entre frutos, aunque cualquier innovación en la presentación de los frutos puede ser interesante.
- Excelente calidad organoléptica: se buscan texturas fundentes (mantecosa) en el caso de la pera Europea, o texturas crocantes y jugosas en híbridos y en pera asiática. Además se exploran nuevos sabores y aromas, y alto contenido en sólidos solubles.
- Elevada aptitud poscosecha, con baja susceptibilidad a los desórdenes producidos durante la conservación, y con larga vida útil.



4.3. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

A pesar de la importancia del cultivo a nivel mundial, se han llevado a cabo menos estudios de investigación en peral que en otros miembros de la familia de las Rosáceas como manzano, melocotonero y fresa. A pesar de ello, recientemente se ha publicado la secuencia completa del genoma de la pera asiática (*Pyrus x bretschneideri*) (Wu et al., 2012), seguido de la publicación de la variedad de pera europea 'Barlett' (Chagné et al., 2014). Estos mapas abren oportunidades para el desarrollo de plataformas de genotipado de alta densidad como genotipado por secuenciación ("genotyping-by-sequencing GBS"), utilizadas actualmente para la construcción de mapas, selección genómica, análisis de asociación en genoma completo ("genome-wide association" (GWA), y estudios de diversidad genética.

En cuanto a la utilización de marcadores moleculares para aumentar la eficiencia de la mejora en pera, todavía son muy escasos los avances en esta especie. Solamente hay descritos dos marcadores ligados a caracteres de interés en mejora, para la susceptibilidad a mancha negra y a moteado, ambos descritos en pera asiática.

Muy recientemente, se ha realizado un estudio de diversidad genética, filogenia y estructura poblacional mediante GBS en pera asiática y europea, en el que se han identificado más de 15.000 marcadores tipo SNP de alta calidad (Kumar et al., 2017). En este estudio también se ha utilizado el GWA con el fin de identificar zonas del genoma que controlan importantes características del fruto. Sin embargo, los marcadores con mayor efecto encontrados en este estudio solamente explican menos de un 10% de la variabilidad fenotípica, lo que indica el carácter complejo y poligénico de los caracteres de interés.

4.4. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN MEJORA

Comparado con manzano el esfuerzo realizado en mejora de peral para bajas necesidades de frío ha sido menor. Dentro del género *Pyrus*, *P. pashia*, *P. kawakamii* y *P. calleriana* son las especies mejor adaptadas a climas cálidos (Bell, 1992). *P. bretschneideri* presenta unas necesidades en frío entre 300-500 CU (Hauagge y Cummins, 2000). *P. kawakamii* se comporta como perennifolia en el sur de California pero es parcialmente caducifolia en zonas más frías. En España, variedades locales como 'Blanquilla' ('Agua de Aranjuez') y 'Castell' referidas como de bajas necesidades en frío, producen aceptablemente en zonas con un mínimo de 800 CU. La variedad italiana 'Coscia' se puede cultivar en el norte de África. 'Carrick' (derivada de 'Seckel') y obtenida en EEUU tiene unos requerimientos sobre 500 CU en el sur del Brasil.



Con el objeto de incorporar resistencia al fuego bacteriano en variedades europeas de peral, se han introducido bajas necesidades en frío invernal a través de su cruzamiento con perales asiáticos. Este germoplasma ha sido la base para el desarrollo de perales con bajas necesidades. Se han obtenido avances importantes en tipos europeos de pera en el rango de 200-400 CU en Florida (EEUU) y Brasil. Sin embargo, han sido observados algunos problemas en este grupo de cultivares como producción inconsistente, esterilidad de polen, pardeamiento del fruto tras su maduración, susceptibilidad a la manipulación y corta vida en expositor. En China se ha realizado mejora de perales para su adaptación a condiciones subtropicales del sur.

En el programa de mejora de variedades de peral del IRTA-PFR-FruitFutur para realizar cruzamientos controlados, se han utilizado selecciones neozelandesas de PFR, con base genética asiática, y se han seleccionado individuos en las cálidas condiciones de cultivo del Valle del Ebro obteniéndose buenos resultados de forma, coloración, sabor y textura. Se desconocen sus necesidades de frío, pero por su origen genético, en algunas de estas selecciones serán probablemente bajas.

5. Melocotonero

5.1. INTRODUCCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

El melocotonero es la especie de fruta dulce que ha liderado en la última década las producciones y exportaciones españolas de fruta dulce. Las elevadas producciones de los últimos años constituyen un excedente estructural que unido a la disminución del consumo ha provocado crisis reiteradas de precios. España es actualmente el primer productor europeo y el primer exportador mundial de melocotón. Esta especie contaba en 2017 con una superficie cultivada de 81.300 ha, frente a las 60.600 ha de 1985, y una producción media para el período 2015-2017 de 1.382.000 t anuales (Figuras 2 y 3). Su cultivo se encuentra más deslocalizado en comparación con las especies de pepita. El Valle del Ebro sigue siendo la principal área productora, liderada por Aragón y Cataluña, seguidos por Murcia con una importancia relevante, Extremadura, Andalucía y Valencia. La expansión del cultivo se ha producido paralelamente al descenso de la superficie de manzano y de peral. La razón del mismo se basa en varios factores. En primer lugar, se trata de una especie bien adaptada a climas secos y calurosos que es donde el cultivo se sitúa principalmente. En dichas condiciones la incidencia de enfermedades es menor y la calidad del fruto no se ve afectada, incluso mejora. En segundo lugar por un menor coste de la mano de obra en España, lo que unido a elevadas



producciones confiere una mayor competitividad frente a otros países productores. Finalmente, por contar el sector con una infraestructura de poscosecha moderna y adaptada a los mercados de exportación.

La mejora varietal en esta especie ha sido extraordinaria con más de 300 variedades registradas en España en tan solo 10 años y más de 100 introducidas a escala comercial que cubren un amplio período de recolección (Iglesias, 2017). El grupo varietal con mayor innovación ha sido la nectarina amarilla ('Big Top' es la referencia indiscutible), seguido por el melocotón rojo y el melocotón plano con un importante desarrollo en tan solo 10 años. La mejora realizada tanto por programas de mejora nacionales como extranjeros, se ha dirigido a múltiples aspectos como son la ampliación de los calendarios de recolección, la mejora de la presentación de los frutos (color, calibre y forma), la mejora de la calidad y de la producción, y en un lugar no menos importante la adaptación a las menores disponibilidades en frío invernal. La introducción de resistencias frente a enfermedades ha sido hasta ahora poco importante, dado que no se dispone todavía de variedades para ser introducidas a escala comercial.

El futuro del melocotonero en España, y tras años de crecimiento continuado, se encuentra en un periodo difícil por el excedente productivo estructural, el bajo consumo y las crisis de precios recurrentes. Superar esta situación requiere un mejor ajuste entre oferta y demanda, una ordenación de la oferta y de la recuperación del consumo. Las excelentes condiciones edafo-climáticas y el menor coste de la mano de obra respecto a Europa continuarán siendo factores muy favorables para el buen posicionamiento nacional e internacional del melocotón español frente a otros países productores. Desde el punto de vista de innovación varietal, la mejora deberá centrarse en la obtención de variedades más plásticas y con mayor adaptabilidad frente al cambio climático, sin olvidar la introducción de resistencias, su buen comportamiento agronómico y la calidad del fruto.

5.2. OBJETIVOS DE MEJORA

El melocotonero (*Prunus persica*) es una especie con una base genética estrecha pero gran diversidad fenotípica, utilizada tanto para fines ornamentales como para alimentación. La comercialización del melocotón en los últimos años impulsa el desarrollo de nuevas tipologías de frutos para diversificar las opciones de mercado. De hecho, el melocotonero es la especie frutal en la que en las últimas décadas se ha producido la mayor innovación varietal como resultado de los más de 45 programas de mejora genética en curso, entre los cuales, más de 10 se encuentran en España. Durante el



año 2015, se introdujeron en todo el mundo 330 nuevas variedades de melocotón de consumo en fresco (carne fundente), 260 de nectarina y 48 de melocotón de conserva (carne no fundente). El deseado aumento del consumo de melocotón depende del marketing, de la consistencia en la calidad y de su coste. El mercado actual implica globalización y necesidad de producto durante todo el año, y subraya la importancia de factores como los beneficios del consumo de fruta en la salud y la seguridad alimentaria. Todos estos factores han modificado los objetivos de mejora actuales. Actualmente relacionados con la climatología, los esfuerzos se centran en los siguientes objetivos:

- Adaptación a las condiciones medioambientales de cada zona de cultivo (particularmente al clima con falta de frío invernal)
- Floración tardía para evitar el riesgo de heladas primaverales
- Adaptación a condiciones de ambientes tropicales y subtropicales, especialmente al estrés hídrico y altas temperaturas
- Por su relación con las condiciones agroclimáticas, también se trabaja en la resistencia – tolerancia a plagas (pulgón *Myzuz persicae*, trips *Frankiniella* sp, mosca de la fruta *Ceratitis capitata principalmente*), enfermedades fúngicas *Monilinia* sp., Oidio *Sphaerotheca pañosa*, Abolladura *Taphrina deformans*) y bacterianas (*Xanthomonas* sp.), que permitan reducir o eliminar la aplicación de productos fitosanitarios para su control.

Otros objetivos

- Extensión de la temporada de cosecha con variedades muy tempranas y muy tardías
- Arquitectura del árbol, búsqueda de portes adecuados que faciliten las labores culturales y reduzcan el coste del cultivo
- Nuevas tipologías de fruto, que permitan diversificar el producto en el mercado (frutos albinos, frutos planos tipología sanguina, frutos con hueso comestible, etc.)
- Mejor aptitud para la poscosecha (menor susceptibilidad a desórdenes fisiológicos durante conservación y mayor vida útil)
- Mayor calidad organoléptica (mayor dulzor, texturas crujientes), nuevos sabores, etc.)
- Mayor valor nutricional, con mayores niveles de fitoquímicos beneficiosos (frutos con pulpa roja con mayor contenido de antioxidantes, mayores contenidos de vitamina C, etc.)

5.3. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

La disponibilidad pública de la secuencia genómica del melocotonero (Verde et al., 2013), y la utilización de las nuevas tecnologías de secuenciación masiva (Badenes et al., 2016), han dotado a los programas de mejora tradicional de abundantes bases de datos genómicos y de nuevas y potentes herramientas biotecnológicas.

Estas metodologías, en combinación con estudios de genética clásica, análisis de mutantes y caracterización de caracteres cuantitativos (QTL) han sido empleadas con éxito en la identificación de factores implicados en la regulación de los cambios fenológicos y la tolerancia a los estreses abióticos, ambos importantes determinantes de la capacidad de adaptación a climas cambiantes de árboles de climas templados como el melocotonero.

El melocotonero ha sido ampliamente utilizado en el estudio de la latencia estacional de la yema, considerándose un modelo para otras plantas arbóreas de climas templados. La salida de latencia ocurre después de la percepción cuantitativa de una determinada acumulación de frío dependiente del genotipo, y de este modo facilita la adaptación de cada genotipo a unas condiciones climáticas específicas. La variación de las condiciones climáticas afectará consecuentemente a la adaptación y productividad de melocotoneros y demás frutales por razones fenológicas, y no sólo ambientales (Ríos et al., 2016).

El análisis genético del mutante de melocotonero “*evergrowing - Evergreen*” (Rodríguez et al. 1994), que no deja de crecer por completo durante el invierno, ha facilitado la identificación de los genes “*Dormancy-Associated Mads-box*” (*DAM*) 1-6, una familia génica de 6 factores de transcripción muy similares, cuya inactivación por delección causa la mutación “*evergrowing*” (Bielenberg et al., 2008). La expresión de los genes *DAM* correlaciona con el estado de latencia de las yemas (Jiménez et al., 2010; Leida et al., 2012a). En particular, *DAM6* reduce su expresión en yemas que han salido de latencia y relacionadas con una serie de modificaciones epigenéticas similares a las observadas en el proceso de vernalización en *Arabidopsis thaliana* (Leida et al., 2012b; Ríos et al., 2014).

El análisis de caracteres cuantitativos o QTLs ha confirmado la presencia de un factor genético determinante de la fecha de floración y las necesidades en frío para la brotación en un locus cercano a la posición de los genes *DAM*, además de otros presentes en otros cromosomas (Fan et al., 2010; Romeu et al., 2014; Zhebentyayeva et al., 2014; Hernández Mora et al., 2017).

Del mismo modo que los estudios fenológicos y los factores de la latencia citados anteriormente, los estudios de tolerancia al estrés hídrico y por temperatura también



se han beneficiado del ensamblaje del genoma del melocotonero. La disponibilidad de la secuencia del genoma ha permitido la identificación y descripción completa de la familia de las dehidrinas de melocotonero (Bassett et al., 2015). Además de las dehidrinas, otros genes que codifican proteínas “Late Embryogenesis Abundant” (LEA) y posibles reguladores de la señal de respuesta al estrés hídrico han sido evaluados mediante PCR cuantitativo como posibles biomarcadores de tolerancia a la falta de agua en patrones (Bielsa et al., 2016).

Los genes identificados mediante técnicas transcriptómicas como la hibridación de micromatrices y el RNA-seq pueden ser considerados como candidatos para la mejora de la tolerancia al estrés hídrico mediante aproximaciones biotecnológicas. La técnica RNA-Seq se ha empleado con éxito para el análisis de expresión génica diferencial a escala genómica en hojas y raíces de plantas del patrón GF677 sometidas a estrés hídrico, ofreciendo nuevas claves sobre la regulación de la respuesta al estrés (Ksouri et al., 2016). Por otro lado, el análisis transcriptómico de yemas latentes de melocotonero también ha dado lugar a la identificación de posibles genes de tolerancia al estrés ambiental (Leida et al. 2012b; Lloret et al., 2017). En particular, el gen *PpSAP1* que codifica una “Stress-Associated Protein” (SAP) expresada en yema latente disminuye la pérdida de agua en condiciones de desecación mediante sobreexpresión en ciruelo transgénico (Lloret et al., 2017b). Así mismo, la secuenciación masiva de las especies de miRNA presentes en hoja y raíz de melocotonero sometido a estrés hídrico ha mejorado nuestro conocimiento sobre la regulación de los procesos de tolerancia mediante RNA no codificante en esta especie (Eldem et al., 2012). Un estudio posterior ha confirmado la síntesis diferencial de miRNAs bajo estrés hídrico, a través de la comparación de genotipos de melocotonero, almendro y el cruce interespecífico entre melocotonero y almendro ‘GN 15’ (Esmaeili et al., 2017).

5.4. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN MEJORA

En relación a las necesidades en frío invernal, el melocotonero sea posiblemente el frutal que mayor diversidad fenotípica presenta, lo que le permite a diferencia de otras especies ser cultivado en amplias zonas del planeta con notables diferencias climáticas situadas entre las latitudes 30° y 45° norte y sur, siendo los fríos invernales y primaverales el factor limitante en otras latitudes (Scorza and Sherman, 1996). Existe un mutante ‘Evergreen’, controlado por un único gen ‘*evg*’ homocigótico y re-



cesivo, encontrado en genotipos de México, cuyas yemas vegetativas terminales no cesan su crecimiento, salvo cuando mueren por efecto de las bajas temperaturas. (Rodríguez et al. 1994).

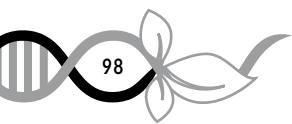
Por otra parte, la salida del letargo invernal es un proceso complementario mediante la acción del frío y el calor (Dennis Jr. 2003), el melocotonero presenta el interés de tener variedades con similar exigencia en frío y diferentes necesidades en calor, lo que les permite ser cultivadas en zonas con poco frío invernal y alto riesgo de heladas primaverales.

Para mejorar la utilidad de estas ventajas adaptativa y facilitar el conocimiento sobre el uso de los recursos genéticos disponibles, en la Tabla 1 se muestra la agrupación del germoplasma de melocotonero por necesidades en frío invernal según el modelo 'Utah' (C.U., 'chill units', Richardson et al, 1974). En la actualidad, en las condiciones climáticas del sur de España, se necesitan aproximadamente entre 15 y 20 días para pasar de un grupo varietal a otro.

Tabla1. Agrupación de las variedades de melocotonero según sus exigencias en frío invernal. (C.U. unidades frío, modelo 'Utah', Richardson et al., 1974).

Grupo de exigencia	Necesidades frío (C.U.)	Denominación
GE1	Menores de 250	Muy Bajas. (VLC)
GE2	250 - 500	Bajas (LC)
GE3	500 - 750	Medio Bajas (ML)
GE4	750 - 1.000	Medias (M)
GE5	1000 - 1250	Medio Altas (MH)
GE6	1250 - 1500	Altas (H)
GE7	Superiores a 1.500	Muy alta (VH)

Liu et al. (2012) consideran a la zona de China comprendida por el Este del Tíbet, oeste de la provincia de Sichuan y el noroeste de la de Yunnan, como el principal centro del origen del melocotonero. En el siglo II fue introducido en Persia desde Gansu, provincia de Xinjiang a lo largo de la ruta de la seda y posteriormente extendido por el área mediterránea. Desde España y Portugal en el siglo XVI, los exploradores españoles y portugueses llevaron el material vegetal a América central y Sudamérica que ha servido de fuente para el desarrollo en aquellas zonas de variedades de melocotonero de bajas exigencias en frío (Topp et al. 2008). La mayoría de las zonas de origen del melocotonero en China son frías, por lo que las necesidades en frío de sus variedades son elevadas. Así en un estudio con 304 cultivares de origen chino de diferentes bancos de germoplasma, muchas de ellos presentaron elevadas necesidades de frío, entre 750 y 950 horas frío (< 7C) (Liu et al. 2012).



Los recursos genéticos chinos poco exigentes en frío invernal encuadrados en los grupos 1 a 3 de la Tabla 1, conocidos en las áreas del sur de China como tipo ‘miel’ (honey) y ‘chatos’ (pentao), donde están bien adaptados a condiciones climáticas subtropicales, sirvieron de base genética para las primeras obtenciones “low chill” (“LC”) en el sur de California (Cullinan, 1937). En los inicios del siglo XX en la zona fría transicional de California: USDA, Palo Alto, Armstrong Chaffey junior College y en la Universidad de California en Riverside se iniciaron los primeros programas de mejora “LC” (Byrne, 2005), con materiales originales de Yunnan (China) (Liu et al. 2012). A finales de los años cuarenta e inicios de los cincuenta, comenzó la mejora “LC” en la universidad de Florida (EEUU) y en Brasil en Sao Paulo y Pelotas. Los programas brasileños usaron mayoritariamente sus materiales autóctonos seleccionados a lo largo del tiempo desde la introducción del melocotonero por los portugueses (Topp et al. 2008). Posteriormente y hasta fechas recientes, las variedades ‘LC’ de Estados Unidos de América, se obtuvieron en programas públicos de Florida (Universidad), Georgia (USDA) y California (además de programas privados), basados en germoplasma de otros programas de materiales autóctonos de Sudamérica, principalmente Brasil (Raseira et al. 1992) y México (Pérez, et al. 1993), que además de aportar bajas exigencias en frío invernal, se beneficiaron con la elevada calidad organoléptica de los frutos autóctonos mexicanos y brasileños (Byrne, 2005).

Actualmente, la mayoría de los recursos genéticos “LC” disponibles son variedades comerciales, procedentes de programas de mejora situados en las principales áreas cálidas productoras mundiales o algunas variedades libres de áreas cálidas de Brasil (Raseira et al. 1992), México (Pérez, et al. 1993) o las Islas Canarias (Rodríguez, J., p.c. 2012), zonas donde todavía se pueden encontrar en cultivo comercial melocotoneros sin injertar o “seedlings”. En las condiciones ambientales del sureste español, las variedades libres “LC” de México, Brasil o Islas Canarias, cultivadas junto a las variedades comerciales o chinas “LC” presentan mayor tolerancia (en algún caso muy alta) a enfermedades.

La mayoría de especies silvestres potencialmente interesantes en la mejora genética del melocotonero (con quien son interfértiles) están presentes en las regiones del norte, oeste, centro y este de China, áreas con abundante frío invernal, por lo que estas especies no pueden ser usadas de forma inmediata en la obtención de descendencia de medias y bajas necesidades. *Prunus mira* Koehne, está ampliamente extendida en el Tíbet, principalmente en las llanuras situadas a 3000 m de altitud, donde es muy tolerante a la sequía. *Prunus kansuensis* Rehd, se distribuye entre las latitudes norte



32° 40' y 36° 50', desde los 600 a 2000 m de altitud, tiene raíz roja muy resistente a los nemátodos, así como al frío y a la sequía (Liu et al. 2012), *Prunus davidiana* Franch, es resistente al frío, sequía, salinidad- alcalinidad y pulgón verde, pero no al encharcamiento, y se cruza fácilmente con el melocotonero, pero da una descendencia de fruta de muy baja calidad (Liu et al. 2012). *Prunus potaninii* Batal (Liu et al., 2012, Xiong-wei et al. 2013) y *Prunus ferganensis* (Wang, 1985) son usados como patrones por su resistencia a la sequía. Fuera de estas regiones, otras especies silvestres con las que el melocotonero se puede hibridar aportando menores exigencias en frío invernal, como *Prunus cerasifera* Ehrh, o *Prunus salicina* Lindl, etc., presentan la limitación al producir híbridos estériles (Scorza and Okie, 1991).

6. Ciruelo

6.1. INTRODUCCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Dentro del género *Prunus*, los ciruelos son los más diversos taxonómicamente, comprendiendo alrededor de 40 especies que engloban más de 6.000 variedades, adaptadas a un amplio rango de condiciones climáticas y edáficas (Ramming y Cociu, 1991; Blazek, 2007). Dentro de esta gran diversidad, las principales variedades cultivadas de ciruelos pertenecen a dos especies principales, el ciruelo Europeo (*Prunus domestica* L.) (hexaploide) y el ciruelo Japonés y sus híbridos (*Prunus salicina* Lindl.) en su mayoría diploides.

La producción de ciruelas a nivel mundial se concentra principalmente en Asia (67%), Europa (22%) y América (8%). Los principales países productores son China, (unas 6.660.000 t, más de la mitad de la producción mundial), Rumanía, Serbia, Estados Unidos, Turquía, Chile, Irán, India, España, Italia y Francia (FAOSTAT, 2018). En 2016, en España se produjeron 222.000 t de ciruelas en una superficie de 16.300 ha, situándose como segundo país productor de la Unión Europea con cerca del 15 % de la producción. Los principales países exportadores de ciruela fresca son Chile, España, Sudáfrica, Estados Unidos e Italia. En los últimos años, España ha exportado más de 90.000 t de media por un valor de más de 120 millones de dólares, principalmente a países de la Unión Europea (>50.000 t) como Reino Unido, Alemania, Portugal, Francia e Italia aunque también destacan las exportaciones a Brasil con más de 11.000 t (FAOSTAT, 2018). Estos datos se refieren a ciruelo europeo y ciruelo japonés conjuntamente, ya que no existen estadísticas oficiales de cada especie de ciruelo por separado. El cultivo del ciruelo está aumen-

tando a nivel mundial, con un incremento de su superficie de un 15% en los últimos 10 años (de 2.304.118 a 2.651.122 ha), aunque existen diferencias entre continentes; aumenta la superficie cultivada en Asia y África, se mantiene en Europa y Sudamérica, y disminuye en Norteamérica.

En España se estima que el ciruelo japonés ocupa más del 65 % de la superficie destinada al ciruelo, siendo el resto ciruelo europeo, principalmente del grupo de las 'Reina Claudia' (Rodrigo y Guerra, 2014). La importancia de la producción española de ciruela se debe principalmente a la buena adaptación de las variedades de ciruelo japonés a nuestras condiciones climáticas. Un aspecto muy destacable es la posibilidad del cultivo de variedades precoces, que permiten producciones en mayo y junio, evitando en gran medida la competencia en los mercados europeos, con las consiguientes ventajas económicas que ello conlleva. Aproximadamente la mitad de la producción (48%) se concentra en Extremadura con 92.700 t en 2016 en 6.508 ha, principalmente ciruelas de tipo japonés. Otras CCAA productoras de ciruelas son Andalucía (39.876 t (21%) en 2.382 ha) y Región de Murcia (21.227 t (11%) en 928 ha), donde también se cultivan principalmente variedades de tipo japonés, Aragón (9.337 t (5%) en 1.094 ha), y Galicia (8.849 t (5%) en 623 ha), donde también se cultivan ciruelas de tipo europeo. El destino principal de la producción nacional es el consumo en fresco, destinándose entre el 5 y el 10% para la elaboración de mermeladas y ciruelas de secado (MAPAMA, 2018).

El futuro del ciruelo en España presenta diferentes perspectivas dependiendo de CCAA. La tendencia en los últimos 10 años es un descenso de superficie cultivada a nivel nacional, (de 21.000 a 16.344 ha), pero con importantes diferencias entre CCAA. Mientras Extremadura aumenta en producción y área cultivada, en Andalucía, Aragón, Región de Murcia y Comunidad Valenciana la superficie está disminuyendo (MAPAMA, 2018).

La estructura varietal también difiere entre las dos especies. En ciruelo europeo, la estructura varietal se mantiene sin cambios significativos, centrándose en variedades tradicionales, principalmente en el grupo de las 'Reina Claudia', destacando la variedad 'Reina Claudia Verde', que por su calidad alcanza precios más altos que el resto de variedades. En Ciruelo japonés se está produciendo una importante renovación varietal por la intensa actividad de los programas de mejora. Se introducen nuevas variedades de diferentes países, muchas de las cuales presentan características interesantes y pueden ampliar el calendario actual de maduración en España (Guerra y Rodrigo, 2017). También destaca la creciente presencia de híbridos de ciruelo japonés



y albaricoquero, que han dado como resultado nuevas frutas muy interesantes para el mercado nacional e internacional como plumcots, pluots o apriums. A pesar de que los primeros híbridos se obtuvieron hace décadas, es ahora cuando están empezando a tener importancia comercial.

6.2. OBJETIVOS DE MEJORA

Los objetivos de los diferentes programas de mejora del ciruelo que se desarrollan a nivel mundial están condicionados por factores tales como el uso final de la ciruela, las condiciones climáticas y las necesidades específicas de las áreas de cultivo. Las ciruelas de tipo japonés se utilizan principalmente para el consumo en fresco, siendo cada vez más estudiadas y consideradas sus características nutraceuticas por el carácter antioxidante de determinadas variedades (Fanning et al., 2014). Las ciruelas europeas presentan distintos usos para industria además del consumo en fresco, como enlatadas, deshidratadas, procesadas para cocinar o destiladas en brandy (Ramming y Cociu, 1991). Ello condiciona los objetivos de mejora y los criterios de selección de cada especie.

La adaptación a las condiciones climáticas donde se van a cultivar las nuevas variedades es uno de los objetivos prioritarios de su mejora. La baja acumulación de frío en áreas cálidas y el riesgo de heladas en áreas frías determinan los objetivos de mejora. En general, las variedades de ciruelo Europeo se caracterizan por elevadas necesidades de frío y están adaptadas a climas templados fríos, mientras que las especies de ciruelo Japonés se cultivan principalmente en regiones más cálidas debido a sus menores requerimientos de frío. La mayoría de los programas de mejora de ciruelo europeo desarrollados en Europa Central y Oriental (Alemania, Serbia, Rumania, Bulgaria, Bosnia y Herzegovina y Polonia), Federación Rusa, Ucrania, Canadá y Norte de Estados Unidos consideran la resistencia a las heladas y la floración tardía como objetivos prioritarios (Topp et al., 2012; Rodrigo y Guerra, 2014). En el caso del ciruelo japonés, la satisfacción de las necesidades de frío es un factor clave para garantizar un comportamiento vegetativo y productivo adecuado en áreas cálidas donde la acumulación de frío es escasa. En estas condiciones, las bajas necesidades de frío de las variedades es uno de los principales objetivos de los programas de mejora, como el caso de los desarrollados en Sudáfrica, Australia, Brasil, Chile y Florida y California en EEUU (Sherman et al., 1992; Topp et al., 2012; Rodrigo y Guerra, 2014), así como el reciente programa de mejora desarrollado en Murcia, España (Ruiz et al., 2015). En este contexto, los nuevos escenarios climáticos previstos por efecto del cambio climático deben ser considerados a corto, medio y largo plazo.

Otros objetivos considerados en los programas de mejora del ciruelo son los siguientes:

- Productividad. Una producción elevada y regular depende de factores tales como la adaptación climática, factores genéticos y ambientales, factores de biología floral y manejo agronómico. La mayoría de ciruelas japonesas y algunas europeas son autoincompatibles (Guerra et al., 2009). La autocompatibilidad floral es un factor clave para garantizar un nivel adecuado de productividad, y por tanto debe ser un objetivo básico.
- Ampliación del calendario productivo. Es un objetivo importante, especialmente para la ciruela japonesa en áreas cálidas de países como Sudáfrica, Australia, España y Estados Unidos, donde algunas variedades podrían ser recolectadas entre mayo y junio. También la obtención de variedades extratardías (septiembre, octubre) tiene un gran valor para ampliar la oferta en el calendario.
- Calidad del fruto. Los objetivos de mejora dependen del uso final (consumo en fresco, secado o procesado). Para ciruelas a consumir en fresco, el calibre, firmeza, el color atractivo y la calidad organoléptica (sabor, aroma, jugosidad) son los factores más importantes a considerar en los programas de mejora. Ciruelas con una elevada coloración son cada vez más demandadas, de piel roja, violácea o negra, y pulpa rojo intenso, que además está asociado a un elevado contenido de compuestos antioxidantes, beneficiosos para la salud.
- Buena aptitud poscosecha, fundamental para la exportación a mercados internacionales.
- Resistencia a plagas y enfermedades. Los esfuerzos de mejora se centran en las cinco principales enfermedades que afectan al ciruelo: la enfermedad de la sharka causada por plum pox virus (PPV); podredumbre marrón, causada por el hongo *Monilinia* spp.; chancro bacteriano causado por *Pseudomonas syringae* van Hall; mancha bacteriana causada por *Xanthomonas campestris* pv. *Pruni*; y escaldadura de la hoja del ciruelo, causada por la bacteria *Xylella fastidiosa*.

6.3. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

La secuenciación y ensamblaje del genoma de *Prunus domestica* está en curso y en *Prunus salicina* están disponibles los primeros datos del transcriptoma (Jo et al., 2015). Muy recientemente, la tecnología de genotipado por secuenciación (“*genoty-*



ping by sequencing”, GBS) ha permitido generar 2 mapas genéticos de ciruelo Japonés saturados con 981 SNPs, y el análisis de QTLs ha permitido identificar algunas regiones del genoma ligadas a caracteres de interés tales como fecha de maduración, color de piel de fruto, índice de degradación de la clorofila y peso del fruto (Salazar et al., 2017). Este es el paso previo al desarrollo de marcadores moleculares específicos para su utilización en mejora asistida en los programas de mejora.

En ciruelo europeo todavía no se dispone de marcadores moleculares para selección asistida, por ejemplo para resistencia a sharka, que puedan aplicarse en programas de mejora genética, debido a la hexaploidía de esta especie. Únicamente los marcadores tipo microsatélites (SSRs) se han aplicado con éxito para la identificación molecular (“*fingerprinting*”) de genotipos de ciruelo Europeo (Decroocq et al., 2004). Sin embargo, *Prunus domestica* se ha propuesto como un sistema modelo para la genómica funcional en *Rosaceae* (Petri et al., 2008).

En el caso de ciruelo Japonés, se utiliza de forma rutinaria marcadores moleculares para la identificación de alelos-S de compatibilidad, que ha permitido describir 42 alelos de S-RNasa y 15 alelos de SFB, y establecer 26 grupos de incompatibilidad en este cultivo (Guerra y Rodrigo, 2015).

6.4. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN MEJORA

Los ciruelos japoneses originales y de línea pura se agrupan dentro de la denominación *P. salicina* Lindl., de los que se conservan algunas variedades como ‘Kelsey’ o ‘Abundance’, que fueron utilizadas en los primeros cruzamientos de mejora realizados por L. Burbank a finales del siglo XIX. Sin embargo, las variedades actuales son híbridos complejos de *P. salicina* con distintas especies de ciruelos diploides como *P. simoni* Carriere, *P. americana* Marshall, *P. nigra* Aiton, *P. besseyi* Bailey *P. angustifolia* Marshall, *P. munsoniana* W. Wight and Hedrick, *P. hortulana* L.H. Bailey, *P. mexicana*, *P. spinosa*, *P. ussuriensis*, *P. gymnodonta*, *P. umbelata* Elliott, *P. maritima* Marshall o *P. geniculata* (Burbank, 1914; Hedrick, 1911; Okie y Handcock, 2008).

En ciruelo japonés se está produciendo una incesante renovación varietal en los últimos años. En el periodo 1995-2016 se inscribieron en la CPVO (*Community Plant Variety Office*) 113 nuevas variedades de ciruelo japonés y 49 variedades de ciruelo europeo, si bien un estudio realizado por Fideguelli y Della Strada (2009) registra 509 nuevas variedades de ciruelo japonés y 273 variedades de ciruelo europeo en el periodo 1980–2008. En los listados *Brooks and Olmo* de la última década y recogidos

en HortScience (2006-2016) se han descrito 16 variedades europeas, 1 ciruelo ornamental, 72 híbridos y 44 ciruelos japoneses.

Las nuevas variedades presentan características interesantes en diferentes aspectos y pueden suponer una ampliación del calendario actual de maduración a nivel nacional, lo cual puede permitir la diversificación del cultivo y la apertura de nuevas vías de comercialización (Rodrigo y Guerra, 2014). Sin embargo, se desconoce el comportamiento agronómico de muchas de ellas fuera de sus países de origen, por lo que es necesario realizar ensayos en cada zona de cultivo para determinar su grado de adaptación y su comportamiento en las nuevas condiciones. Las nuevas variedades introducidas en los últimos años, dependiendo del programa de mejora, presentan caracteres de adaptabilidad concretos en relación a la climatología de su zona de obtención. Así, por ejemplo en relación a las necesidades de frío para la salida del letargo, existe un abanico amplio de necesidades que oscilan desde 200 horas frío ('Red Beaut') hasta 1000 horas frío ('Bella Zee') (Guerra y Rodrigo, 2015), lo cual genera un amplio rango de áreas potenciales para su cultivo a nivel nacional.

La especie ciruelo japonés aglutina gran diversidad genética resultado de cruza-mientos entre distintas especies de ciruelos diploides, que ponen a disposición del mercado un elevado número de variedades de ciruelo con distintas tipologías y características. En los últimos años, también se está realizando esfuerzos en la obtención de híbridos interespecíficos, que aportan nuevas tipologías de frutas, procedentes de cruzamientos con otras especies próximas, especialmente albaricoquero (plumcots), pero también con cerezo o melocotonero.

Los plumcots ya se mencionaban en 1911 en el libro de Hedrick "The plums of New York" donde hacía referencia a híbridos entre *P. triflora* y *P. armeniaca* obtenidos por Burbank en 1909 que él mismo describía como "una fruta completamente nueva que promete grandes cosas para las localidades donde se pueda cultivar". En la actualidad varios programas de mejora utilizan diferentes frutales del género *Prunus* para obtener lo que se registra como "plum hybrids."

7. Albaricoquero

7.1. INTRODUCCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

La mayoría de los albaricoqueros cultivados pertenecen a la especie *Prunus armeniaca*, que se cultiva comercialmente en todo el mundo (Mehlenbacher et al. 1991; Faust y col. 1998). El albaricoquero es el tercer frutal de hueso en importancia tras melo-



cotonero y ciruelo, con una producción mundial de 3.881.204 toneladas (FAOSTAT, 2016). La especie albaricoquero se cultiva en todo el mundo, pero la mayor parte de la producción se concentra en el área mediterránea. Los principales productores de albaricoques son Turquía, Uzbekistán, Irán y Argelia, si bien esta producción está destinada casi en su totalidad al mercado de albaricoque seco. La segunda zona importante productora incluye los países europeos que bordean el mar Mediterráneo, principalmente Italia, España, Francia y Grecia, donde la producción se destina al mercado en fresco (FAOSTAT, 2016). En España la superficie cultivada de albaricoquero se sitúa en torno a las 25.000 hectáreas, con una producción de 154.000 toneladas (MAPAMA, 2016), siendo el primer exportador mundial de albaricoque en fresco. La producción nacional se concentra principalmente en la Región de Murcia, que aglutina el 60% de la producción (93.000 toneladas), Aragón, Comunidad Valenciana y Castilla La Mancha, y en menor medida Cataluña, Extremadura y Andalucía.

Una parte importante del cultivo en Murcia y Comunidad Valenciana está situado en áreas cálidas de inviernos muy suaves, donde frecuentemente la acumulación de frío invernal es insuficiente incluso para satisfacer las necesidades de las variedades de floración más precoz. El cambio climático tiende al calentamiento atmosférico por el aumento de las temperaturas. En estas condiciones, las variedades que resultan más afectadas por el cambio climático son las localizadas en áreas límite para la satisfacción de sus necesidades de frío invernal, cultivadas en esas zonas buscando una maduración más precoz. Al aumentar las temperaturas será más frecuente que no satisfagan sus necesidades, con el consiguiente perjuicio para su adaptación, productividad e incluso para su precocidad. Si se quiere seguir cultivando estas variedades, será preciso establecerlas en zonas más frías, zonas que según avance el cambio climático adquirirán características similares a las que hoy albergan este cultivo. Por otra parte, para seguir cultivando esta especie en las áreas tradicionalmente precoces, cuyos agricultores ya tienen experiencia en el manejo del cultivo, será necesario obtener mediante mejora genética, nuevas variedades de calidad, con menores necesidades de frío invernal que las actualmente cultivadas, tarea difícil en albaricoquero, debido a la escasez de recursos genéticos de bajas necesidades de frío invernal. El desarrollo de bioestimulantes eficientes y autorizados para la ruptura del letargo invernal, es una segunda vía de interés para abordar el problema.

Las perspectivas de futuro en España parecen favorables ya que la demanda y las exportaciones han ido creciendo consistentemente en los últimos años. Los precios han sido remuneradores en prácticamente todas las fechas de recolección, aunque especialmente en las de más precoces ya que en esa época es mínima la competencia

de otros países. Como contrapartida a los buenos resultados económicos de las variedades de maduración temprana, existe el riesgo de la excesiva concentración de esta producción, ya que habría que acompañar el ritmo de crecimiento de la oferta al de la demanda. Los efectos beneficiosos para la salud del consumo de frutas, particularmente del albaricoque, la creciente demanda de albaricoque troceado para industria en alimentos tales como yogures, y las posibilidades de aumento del consumo nacional, son factores positivos para su cultivo.

Una parte muy importante de la producción de albaricoque en España es de maduración precoz o muy precoz. Ello permite llegar a los mercados en una época en que países competidores, por razones climáticas, no pueden acceder, propiciando la obtención de mejores precios de venta. Esta producción precoz requiere inviernos muy suaves y variedades de muy bajas necesidades de frío invernal. El cambio climático va a determinar un incremento de las temperaturas que conllevará una menor acumulación de frío invernal, lo que dificultará la satisfacción de las necesidades de frío de las variedades precoces hoy cultivadas, que se han situado en áreas límite buscando precocidad. En estos nuevos escenarios climáticos, las actuales variedades precoces será preciso implantarlas en áreas más frías que con el cambio climático pasarán a ser adecuadas para obtener precocidad.

Por su parte, en las áreas cálidas donde se ha desarrollado tradicionalmente el cultivo del albaricoquero, con una larga experiencia de manejo del mismo y que ha sido un componente importante de su economía, es pertinente tratar de propiciar su continuidad, aunque para ello es imprescindible obtener nuevas variedades con menores necesidades de frío y también optimizar la utilización de bioestimulantes para activar la salida del reposo y ayudar a la satisfacción de las necesidades de frío invernal.

7.2. OBJETIVOS DE MEJORA

El albaricoquero es la segunda especie de frutales de hueso con un mayor grado de innovación varietal, tras el melocotonero. Durante el periodo 1995-2016 la Oficina Comunitaria de Variedades Vegetales (OCVV) recibió 272 solicitudes de registro de nuevas variedades. España, Francia, Italia, EEUU, China y República Checa son los países que más han contribuido a la introducción de nuevas variedades.

Los objetivos de mejora del albaricoquero son múltiples. Sin embargo, en el actual contexto de cambio climático el objetivo más importante es el relativo a la obtención de variedades de calidad y de menores necesidades de frío que las actualmente cultivadas. Esto es un reto debido a la notable escasez de material vegetal de la especie con



muy bajas necesidades de frío invernal. Sin embargo, para avanzar en esa dirección, se pueden seguir diferentes estrategias de mejora:

- Cruzamientos entre variedades élite de muy bajas necesidades de frío. Las recombinaciones dan lugar frecuentemente a un pequeño porcentaje de descendientes con menores necesidades de frío que el parental más precoz. Como los parentales aúnan ya numerosos caracteres valiosos, la probabilidad de que alguno de esos descendientes sea interesante es elevada.
- La búsqueda y localización de mutantes en las áreas de producción de albaricóquero con inviernos suaves. Pueden ser valiosos para utilizar como parentales.
- Prospección en centros primarios o secundarios de origen de la especie de materiales con la máxima precocidad de floración, y por tanto bajas necesidades de frío, que serían de gran utilidad a pesar de que en general tendrían menos caracteres de interés acumulados.

Otros objetivos prioritarios contemplados en los diferentes programas de mejora de la especie son los siguientes:

- Resistencia al virus de la sharka (PPV). Actualmente una proporción muy escasa de las variedades cultivadas posee este carácter, a pesar de que en muchas de las áreas tradicionales del cultivo sigue habiendo una presión importante del virus que da lugar a importantes pérdidas de árboles.
- Autocompatibilidad floral. La autoincompatibilidad de muchas variedades, especialmente las precoces, sigue ocasionando grandes problemas productivos. Es preciso resolver esta carencia y para ello hay suficiente material de base para enfrentarla con éxito.
- Ampliación del calendario productivo. Además de la obtención de variedades de bajas necesidades de frío y maduración temprana, ampliar el calendario de maduración con variedades de maduración tardía y extratardía que aúnen calidad del fruto, la resistencia a sharka y la autocompatibilidad, es también un objetivo de interés.
- Elevada calidad del fruto, en lo relativo a calibre, firmeza, calidad gustativa y aspecto atractivo con mucha coloración. Existe una creciente demanda de frutos de piel y pulpa naranja y chapa roja.
- Buen comportamiento poscosecha, que garantice la manipulación y la conservación, especialmente considerando que gran parte de la producción es destinada a la exportación a mercados internacionales.

7.3. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

La Genome Database for Rosaceae (GDR, www.rosaceae.org) tiene disponibles 13 mapas de ligamiento para *Prunus armeniaca*. Además, se enumeran las secuencias de 166 genes de albaricoquero. Hasta la fecha, en estos mapas genéticos han sido identificados diferentes genes y QTLs que controlan caracteres tales como autocompatibilidad floral, androesterilidad, resistencia a sharka, necesidades de frío invernal o caracteres de la calidad del fruto (Vilanova et al., 2005; Olukolu et al., 2009; Ruiz et al., 2010; Campoy et al., 2011a, 2011b; Salazar et al., 2013). Los esfuerzos más recientes se están orientando a la elaboración de mapas físicos que pueden ser el comienzo para la secuenciación completa de su genoma.

En los últimos años, varios grupos de investigación están trabajando en el desarrollo de marcadores moleculares ligados a caracteres agronómicos de interés, para su utilización en selección asistida ("Marker assisted selection", MAS) en los diferentes programas de mejora de la especie. En albaricoquero, los mayores logros se han conseguido para resistencia a sharka y compatibilidad floral. En el caso de resistencia a sharka, una vez identificada la región del genoma asociada a la resistencia (locus PPVres), se saturó dicha región con marcadores tipo SSRsco-dominantes y se identificaron aquellos que co-segregaban con la resistencia a PPV, encontrándose una estrecha relación entre los SSR PGS1.21 y PGS1.24, y la resistencia al PPV (Soriano et al., 2012), aunque en algunos genotipos no se observó esta relación. Sin embargo, en todos los casos los genotipos susceptibles no mostraron los alelos de resistencia. Por lo tanto, MAS podría usarse como estrategia para eliminar aquellos genotipos que son susceptibles (Rubio et al., 2014).

Otra aplicación importante de marcadores moleculares para selección asistida en albaricoquero es la identificación de los alelos de compatibilidad. Se dispone de cebadores de PCR específicos de los alelos-S de compatibilidad (Vilanova et al., 2005). Esta técnica de PCR se utiliza de forma rutinaria en los programas de mejora para la identificación de alelos de compatibilidad en las variedades actuales y para la selección asistida de genotipos autocompatibles en nuevas progenies de albaricoquero.

7.4. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN MEJORA

La sección *Armeniaca* incluye ocho especies diferentes, incluidas *P. ansu* y *P. holosteric*a (de las zonas del norte de China y caracterizadas por su resistencia a las heladas), *P. mume* (de las zonas húmedas de China y caracterizada por su resistencia a enferme-



dades fúngicas), y *P. sibirica* y *P. manshurica* (del norte de China y caracterizadas por su resistencia a las bajas temperaturas), como las especies más relacionadas con el albaricoquero (Bailey y Hough, 1975; Mehlenbacher et al. 1991; Lichou y Audubert, 1989). Estas especies cercanas al albaricoquero son escasamente cultivadas, y su utilización en los programas de mejora es muy limitada.

En la especie albaricoquero, la obtención de nuevas variedades de bajas necesidades de frío, si bien es un objetivo fundamental en los programas de mejora, tiene una gran dificultad al ser muy escasos los recursos genéticos de bajas necesidades de frío en esta especie para ser utilizados como parentales. El rango de necesidades de frío de la mayoría de las variedades cultivadas oscila entre 700-1200 chill units (CU), con algunos casos extremos de 500 CU y superiores a 1300 CU (Guerriero et al., 2002; Ruiz et al., 2007). Esta situación difiere de otras especies de *Prunus*, especialmente el caso del melocotonero, donde los procesos de mejora han conseguido variedades de extra-bajas necesidades de frío, inferiores a 100 CU (Byrne et al., 2000), que pueden adaptarse perfectamente a zonas de muy escasa acumulación de frío. Así pues, en el caso del albaricoquero, deben continuarse los esfuerzos en la prospección de nuevos materiales silvestres y también mutaciones, caracterizados por muy bajas necesidades de frío para introducirlos como parentales en los programas de mejora.

8. Cerezo

8.1. INTRODUCCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

La producción mundial de cerezas está aumentando en los últimos años, superando 2.300.000 t en 2016. Se distribuye principalmente entre Asia (48%), Europa (31%), Norteamérica (13%) y Sudamérica (6%). Los principales países productores son Turquía (599.000 t), Estados Unidos (288.000 t), Irán (220.000 t), Chile (123.000 t), Uzbekistán (95.000 t), Italia (94.000 t) y España (94.000 t) (FAOSTAT, 2018). En España se cultivan 25.000 ha de cerezos, siendo el primer país productor de la Unión Europea junto a Italia, con cerca del 18% de la producción. Los principales países exportadores de cerezas son Estados Unidos, Turquía, Chile y España (FAOSTAT, 2018). En los últimos años, España ha exportado más de 24.000 t de media por un valor de más de 70 millones de dólares, principalmente a países de la Unión Europea como Reino Unido (21%), Alemania (14%), Italia (13%), Francia (12%) y Holanda (10%) (FAOSTAT, 2018).

En España, la superficie cultivada se ha estabilizado en los últimos 10 años en unas 25.000 ha, después de sufrir un importante descenso en los años anteriores. En 2016, más de la mitad de la producción nacional se concentró en Aragón (38.700 t (39 %) en 7.900 ha) y Extremadura (25.900 t (26%) en 7.400 ha) (MAPAMA, 2018). Otras CCAA productoras de cerezas son Cataluña (8.000 t (8%) en 2.700 ha), Andalucía (6.200 t (6%) en 2.200 ha) y Comunidad Valenciana (5.900 t (6%) en 2.900 ha). La producción en España se destina principalmente al consumo en fresco, con cerca del 10 % dedicada a industria, principalmente en zonas de Zaragoza y Jaén. Más de la mitad de la superficie (unas 15.000 ha) se cultivan en secano (MAPAMA, 2018). Aunque la mayor parte de la producción se destina al mercado interior, las exportaciones están aumentando en los últimos años hasta alcanzar aproximadamente el 25 %. También están aumentando las importaciones de países del hemisferio Sur, principalmente Chile (500 t) y Argentina (190 t) (FAOSTAT, 2018).

Para el consumo en fresco el consumidor prefiere cerezas de buen sabor, gran tamaño y aspecto atractivo, en el que el color rojo oscuro, granate o púrpura se valora especialmente. Las variedades de fruto firme son muy apreciadas, y además resisten mejor el transporte y la manipulación tras la cosecha. Para exportación se destinan preferentemente variedades de fruto de gran calibre y muy firme. El consumidor nacional también aprecia las variedades tipo picota, en las que el pedúnculo se desprende sin provocar heridas en el fruto, con la ventaja adicional de estas variedades de reducir considerablemente los gastos de recolección (Rodrigo y Guerra, 2014).

Las perspectivas de futuro del cerezo a nivel nacional son buenas. Por un lado, es de las pocas frutas cuyo consumo nacional se mantiene o aumenta, lo que hace que su cultivo no sea tan dependiente del mercado exterior. Por otro lado, se alcanzan buenos precios y hay margen para aumentar la cantidad de cerezas destinadas a la exportación. En los últimos años también se está incrementando notablemente la introducción de nuevas variedades, lo que está ampliando considerablemente la oferta de variedades de calidad en todas las épocas de maduración (Iglesias et al., 2016c) y la introducción de un número creciente de variedades autocompatibles que no necesitan polinización cruzada (Fadón et al., 2017). Esto está provocando un alargamiento del periodo de recolección y por tanto la presencia de cerezas durante más tiempo en el mercado. Destaca la expansión a nuevas zonas de producción; se están introduciendo nuevas variedades de cerezo de bajas necesidades de frío en zonas más cálidas que las tradicionales para la recolección en abril, y variedades de maduración tardía en zonas de montaña para la producción de cerezas a finales de julio o principios de agosto (Rodrigo et al., 2016).



8.2. OBJETIVOS DE MEJORA

El cerezo (*Prunus avium* L.) es una especie con una base genética muy reducida (Choi y Kappel, 2004). La historia de la mejora genética es muy reciente, remontándose a no más de doscientos años (Hedrick et al., 1915). Una característica de este proceso ha sido que se han utilizado un número muy reducido de progenitores, muy especialmente para la autocompatibilidad (Choi y Kappel, 2004) y en consecuencia, actualmente la endogamia media entre las variedades autocompatibles de cerezo es comparable a una relación entre ellas de medio – hermanos (Choi y Kappel, 2004).

Existen programas de mejora genética en varios países de Europa, Rusia, Canadá, USA, China, Japón y Australia, que han aportado en los últimos años más de 140 nuevas variedades, aunque su comportamiento en España no está lo suficientemente contrastado. El total mundial asciende a más de 580 variedades, 450 de cerezo dulce en 26 países, y 130 de cerezo ácido en 17 países. La mayoría de ellas proceden de centros públicos que mantienen un total de 262 variedades, siendo los más importantes La Estación Experimental de Summerland, Canada, el Instituto de Investigación de Holovousy en la República Checa, el Instituto de Investigación Frutícola de Ucrania en Metitopol, el Instituto de Investigación de Dresden en Alemania, el Policultural Instituto de Karski Nuia en Estonia, el Instituto de Investigación en Fruticultura de Budapest en Hungría, las dos instituciones de Italia, Instituto Experimental de Fruticultura de Verona y el departamento de Cultivos Arbóreos de la Universidad de Bolonia y el INRA de Francia. La situación actual en España es de total dependencia de variedades foráneas de las que no se conocía con exactitud el comportamiento en nuestras condiciones climáticas.

Nuestro país es un reservorio de variabilidad genética (Cabrera et al., 2012; Cachi y Wünsch, 2009, 2014; Wünsch y Hormaza, 2004 b,c; Wünsch et al., 2008) y es posible la utilización de este material local como fuente de variabilidad para la introducción de caracteres de interés en la mejora genética. Todo esto, unido al clima tan diferente de España respecto del resto de países, ha impulsado a la creación de dos programas de mejora genética de cerezo, el del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX-La Orden) y el del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), con unos objetivos definidos y distintos al tratarse de dos regiones con condiciones ambientales diferentes. Así, los objetivos del programa de mejora genética del IMIDA de Murcia van encaminados a la obtención de nuevas variedades que se puedan adaptar a climas cálidos de bajo reposo invernal y precocidad en la maduración, autocompatibles para evitar la utilización de polinizadores, regularidad en la producción, mejor adaptación a los climas desfavorables, que

tengan calidad de fruto con calibres superiores a 30 mm, firmeza de la pulpa, aroma y sabor, color rojo oscuro de la epidermis y con formas cordiformes y reniformes, con ausencia de frutos dobles (objetivo muy importante en Murcia con clima cálido y con elevadas temperaturas en verano durante la diferenciación floral), y que presenten resistencia al rajado del fruto (“cracking”). Por otra parte, los objetivos del programa de mejora del CICYTEX-La Orden en Extremadura se dividen en dos grandes líneas: una cuyo objetivo principal es la obtención de nuevas variedades tipo Picotas que mantengan las características propias de estos cultivares y que, además, mejoren las propiedades agronómicas, tales como el calibre, la entrada en producción, el rendimiento y una buena relación pulpa/hueso. Otra línea es la obtención de nuevas variedades que amplíen el calendario de recolección (principalmente tempranas y muy tardías) con buen comportamiento agronómico y frutos de calidad. Ambas líneas se abordan en colaboración con otros grupos de investigación de “CAMIA-LI” e ICTAN-CSIC se incluyen diferentes estudios como la calidad microbiológica de las cerezas o la aptitud a la conservación frigorífica de los cultivares seleccionados, tolerancia a los gases activos y a las concentraciones óptimas para mejorar su vida útil y resistencia al desarrollo de las principales enfermedades fúngicas durante la poscosecha.

8.3. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

La evaluación de nuevas variedades es un factor limitante de cualquier programa de mejora de cerezo, debido principalmente al largo periodo de juvenilidad y que se requiere una gran superficie de cultivo para la evaluación de los descendientes. Por ello, es muy importante utilizar estrategias que permitan acortar y hacer más eficiente este proceso. En este sentido, la mejora del cerezo puede beneficiarse de la selección asistida por marcadores (“Marker Assisted selection” (MAS), siendo los isoenzimas los primeros marcadores moleculares utilizados. Posteriormente, fueron los marcadores basados en ADN que no necesitaban PCR como RFLPs, si bien la mayoría de los trabajos se han basado en marcadores que requieren PCR como RAPDs, AFLPs y SSRs (Balas, F.; 2016). Estos estudios se han centrado básicamente en determinar la diversidad genética y la estructura de las poblaciones de esta especie y algunos trabajos en caracteres como el gen S-Locus de auto-incompatibilidad o resistencia a enfermedades (Wünsch y Hormaza 2004 b,c; Dirlewanger et al. 2009). A partir de estos marcadores se han desarrollado varios mapas genéticos, muy útiles para la localización de genes interesantes que controlan caracteres cuantitativos y cualitativos (Wang et al., 1998; Stockinger et al., 1996; Dirlewanger et al, 2004).



Otros marcadores moleculares introducidos recientemente en estudios de cerezo son los SNPs o polimorfismos en un único nucleótido, que han sido aplicados en trabajos de germoplasma y diversidad (Cabrera et al., 2012), en fitopatología (Jomantiene et al., 2011) y en estudios de ligamiento genético (Wang et al., 2015). El consorcio internacional de Rosáceas RosBREED, desarrolló el primer chip 6K SNP array v1 basado en la tecnología Illumina y que ha sido especialmente útil en estudios de ligamiento genético (Klagges et al., 2016). Estos marcadores SNP han permitido una mayor resolución de los mapas de ligamiento (Klagges et al., 2016; Castède et al., 2014; Campoy et al., 2015) y una mejor detección de loci de caracteres cuantitativos (QTL) (Zhang et al., 2010; Rosyara et al., 2015). En relación a los caracteres de calidad estudiados en cerezo, los trabajos se han centrado principalmente en QTLs de floración y tamaño de fruto, peso y firmeza (Zhang et al., 2010; Cabrera et al., 2012; Castède et al., 2014; Campoy et al., 2015; Rosyara et al., 2013; De Franceschi et al., 2013). En España, destaca el estudio realizado de forma coordinada entre el CITA de Aragón, el CICYTEX de Extremadura y la Universidad de Michigan (USA) en la variedad 'Ambrunés', que ha dado como resultado el primer mapa genético con más de 600 marcadores moleculares de esta variedad y que han permitido identificar para firmeza un QTL mayor que no había sido previamente en el LG1 y confirmó la presencia de otro el QTL en el LG6 que había sido descrito previamente (Balas, 2016).

8.4. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN MEJORA

En relación a los recursos fitogenéticos, el cultivo generalizado de las nuevas variedades obtenidas en los programas de mejora principalmente de EEUU, Francia y Canadá con mejores características productivas y de calidad, ha supuesto el abandono de las variedades locales españolas, con la consiguiente reducción de su diversidad genética. En España, gran parte de estas variedades tradicionales se conservan en el CITA de Aragón, que incluye 110 accesiones entre cultivares locales de diferentes áreas españolas y variedades comerciales. Por otro lado, CICYTEX dispone del Banco de Germoplasma de variedades autóctonas de cerezo del Valle del Jerte con 42 accesiones incluyendo especies de cerezo dulce y ácido, cuya caracterización ha puesto de manifiesto la gran variabilidad existente en este Banco para caracteres de gran interés agronómico como la fecha de maduración, el color de la epidermis y la firmeza de los frutos (Bañuls et al., 2012). Así, alguna de estas variedades como 'Ambrunés', 'Pico negro' o 'Pico colorado' han sido utilizadas en el programa de mejora genética de CICYTEX por su sabor dulce, aptitud al desrabe y fecha de maduración tardía y, otras

como 'Temprana negra' por su resistencia al rajado (López-Corrales, 2014). También, se han establecido las relaciones de similitud e incompatibilidad polen-estilo de estas variedades locales de cerezo, lo que facilita su uso en los programas de mejora (Wünsh et al., 2008; Wünsch y Hormaza, 2004 b,c).

9. Almendro

9.1. INTRODUCCIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Las regiones españolas principales productoras son Aragón, Andalucía, Castilla-La Mancha, Valencia, Murcia y Cataluña. Actualmente, se está produciendo una expansión del cultivo desde las zonas costeras y el Valle del Ebro, donde su cultivo era tradicional, hacia zonas interiores y con mayor riesgo de heladas de Andalucía, Extremadura, Murcia, Cataluña, Aragón, La Rioja, Castilla-La Mancha y Castilla y León. La expansión del cultivo se está produciendo principalmente por el atractivo de los precios de la almendra en estos últimos años y la disponibilidad de nuevas variedades autocompatibles de floración tardía y muy productivas obtenidas por los programas de mejora genética españoles, así como por la posibilidad de cultivo en zonas con mayor incidencia de heladas utilizando las recientes variedades de floración extra-tardía. El previsible incremento de la producción española en los próximos años, no va a suponer un problema para la industria, sino todo lo contrario, mejorará su competitividad. Hay que tener en cuenta que España es el mayor importador de almendra californiana, 95.700 toneladas el año 2017, casi el doble de la producción española, y un aumento de la producción ayudaría a disminuir esta dependencia. Por otra parte, destaca la importante industria transformadora de almendra en nuestro país..

9.2. OBJETIVOS DE MEJORA

La mejora varietal del almendro es importante en España, con tres programas activos que han suministrado a los agricultores nuevas variedades, algunas de indudable éxito comercial y extensamente plantadas en distintas regiones, e incluso en el extranjero. El primero de estos programas se inició en 1974 en el actual CITA de Aragón por A.J. Felipe, el segundo en 1975 en el actual Centro de Mas Bover del IRTA por F.J. Vargas, y el tercero en 1985 en el CEBAS-CSIC de Murcia por E. García. Otros programas activos se desarrollan en California (tanto por la Universidad de California en Davis como por obtentores privados), en Australia (por la Universidad de Adelaide) y en Israel (por los centros de Bet Dagan y Newe Ya'ar).

Actualmente los objetivos prioritarios en la mejora genética del almendro en la mayoría de los programas son:

- Autocompatibilidad, con el fin de asegurar la polinización, incluso en condiciones climatológicas adversas, así como permitir las plantaciones monovarietales por su mayor facilidad de manejo, especialmente para las nuevas plantaciones intensivas, en las que el movimiento de los insectos polinizadores puede verse muy reducida.
- Floración tardía y extra-tardía, especialmente para la extensión del cultivo a zonas con mayor riesgo de heladas.
- Calidad de la pepita, no sólo por la propia calidad organoléptica, sino también para la utilización de cada variedad para productos especializados.
- En relación con la calidad, un valor nutricional más elevado, por la presencia de antioxidantes y otros compuestos que no sólo aportan valores nutricionales, sino también saludables y permitan una mejor conservación de la pepita.
- Maduración escalonada de las variedades, para facilitar la recolección en grandes plantaciones y un mejor aprovechamiento de la maquinaria. Especialmente es interesante la maduración temprana, que permite una rápida comercialización.
- Arquitectura del árbol (vigor, ramificación, y hábito de fructificación), localización de los brotes productivos (ramilletes de mayo) y flexibilidad de los ramos, especialmente para la adaptación a los nuevos sistemas intensivos y a su mecanización.
- Resistencia a plagas y enfermedades para reducir la aplicación de productos fitosanitarios para su control.

Respecto a los objetivos de mejora para el cambio climático, cabe señalar que hasta ahora no se ha considerado la floración temprana para su cultivo en zonas con menos frío invernal, habiéndose observado, problemas de adaptación de variedades de floración tardía en zonas cálidas o semi-tropicales, como en Marruecos (Alonso et al., 2017). Sin embargo, en el pasado la floración temprana se consideró un carácter interesante en zonas áridas, ya que podría estar relacionada en algunos casos con maduración temprana, previa a las condiciones de sequía y temperaturas extremas del verano.

9.3. BIOTECNOLOGÍA APLICADA A LA MEJORA GENÉTICA

El primer mapa genético del almendro se construyó a partir de una población F1 'Ferragnès' x 'Tuono' obtenida en el IRTA (Viruel et al., 1995). Posteriormente, se elaboró un mapa saturado usando una descendencia F2 proveniente de un cruzamiento

interespecífico almendro ('Texas') x melocotonero ('Earlygold') mediante autofecundación de un híbrido F1 (MB 1-37) y se detectaron los ocho cromosomas del género *Prunus* (Joobeur et al., 1998). Recientemente, se han realizado diversos esfuerzos para desarrollar el conocimiento y las herramientas genómicas para aplicar la selección asistida por marcadores a la mejora del almendro y aumentar así la eficacia de los programas de mejora (Socias i Company, 1998; Arús, 2010; Font i Forcada et al., 2017). Sin embargo, todavía la SAM no se ha aplicado extensivamente, excepto para la detección del alelo *Sf* de la autocompatibilidad. La floración en almendro es un carácter generalmente cuantitativo pero en 'Tardy Nonpareil' se ha identificado un gen mayor que le hace florecer 10-15 días después de 'Nonpareil' (Kester 1965; Grasselly, 1978; Batlle et., al. 2017; Dicenta et al., 2017) y se están desarrollando marcadores para uso en selección precoz (Ballester et al., 2001; Sánchez-Pérez et al., 2007a). Por otra parte, existe información sobre el mapeado de algunos caracteres cuantitativos tales como producción, fecha de maduración o pepitas dobles (Sánchez-Pérez et al., 2007b), composición de la almendra (Font i Forcada et al., 2012) y características físicas de la almendra (Fernández i Martí et al., 2013). Campalans et al., 2001 mostraron que diferentes niveles de expresión génica relacionada con la sequía pueden utilizarse en mejora. Actualmente, existe una iniciativa para la publicación del genoma del almendro 'Texas' y de re-secuenciación de 50 cultivares de origen diverso. Los datos genómicos del melocotonero (Verde et al., 2013) y del 9K IPSC peach SNP array v1 (Verde et al., 2012) pueden ser aplicables en el almendro, debido a la proximidad genética entre ambas especies, aunque la disponibilidad de la secuencia del almendro puede acelerar el desarrollo de técnicas para incrementar la selección de caracteres cuantitativos, como los estudios de cartografía de asociación (Mackay y Powell, 2007; Font i Forcada et al., 2015a, b) o la selección genómica (Heffner et al., 2009).

9.4. RECURSOS FITOGENÉTICOS Y ESPECIES SILVESTRES RELACIONADAS PARA SU USO EN MEJORA

Varias especies de almendro silvestres están distribuidas por el oeste y centro de Asia y el este de Europa (Grasselly, 1976; Socias i Company., 2017a). Entre las especies que han contribuido al origen del almendro cultivado a través de hibridaciones destacan *P. fenzliana* Fritsch, *P. bucharica* (Korsh.), Fedstscg, *P. kuramica* (Korsh.) Kitam. y *P. trilobata* Lindl (Zeinalabedini et al. 2010). En la región Mediterránea *P. webbii* (Spach) Vierh. parece haber transmitido su autocompatibilidad al almendro. Así 'Tuono' ha sido el cultivar autocompatible, originario de Puglia, Italia, más utilizado como donante del



alelo *Sf* en los programas de mejora europeos. En EEUU, en cambio, se ha utilizado melocotonero para transferir autocompatibilidad al almendro (Socias i Company, 2017b). Por otra parte, la mayoría de especies silvestres muestran un período de fructificación corto, su utilización en programas de mejora se sugirió por Grasselly (1976), aunque su utilización ha sido limitada y no para este objetivo (Gradziel, 2003).

La colección de almendro del CITA de Aragón es la colección nacional de referencia de la Red Española de Bancos de Germoplasma del INIA y de las oficinas de registro de variedades de España y de la Unión Europea (Espiau et al., 2002), y conserva una muestra de la gran diversidad del germoplasma del almendro español, estando representadas las principales comunidades productoras de almendra de España (Aragón, Cataluña, Murcia, Andalucía, Comunidad Valenciana, Baleares y Canarias). Las colecciones del IRTA en Cataluña y del CEBAS en Murcia también conservan un gran número de variedades. Algunos otros organismos también han llevado a cabo actividades de recolección y mantenimiento de las variedades, especialmente las locales, no sólo en regiones con tradición e importancia en el cultivo del almendro, como Mallorca (J. Fornés, comunicación personal) y Canarias (Pardilla et al., 2014), con variedades propias de características muy singulares, sino también en regiones de menor importancia en la producción del almendro como Castilla y León (M.C. Asensio, comunicación personal). Los programas de mejora españoles han utilizado algunos de estos recursos, aunque la utilización de las variedades locales ha sido escasa (Socias i Company et al., 2016), debido a que no presentan las características deseables indicadas en los objetivos actuales de la mejora. La base de datos de Centro de Recursos Fitogenéticos del INIA (<http://wwwx.inia.es/inventarionacional>, así como <http://wwwx.inia.es/coleccionescrf/PasaporteCRF.asp>) alberga el inventario de las variedades conservadas en las distintas colecciones, así como sus datos de pasaporte. El CITA también conserva una colección de especies silvestres próximas al almendro (Felipe, 1984), aunque no se han utilizado hasta ahora en los programas de mejora españoles.

10. Bibliografía

- Alonso, J.M., Socias i Company R. and Kodad O. 2017. Late-blooming in almond: A controversial objective. *Scientia Horticulturae* 224:61-67
- Arús, P. 2010. Marcadores moleculares en genética y mejora del almendro. *Fruticultura. Extraordinario* 10: 64-69.

- Atkinson, C.J., Brennan, R.M. and Jones, H.G. 2013. Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany* 91, 48–62.
- Badenes, M.L., Fernández i Martí, A., Ríos, G. and Rubio-Cabetas, M.J. 2016. Application of genomic technologies to the breeding of trees. *Frontiers in Genetics* 7: 198.
- Bailey, C.H. and Hough LF. 1975. Apricots. In: Janick, J. and Moore, J.N. (eds) *Advances in Fruit Breeding*, Purdue University Press, Indiana, pp. 367-386.
- Balas, F. 2016. Firmness QTL analysis in sweet cherry. Trabajo fin de Master of Science in Mejora Genética Vegetal. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ) del Centro de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos (CIHEAM). 100 pp.
- Ballester, J., Socias i Company, R., Arús, P. and de Vicente, M.C. 2001 Genetic mapping of a major gene delaying blooming time in almond. *Plant Breeding* 120, 268–270.
- Bañuls, P.; Manzano, M.A.; Mateos, J.; Serradilla, M.J.; Pérez; F. y López-Corrales, M. 2012. Caracterización de variedades autóctonas de cerezo del Valle del Jerte. VI Congreso de mejora genética de plantas, 229-230.
- Bassett, C.L., Fisher, K.M. and Farrell, R.E. 2015. The complete peach dehydrin family: characterization of three recently recognized genes. *Tree Genetics and Genomes* 11: 126.
- Batlle, I.; Dicenta, F.; Socias i Company, R., Gradziel, T. M. Wirthensohn M.G.; Duval, H. and F. J. Vargas 2017. Classical genetics and breeding. In: Socias i Company, R., Gradziel, T.M. (Eds.), *Almonds: Botany, Production and Uses*. CABI Oxfordshire, UK. 111-148.
- Bell, R.L. 1992. Pears (*Pyrus*). *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops II*. En: J.N. Moore, J.R. Ballington Jr. *Acta Horticulturae* 290. 657-697.
- Bielenberg, D.G., Wang, Y., Li, Z., Zhebentyayeva, T., Fan, S., Reighard, G.L., Scorza, R. and Abbott, A.G. 2008. Sequencing and annotation of the evergrowing locus in peach (*Prunus persica* [L.] Batsch) reveals a cluster of six MADS-box transcription factors as candidate genes for regulation of terminal bud formation. *Tree Genet Genomes* 4:495–507.
- Bielsa, B., Leida, C. and Rubio-Cabetas, M.J. 2016. Physiological characterization of drought stress response and expression of two transcription factors and two LEA genes in three *Prunus* genotypes. *Scientia Horticulturae* 213: 260-269
- Blazek, J. 2007. A survey of the genetic resources used in plum breeding. *Acta Horticulturae* 734 31–45.
- Burbank, L., 1914. *Luther Burbank: His Methods and Discoveries and Their Practical Application*. Luther Burbank Press, New York, NY.



- Bus, V., Laurens, F., van de Weg, E., Rusholme, R., Rikkerink, E., Gardiner, S., Bassett, H., Kodde, L. and Plummer, K. 2005. The Vh8 locus of a new gene-for-gene interaction between *Venturia inaequalis* and the wild apple *Malus sieversii* is closely linked to the Vh2 locus in *Malus pumila* R12740-7A. *New Phytol.* 166, 1035–1049.
- Bus, V., Rikkerink, E., Caffier, V., Durel, C. and Plummer, K. 2011. Revision of the nomenclature of the differential host–pathogen interactions of *Venturia inaequalis* and *Malus*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 49, 391–413.
- Byrne, D. H., 2005. Trends and progress of low-chill stone fruit breeding. Reports from the second Int. Workshop, 19-23 April. Chiang Mai, Thailand.
- Byrne, D.H., Sherman, W.B., Bacon, T.A. 2000. Stone fruit genetic pool and its exploitation for growing under warm climatic conditions. In: Erez, A. (Ed.), *Temperate Fruit Crops in Warm Climates*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 157–230.
- Cabrera, A., Rosyara, U. R., De Franceschi, P., Sebolt, A., Sooriyapathirana, S. S., Dirlewanger, E., Quero-Garcia, J., Schuster, M., Iezzoni, A.F. and Van der Knaap, E. 2012. Rosaceae conserved orthologous sequences marker polymorphism in sweet cherry germplasm and construction of a SNP-based map. *Tree Genetics & Genomes*, 8(2), 237–247.
- Cachi, AM. and Wünsch, A. 2009. Identificación del genotipo S de variedades locales de cerezo. *Actas de Horticultura* 54:524-525.
- Cachi, AM. and Wünsch, A. 2014. S-genotyping of sweet cherry varieties from Spain and S locus diversity in Europe. *Euphytica* 197(2):229-236.
- Campalans, A., Pagès, M. and Messeguer, R. 2001 Identification of differentially expressed genes by the cDNA-AFLP technique during dehydration of almond (*Prunus amygdalus*). *Tree Physiology* 21, 633–643.
- Campoy, J.A., Le Dantec, L., Barreneche, T., Dirlewanger, E. and Quero-Garcia, J. 2015. New Insights into Fruit Firmness and Weight Control in Sweet Cherry. *Plant Molecular Biology Reporter* 33(4), 783–796.
- Campoy, J.A., Ruiz, D. and Egea, J. 2011 Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. *Scientia Horticulturae* 130, 357–372.
- Campoy, J.A., Ruiz, D., Egea, J., Rees, J., Celton, J.M. and Martínez-Gómez, P. 2011. Inheritance of flowering time in apricot (*Prunus armeniaca* L.) and analysis of linked quantitative trait loci (QTLs) using simple sequence repeat markers. *Plant Molecular Biology Reporter* 29, 404–410.

- Castède, S., Campoy, J.A., Quero García, J., Le Dantec, L., Lafargue, M., Barreneche, T., Wenden B. and Dirlewanger E. 2014. Genetic determinism of phenological traits highly affected by climate change in *Prunus avium*: flowering date dissected into chilling and heat requirements. *New Phytologist* 202, 703-715.
- Chagné, D., Crowhurst, R.N., Pindo, M., Thrimawithana, A. and Deng, C. 2014. The Draft Genome Sequence of European Pear (*Pyrus communis* L. 'Bartlett'). *PLOS ONE* 9(4): e92644.
- Chagné, D., Kirk, C., How, N., Whitworth, C., Fontich, C., Reig, G., Sawyer, G., Rouse, S., Poles, L., Gardiner, S., Kumar, S., Espley, R., Volz, R.K., Troggio, M. and Iglesias, I. 2016. A functional genetic marker for apple red skin coloration across different environments. *Tree Genetics and Genomes* 12:1-9.
- Choi, C. and Kappel, F. 2004. Inbreeding, coancestry, and founding clones of sweet cherries from North America. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129:535-543.
- Cullinan, F.P. 1937. Improvement of stone fruits. In 'United States Department of Agriculture Yearbook of Agriculture. United State Printing Office Washington D.C. 665-748.
- De Franceschi, P., Stegmeir, T., Cabrera, A., van der Knaap, E., Rosyara, U. R., Sebolt, A. M., and Iezzoni. A.F. 2013. Cell number regulator genes in *Prunus* provide candidate genes for the control of fruit size in sweet and sour cherry. *Molecular Breeding* 32(2), 311-326.
- DeGrandi-Hoffman, G., Thorp, R., Loper, G. and Eisikowitch, D. 1996. Describing the progression of almond using accumulated heat units. *Journal of Applied Ecology* 33, 812-818.
- Dennis Jr. F.G. 2003. Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for breaking of dormancy in buds of woody plants. *Hortscience* 38(3), 347-350.
- Dicenta, F.; Sánchez-Pérez R.; Batlle, I. and P. Martínez-Gómez. 2017. Late-blooming Cultivar Development. In: *Socias i Company, R., Gradziel, T.M. (Eds.), Almonds: Botany, Production and Uses*. CABI Oxfordshire, UK. 168-187.
- Dirlewanger, E., Claverie, J., Iezzoni, A. F. and Wünsch, A. 2009. Sweet and Sour Cherries: Linkage Maps, QTL Detection and Marker Assisted Selection. In K. M.Folta & S. E. Gardiner (Eds.), *Genetics and Genomics of Rosaceae* (pp. 291-313). Springer Science + Bussines Media.



- Dirlewanger, E., Graziano, E., Joobeur, T., Garriga-Caldere, F., Cosson, P., Howad, W., Arus, P. 2004. Comparative mapping and marker-assisted selection in Rosaceae fruit crops. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101(26), 9891–9896. <http://doi.org/10.1073/pnas.0307937101>
- Dunemann, F., Bracker, G., Markussen, T., Roche, P. 1999. Identification of molecular markers for the major mildew resistance gene PI2 in apple. *Acta Horticulturae* 484:411–416.
- Dunemann, F., Peil, A., Urbanietz, A. and Garcia-Libreros, T. 2007. Mapping of the apple powdery mildew resistance gene PI1 and its genetic association with an NBS-LRR candidate resistance gene. *Plant Breeding*, 126: 476–481.
- Eldem, V., Çelikkol Akçay, U., Ozhuner, E., Bakır, Y., Uranbey, S. and Unver, T. 2012. Genome-wide identification of miRNAs responsive to drought in peach (*Prunus persica*) by high-throughput deep sequencing. *PLoS One*. 2012. 7 (12):e50298. doi: 10.1371/journal.pone.0050298.
- Esmaili, F., Shiran, B., Fallahi, H., Mirakhorli, N., Budak, H. and Martínez-Gómez, P. 2017. In silico search and biological validation of microRNAs related to drought response in peach and almond. *Funct Integr Genomics*. 17(2-3):189-201. doi: 10.1007/s10142-016-0488-x.
- Espiau M.T, Ansón J.M. and Socias i Company R. 2002. The almond germplasm bank of Zaragoza. *Acta Hort*. 591:275-278.
- Fadón E, C. Sallán, J. Andreu y Rodrigo, J. 2017. Variedades autocompatibles de cerezo. *Revista de Fruticultura* 53: 24-31
- Fan, S, Bielenberg, DG, Zhebentyayeva, TN, Reighard, G.L., Okie, W.R., Holland, D. and Abbott, A.G. 2010 Mapping quantitative trait loci associated with chilling requirement, heat requirement and bloom date in peach (*Prunus persica*). *New Phytol* 185:917–930.
- Fanning, K., Topp, B., Russell, D., Stanley, R. and Netzel, M. 2014. Japanese plums (*Prunus salicina* Lindl.) and phytochemicals – breeding, horticultural practice, post-harvest storage, processing and bioactivity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94:2137-2147
- FAOSTAT (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 2016. www.faostat.fao.org
- FAOSTAT (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 2018. www.faostat.fao.org

- Faust, M., Surányi, D. and Nyujtó, F. 1998. Origin and dissemination of apricot. *Horticultural Review* 22, 225-266.
- Felipe A. 1984. État de l'arboretum des espèces sauvages à Saragosse. *Options Méditerranéennes CHIHEAM/IAMZ 84/II*, 203–204.
- Fernández i Martí A., Font i Forcada, C., and Socias i Company, R. 2013. Genetic analysis for physical nut traits in almond. *Tree Genet. and Genomes* 9, 357-374.
- Fideghelli, C. and Della Strada, G. 2009. Plum. In: *The fruit varieties released in the world from 1980 through 2008*. Centro di Ricerca per la Frutticoltura, Rome, Italy, pp. 224-249.
- Font i Forcada, C., Socias i Company, R. and Fernández i Martí, A. 2012. Mapping QTLs for kernel composition in almond. *BMC Genetics* 13, 47
- Font i Forcada, C. Sánchez-Pérez, R. Eduardo, I. Wu, SB. and Fernández i Martí A. 2017. *Molecular Breeding and Genomics In: Socias i Company, R., Gradziel, T.M. (Eds.), Almonds: Botany, Production and Uses*. CABI Oxfordshire, UK. 149-167.
- Font i Forcada, C., Oragudzie, N., Reyes-Chin-Wo, S., Espiau, M.T., Socias i Company, R. and Fernández i Martí, A. 2015a Identification of genetic loci associated with quality traits in almond via association mapping. *Plos One*. DOI: 101371/journal-pone0127656.
- Font i Forcada, C., Velasco, L., Socias i Company, R. and Fernández i Martí, A. 2015b Association mapping for phytosterol content in almond. *Frontiers in Plant Science*. doi: 10.3389/fpls.2015.00530.
- Gao, Z.S., van de Weg, WE., Schaart, JG., Schouten, HJ., Tran, DH., Kodde, LP., van der Meer, IM., van der Geest, AHM., Kodde, J., Breiteneder H., Hoffmann-Sommergruber, H., Bosch, D., Gilissen, LJWJ. 2005a. Genomic cloning and linkage mapping of the Mal d 1 (PR-10) gene family in apple (*Malus domestica*). *Theor Appl Genet* 111:171–183.
- Gao, Z.S., Van de Weg, WE., Schaart, JG., Van der Meer, IM., Kodde, L., Laimer, M., Breiteneder, H., Hoffmann-Sommergruber, K., Gilissen, LJWJ. 2005b. Linkage map positions and allelic diversity of two Mal d 3 (non-specific lipid transfer protein) genes in the cultivated apple (*Malus domestica*). *Theor Appl Genet* 110:479–491.
- Gradziel, T.M. 2003. Interspecific hybridizations and subsequent gene introgression within *Prunus* subgenus *Amygdalus*. *Acta Horticulturae* 622, 249–255.
- Grasselly, C. 1976. Les espèces sauvages d'amandier. *Options Méditerranéennes* 32, 28–43.



- Grasselly, C. 1978. Observations sur l'utilisation d'un mutant d'amandier à floraison tardive dans un programme d'hybridation. *Annales d'Amélioration des Plantes* 28, 685-695.
- Guerra, M.E., Rodrigo, J., López-Corrales, M. and Wünsch, A. 2009. S-RNase genotyping and incompatibility group assignment by PCR and pollination experiments in Japanese plum. *Plant Breeding*, 128, 304-311.
- Guerra M.E. and Rodrigo J. 2015. Japanese plum pollination: A review. *Scientia Horticulturae* 197: 674-686.
- Guerra, M.E. y Rodrigo, J. 2017. Ciruelo japonés: renovación varietal y mejora genética. *Agricultura (Editorial agrícola): Julio-Agosto 2017*, 462:466.
- Guerrero, R., Viti, R., Monteleone, P., Gentili, M. 2002. La valutazione della dormienza nell'albicocco: tre metodi a confronto. *Frutticoltura* 3, 73-77.
- Hauagge, R. and Cummins, J.N. 1991. Genetics of length of dormancy period in *Malus* vegetative buds. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 116, 121-126.
- Hauagge, R. and Cummins, J.N. 2000. Pome fruit genetic pool for production in warm climates. En: *Temperate fruit crops in warm climates*. A. Erez (ed.). p: 267-303.
- Hedrick, U.P. 1911. *The Plums of New York* Lyon J. B., Albany.
- Hedrick, UP., Howe, GH, Taylo, OM., Tubergen, CB. Wellington, R. 1915. *The Cherries of New York*. Report of the New York Agricultural Experiment Station for the Year 1914 II. J.B. Lyon, Albany, N.Y.
- Heffner, E.L., Sorrells, M.E., and Jannink, J.L. 2009. Genomic selection for crop improvement. *Crop Sci.* 49:1-12. doi:10.2135/cropsci2008.08.0512
- Hernández Mora, J.R., Micheletti, D., Bink, M., Van de Weg, E., Cantin, C., Nazzicari, N., Caprera, A., Dettori, M.T., Micali, S., Banchi, E., Campoy, J.A., Dirlwanger, E., Lambert, P., Pascal, T., Troggo, M., Bassi, D., Rossini, L., Verde, I., Quilot-Turion, B., Laurens, F., Arús, P. and Aranzana, M.J. 2017. Integrated QTL detection for key breeding traits in multiple peach progenies. *BMC Genomics* 18: 404.
- Iglesias I, Peris M, Ruiz S, Rodrigo J, Malagón J, García F, López G, Bañuls P, Manzano MA, López-Corrales M, Rubio J. 2016c. El cultivo del cerezo en España: producción, mercado y consumo. *Revista de Fruticultura* 48: 6-39
- Iglesias, I. 2017 Nuevas variedades de melocotón, nectarina, pavia y melocotón plano: la mejora continua. *Revista de Fruticultura*, 58, 12-37.

- Iglesias, I., Bonany, J., Batlle, I., Cantín, C., Troglio, M., Allan, A.C., Friend, A., Espley, R.V., Lin-Wang, K., Chagné, D. and Volz, R.K. 2016a. The development of red skinned apples adapted to the warm climates of South European countries. *Chronica Horticulturae* 56 (1): 9-14.
- Iglesias, I., Bonany, J., Vilardell, P. y Ruiz, S. 2015. El cultivo del peral en España: tecnología de producción, consumo e intercambios comerciales. *Revista de Fruticultura. Especial* 45: 6-33.
- Iglesias, I., Carbó, J. y Bonany, J. 2016b Innovación varietal en manzana: situación y perspectivas de futuro. *Revista de Fruticultura: especial manzano* 52: 6-37.
- James, C.M. and Evans, K. 2004. Identification of Molecular Markers linked to the Mildew Resistance Genes PI-d and PI-w in Apple. *Acta Horticulturae* 663: 123-128.
- Jiménez, S., Reighard, G.L. and Bielenberg, D.G. 2010. Gene expression of DAM5 and DAM6 is suppressed by chilling temperatures and inversely correlated with bud break rate. *Plant Molecular Biology* 73: 157-167.
- Jomantiene, R., Zhao, Y., Lee, I.M. and Davis, R. E. 2011. Phytoplasmas infecting sour cherry and lilac represent two distinct lineages having close evolutionary affinities with clover phyllody phytoplasma. *European Journal of Plant Pathology* 130(1), 97–107.
- Joobeur T., M. A. Viruel, M. C. de Vicente, B. Jauregui, J Ballester. M. T. Dettori, I. Verde, M. J. Truco, R. Messeguer, I. Batlle, R. Quarta, E. Dirlewanger and P. Arús. 1998. Construction of a saturated marker linkage map for *Prunus* using an almond x peach F_2 -progeny. *Theor. and Appl. Genet.*, 97: 1034-1041.
- Kester, D.E. 1965. Inheritance of time of bloom in certain progenies of almond. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 87, 214–221
- Klagges, C., Campoy, J. A., Quero-García, J., Guzmán, A., Mansur, L., Gratacós, E. Ksouri, N., Jiménez, S., Wells, C.E., Contreras-Moreira, B. and Gogorcena, Y. 2016. Transcriptional Responses in Root and Leaf of *Prunus persica* under Drought Stress Using RNA Sequencing. *Front Plant Sci.* 7:1715.
- Ksouri, N., Jiménez, S., Wells, C.E., Contreras-Moreira, B., and Gogorcena, Y. 2016. Transcriptional responses in root and leaf of *Prunus persica* under drought stress using RNA sequencing. *Frontiers in Plant Science* 7: 1715.
- Kumar, S., Kirk, C., Deng, C., Wiedow, C., Knaebel, M. and Brewer, L. 2017. Genotyping-by-sequencing of pear (*Pyrus* spp.) accessions unravels novel patterns of genetic diversity and selection footprints. *Hortic Res.*; 4:17015.

- Leida, C., Conejero, A., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A., Llácer, G., Badenes, M.L. and Ríos G. 2012a. Chilling-dependent release of seed and bud dormancy in peach associates to common changes in gene expression. *PLoS ONE* 7:e35777.
- Leida, C., Conesa, A., Llácer, G., Badenes, M.L. and Ríos, G. 2012b. Histone modifications and expression of DAM6 gene in peach are modulated during bud dormancy release in a cultivar-dependent manner. *New Phytologist* 193: 67-80.
- Lichou, J. and Audubert, A. 1989. *L'abricotier*. Centre Technique Interprofessionnel 386 pp.
- Liu, L., He, Y., Dong, B., Han, F., Wu, Y.X. Tian, J.B. 2012. Review of the peach germplasm resources and breeding in China. *Acta Hort.* 940. 187-192.
- Lloret, A., Conejero, C., Leida, C., Petri, C., Gil-Muñoz, F., Burgos, L., Badenes, M.L. and Ríos, G. 2017b. Dual regulation of water retention and cell growth by a stress associated protein (SAP) gene in *Prunus*. *Scientific Reports* 7: 332.
- López-Corrales, M., Mateos, J. R., Alarcon, M. V, Banuls, P., Perez, F., Serradilla, M. J., Manzano, M. A. 2014. Sweet Cherry (*Prunus avium* L.) Breeding Program in Southern Spain. *Acta Horticulturae* 1020: 53-56.
- Mackay, J.F. and Powell, W. 2007. Methods for linkage disequilibrium mapping in crops. 618. *Trends in Plant Science* 12, 57-63.
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente). 2016. www.mapama.gob.es
- MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente). 2018. www.mapama.gob.es
- Mehlenbacher, S.A., Cociu, V. and Hough, L.F. 1991. Apricots (*Prunus*). In: Moore, J.N. and Ballington, J.R. (eds.) *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops*, International Society for Horticultural Science, Wageningen, pp. 65-107.
- Monet R. and Daniele B., 2008. Classical genetics and Breeding. In *The peach*. Botany, production and uses. Cap.3. Edited by Desmond R. Layne and Daniele Bassi. CAB international.
- Okie, W.R. and Hancock, J.F., 2008. Plums. In: Hancock, J.F. (Ed.), *Temperate Fruit Crop Breeding*. Springer, Netherlands, pp. 337-357.
- Olukolu, B.A., Trainin, T., Fan, S., Kole, C., Bielenberg, D, Reighard G, Abbott A. and Holland D. 2009. Genetic linkage mapping for molecular dissection of chilling requirement and budbreak in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Genome* 52, 819-828.

- Padilla G, Socias i Company R. and Ordás A. 2014. Molecular characterization of almond accessions from the island of La Palma (Canary Islands, Spain) using SSRs markers. *Plant Genet. Resour.* 12: 323-329.
- Patocchi, A., Frei, A., Frey, J. E. and Kellerhals, M. 2009. Towards improvement of marker assisted selection of apple scab resistant cultivars: *Venturia inaequalis* virulence surveys and standardization of molecular marker alleles associated with resistance genes. *Molecular Breeding* 24: 337-347.
- Pérez, S., Montes, S. and Mejía, C. 1993. Analysis of peach germplasm in Mexico. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118 (4): 519-524.
- Ramming, D.W. and Cociu, V. 1991. Plums (*Prunus*). In: Moore, J.N. and Ballington, J.R.J. (eds), *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops*, Acta Horticulturae, 290 ISHS, Wageningen, pp. 235–287.
- Raseira, M.C.B., Nakasu, B. H., Santos, A.M., Fortes, J.F., Martins, O.M., Raseira, A. and Bernardi, J. 1992. The CNPTF/EMBRAPA fruit breeding program in Brazil. *Hortscience* 27(1), 1154:1157.
- Richardson, E.A., Seeley, S.D., Walker, D.R. 1974. A model for estimating the completion of rest for “Redhaven” and “Elberta” peach trees. *Hortscience* 1, 331-332.
- Ríos, G., García-Brunton, J., Naval, M., Zuriaga, E., Conejero, A., Lloret, A., Gil-Muñoz, F. y Badenes, M.L. 2016. Fenología de frutales y adaptación a climas cambiantes. *Agrícola Vergel* 395: 241-243.
- Ríos, G., Leida, C., Conejero, A. and Badenes, M.L. 2014. Epigenetic regulation of bud dormancy events in perennial plants. *Frontiers in Plant Science* 5: 247.
- Rodrigo J. y Guerra M.E. 2014. Cerezo y Ciruelo, In: *Rural, Cajamar-Caja Rural (Ed.)*, La fruticultura del siglo XXI en España, España, pp. 107-122.
- Rodrigo J., Macarulla, B. y Escartín JJ 2016. Variedades de cerezo de maduración tardía. *Revista de Fruticultura* 47:18-25.
- Rodríguez_A, J., Sherman, W.B., Scorza, R. Wisniewski, R. and Okie, W.R. 1994. ‘Evergreen’ peach, its inheritance and dormant behaviour. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119 (4): 789-792.
- Romeu, J.F., Monforte, A.J., Sánchez, G., Granell, A., García-Brunton, J., Badenes, M.L. and Ríos, G. 2014. Quantitative trait loci affecting reproductive phenology in peach. *BMC Plant Biology* 14: 52.
- Rosyara, U. R., Bink, M. C. A. M., van de Weg, E., Zhang, G., Wang, D., Sebolt, A. Ru, S., Main, D., Evans, KM. and Peace, C. 2015. Current applications, challenges, and

perspectives of marker-assisted deedling selection in Rosaceae tree fruit breeding. *Tree Genetics & Genomes* 11: 8.

Rubio, M., Ruiz, D., Egea, J., Martínez-Gómez, P. and Dicenta, F. 2014. Opportunities of marker-assisted selection for Plum pox virus resistance in apricot breeding programs. *Tree Genetics and Genomes* 10, 513-525

Ruiz, D., Campoy, J.A. and Egea, J. 2007. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany* 61, 254-263.

Ruiz, D., Egea, J., Guevara, A., García, F., Carrillo, A. and Cos, J. 2015. New Japanese plum (*Prunus salicina* L.) breeding program in Murcia (Spain). Proceeding of the XIV Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics, Bologna, Italy.

Ruiz, D., Lambert, P., Audergon, J.M., Bureau S. Gouble, S., Reich, M., C.M.G.C., Renard, Dondini, L., Tarantini, S., Adami, F., Cervellati C., De Franceschi., Sansavini, S. Bassi, D. and Testolin, R. 2010. Identification of QTLs for fruit quality traits in apricot. *Acta Horticulturae* 862, 587-592.

Salazar et al., 2017

Salazar, J.A., Ruiz, D., Egea, J. and Martínez-Gómez, P. 2013. Inheritance of fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) and analysis of linked quantitative trait loci (QTLs) using simple sequence repeat (SSR) markers. *Plant Molecular Biology Reporter* 31, 1506-1517.

Sánchez-Pérez, R., Howad, D., Dicenta, F., Arús, P. and Martínez-Gómez, P. 2007b. Mapping major genes and quantitative trait loci controlling agronomic traits in almond. *Plant Breeding* 126, 310-318.

Sánchez-Pérez, R., Ortega, E., Duval, H., Martínez-Gómez, P. and Dicenta, F. 2007a. Inheritance and correlation of important agronomic traits in almond. *Euphytica* 155, 381-391.

Sancho, AI., van Ree, R., van Leeuwen, A., Meulenbroek, BJ., van de Weg, EW., Gilissen, LJ., Puehringer, H., Laimer, M., Martinelli, A., Zaccharini, M., Vazquez-Cortés, S., Fernandez-Rivas, M., Hoffmann-Sommergruber, K., Mills, EN., and Zuidmeer, L. 2008. Measurement of lipid transfer protein in 88 apple cultivars. *Int Arch Allergy Immunol.* 146(1):19-26.

Scorza, R. and Okie, W. R. 1991. Peaches (*Prunus*). *Acta Horticulturae* 290, 177-231.

Scorza, R. Sherman, W. B. 1996. Peaches. En *Fruit breeding. Vol I. Tree and Tropical fruits. Cap 7.* Edited by Jules Janick and James N. Moore. Jhon Wiley & Sons, Inc.

- Sherman, W.B., Topp, B.L. and Lyrene, P.M. 1992. Breeding low-chill Japanese-type plums for subtropical climates. *Acta Horticulturae*, 317, 149–153.
- Socias i Company, R. 1998. Fruit tree genetics at a turning point: the almond example. *Theor. and Appl. Genet.* 96: 588-601.
- Socias i Company, R., Felipe, A.J. and Gómez Aparisi, J. 1999. A major gene for flowering time in almond. *Plant Breeding* 118, 443–448.
- Socias i Company R., Espiau M.T., Kodad O., Fernández i Martí A., Alonso J.M. 2016. Capítulo 15. Almendro. En “Las variedades locales en la *mejora genética de plantas*” Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz. 480pp.
- Socias i Company, R. 2017a. Taxonomy, Botany and Physiology. In: Socias i Company, R., Gradziel, T.M. (Eds.), *Almonds: Botany, Production and Uses*. CABI Oxfordshire, UK. 1-42.
- Socias i Company, R 2017b. Pollen-style (In)compatibility: development of autogamous cultivars. In: Socias i Company, R., Gradziel, T.M. (Eds.), *Almonds: Botany, Production and Uses*. CABI Oxfordshire, UK. 188-208.
- Soriano, J.M., Domingo, M.L., Zuriaga, E., Romero, C., Zhebentyayeva, T., Abbott, A. and Badenes, M.L. 2012. Identification of simple sequence repeat markers tightly linked to Plum pox virus resistance in apricot. *Molecular Breeding* 30, 1017-1026.
- Stockinger, E. J., Mulinix, C. A., Long, C. M., Brettin, T. S., Iezzoni, A. F. 1996. A linkage map of sweet cherry based on RAPD analysis of a microspore-derived callus culture population. *Journal of Heredity* 87(3), 214–218.
- Topp, B.L., W.B. Sherman and M.C.B. Raseira. 2008. Cap. 3. Low-chill cultivar development. En *The peach. Botany, production and uses*. Edited by Desmond R. Layne and Daniele Bassi. CAB international.
- Topp, B.L., Russell, D.M., Neumüller, M., Dalbó, M.A. and Liu, W. 2012. Plum. In: Badenes, M.L. and Byrne, D.H. (eds), *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding* 8, Springer, New York, pp. 571-621.
- Velasco, R., Zharkikh, A., Affourtit, J., Dhingra, A. and Cestaro, A. 2010. The genome of the domesticated apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Nat Genet.* 42(10):833-9.
- Verde, I., Abbott, A.G., Scalabrin, S., Jung, S., Shu, S., Marroni, F., Zhebentyayeva, T., Dettoni, M.T., Grimwood, J., Cattonaro, F., Zuccolo, A., Rossini, L., Jenkins, J., Vendramin, E., Meisel, L.A., Decroocq, V., Sosinski, B., Prochnik, S., Mitros, T., Policriti, A., Cipriani, G., Dondini, L., Ficklin, S., Goodstein, D.M., Xuan, P., Del Fabbro, C., Aramini, V., Copetti, D., Gonzalez, S., Horner, D.S., Falchi, R., Lucas, S., Mica, E., Maldonado, J.,



- Lazzari, B., Bielenberg, D., Pirona, R., Miculan, M., Barakat, A., Testolin, R., Stella, A., Tartarini, S., Tonutti, P., Arús, P., Orellana, A., Wells, C., Main, D., Vizzotto, G., Silva, H., Salamini, F., Schmutz, J., Morgante, M. and Rokhsar, D.S. 2013. The high-quality draft genome of peach (*Prunus persica*) identifies unique patterns of genetic diversity, domestication and genome evolution. *Nature Genetics* 45: 487-494.
- Verde, I., Bassil, N., Scalabrin, S., Gilmore, B., Lawley, C.T., Gasic, K., Micheletti, D., Rosyara, U.R., Cattonaro, F., Vendramin, E., Main, D., Aramini, V., Blas, A.L., Mockler, T.C., Bryant, D.W., Wilhelm, L., Troggio, M., Sosinski, B.M.J., Arús, P., Iezzoni, A., Morgante, M., Peace, C. 2012. Development and evaluation of a 9K SNP array for peach by internationally coordinated SNP detection and validation in breeding germplasm. *Plos One* 7, 4.
- Vilanova, S., Romero, C., Abbott, A.G., Llácer, G. and Badenes, M.L. 2003. An apricot F2 progeny linkage map based on SSR and AFLP markers, mapping PPV resistance and self-incompatibility traits. *Theoretical and Applied Genetics* 107, 239-247.
- Vilanova, S., Romero, C., Burgos, L., Llácer, G. and Badenes, M. L. 2005. Identification of self-(in)compatibility alleles in apricot (*Prunus armeniaca* L.) by PCR and sequencing analysis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130, 893-898.
- Viruel, M.A. Messeguer R., de Vicente, M.C, García-Mas J. Puigdomènech P. Vargas, F. and Arús, P. 1995. A molecular marker map with RFLPs and isozymes for almond. *Theor. Appl. Genet.* 91: 964-971.
- Wang, D., Karle, R., Brettin, T. S., and Iezzoni, A. F. 1998. Genetic linkage map in sour cherry using RFLP markers. *Theoretical and applied genetics* 97(8): 1217-1224.
- Wang, J., Zhang, K., Zhang, X., Yan, G., Zhou, Y., Feng, L., Duan, X. 2015. Construction of commercial sweet cherry linkage maps and QTL analysis for trunk diameter. *PLoS ONE*, 10(10).
- Wang, Yu-Lin, 1985. Peach growing and germplasm in China. *Acta Horticulturae* 173, 51-55.
- Wu, J., Wang, Z., Shi Z., Zhang, S. and Ming, R., 2012. The genome of pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.). *Genome Res.* 23(2):396-408.
- Wünsch, A. and Hormaza, J. I. 2004b. Molecular evaluation of genetic diversity and S-allele composition of local Spanish sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *Genetic Resources and Crop Evolution* 51: 635-641.
- Wünsch, A. and Hormaza, J. I. 2004c. S-Allele identification in sweet cherry cultivars by PCR analysis. *Plant Breeding* 127:327-331.



- Wünsch, A.; López-Corrales, M.; Gella, R.; Jiménez, M.C.; Rodrigo, J.; Arbeloa, A. y Herrero, M. 2008. Caracterización y diversidad genética de variedades autóctonas de cerezo mediante SSRs. *Actas de Horticultura*, 51, 81-82.
- Xiong-wei Li, Xian-qiao Meng, Hui-juan Jia, Ming-liang Yu, Rui-juan Ma, Li-rong Wang, Ke Cao, Zhi-jun Shen, Liang Niu, Jian-bao Tian, Miao-jin Chen, Ming Xie, P. Arús, Zhong-shan Gao and M. J. Aranzana. 2013. Peach genetic resources: diversity, population structure and linkage disequilibrium. *BMC Genetics* 2013, 14:84.
- Zeinalabedini, M., Khayam-Nekoui, M., Grigorian V., Gradziel, T., Martínez-Gómez, P. 2010. The origin and dissemination of the cultivated almond as determined by nuclear and chloroplast SSR marker analysis. *Scientia Horticulturae* 125, 593-601.
- Zhang, G., Sebolt, A. M., Sooriyapathirana, S. S., Wang, D., Bink, M. C. A. M., Olmstead, J. W., Iezzoni, A. F. 2010. Fruit size QTL analysis of an F-1 population derived from a cross between a domesticated sweet cherry cultivar and 54 a wild forest sweet cherry. *Tree Genetics & Genomes*, 6(1), 25-36.
- Zhebentyayeva, T.N., Fan, S., Chandra, A., Bielenberg, D.G., Reighard, G.L., Okie, W.R. and Abbott, A.G. 2014. Dissection of chilling requirement and bloom date QTLs in peach using a whole genome sequencing of sibling trees from a F2 mapping population. *Tree Genet. Genomes* 10, 35-51.