

Alex Eduardo Salazar González

Mejora genética de patrones
Prunus: Compatibilidad patrón-
variedad en diferentes especies
frutales

Director/es

Val Falcón, Jesús
Moreno Sánchez, María Ángeles

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

© Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606

Tesis Doctoral

**MEJORA GENÉTICA DE PATRONES PRUNUS:
COMPATIBILIDAD PATRÓN-VARIEDAD EN
DIFERENTES ESPECIES FRUTALES**

Autor

Alex Eduardo Salazar González

Director/es

Val Falcón, Jesús
Moreno Sánchez, María Ángeles

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Escuela de Doctorado

Programa de Doctorado en Ciencias Agrarias y del Medio Natural

2020



Universidad
Zaragoza



Tesis Doctoral

**Mejora genética de patrones *Prunus*:
Compatibilidad patrón-variedad en diferentes especies
frutales**

Memoria presentada por Álex Salazar González, Máster en Ciencias Agropecuarias, para optar al grado de Doctor por la Universidad de Zaragoza.

Directores

Dra. María Ángeles Moreno Sánchez

Dr. Jesús Val Falcón

Zaragoza, 2019

Informe de los Directores de Tesis

Los Doctores María Ángeles Moreno Sánchez, Investigador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Jesús Val Falcón, Científico Titular del CSIC,

CERTIFICAN:

Que la Tesis Doctoral titulada “**Mejora genética de patrones *Prunus*. Compatibilidad patrón-variedad en diferentes especies frutales**”, ha sido realizada por el Ingeniero Agrónomo Don Alex Salazar González, en el Departamento de Pomología de la Estación Experimental de Aula Dei del CSIC, bajo su dirección, y que los objetivos planteados han sido cumplidos. Por lo tanto, se autoriza su presentación para optar por al Grado de Doctor.

Zaragoza, 30 de octubre de 2019.

Fdo. Dra. María Ángeles Moreno
Sánchez

Fdo. Dr. Jesús Val Falcón

“El conocimiento comienza por la práctica y todo conocimiento teórico, adquirido a través de la práctica, debe volver a la práctica.”

Anónimo

Agradecimiento

A mi Directora de Tesis, Marian Moreno, por su dirección del trabajo investigativo y su ejercicio de supervisión experimental, sus consejos y correcciones de tesis, su paciencia y apoyo, por lo cual, hoy puedo culminar este trabajo y esta etapa importante de mi vida, como lo es la formación como investigador y doctor.

A mi codirector, Jesús Val, por aceptarme como doctorando y dirigido durante este periodo de formación como investigador. Por colaborar prolijamente en las correcciones del manuscrito de tesis, y por su accionar juicioso y prudente en la solución de eventualidades, propias de un trabajo de investigación.

A Pilar Catalán por haberme aceptado en el Programa de Doctorado, así como por su apoyo y acciones objetividad e imparcialidad en momentos clave, que me aportaron sabiduría para el éxito de este trabajo de tesis.

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador, por financiar mis estudios a través de una beca de posgrado.

A la Estación Experimental de Aula Dei, desde su director Jesús Val Falcón quien puso a mis órdenes el apoyo institucional para sentirme parte de esta hermosa entidad y grupo humano, y hacer de esta estancia temporal, una experiencia inolvidable e invaluable, que ha dejado huella en mi vida, y que la llevaré en mi memoria por siempre.

A todos los miembros de esta institución, como personal administrativo, de apoyo en campo, e investigadores en general, por su grata compañía y afecto que percibí en estos años, haciendo que me sienta uno más de esta gran familia, especialmente a las personas trabajadoras de la “casa de labor”, Javier, Florín y Valero, así como Pedro Lucía, Fernando Gómez y Pedro Gracia, por sus ayuda y colaboración en campo, las cuales fueron fundamentales para mi optimo desempeño y aprendizaje.

A Najla Sauri, Gloria Somed, Chesco Montardí, Octavio Robles, Carlos Cantalapiedra, Jorge Castillo, Brenda Guerrero, José Luis Silva, Michele Colangelo, Mackki Khorchani, Sifeddine Ouahdani, Belkacem Neggaz, Matilda Merkohasanaj, Juan Carlos Asanza y Eugenia Armijos, compañeros doctorandos, por sus sabios consejos y amistad durante mi estancia en la EEAD. Gracias por siempre.

Dedicatoria

A mi esposa Maricela, a mis hijos Alejandra y Julián, quienes son mi motor y apoyo constante en esta etapa de mi vida. A mi padre Rómulo, por su entrañable cariño y apoyo de siempre, muchas gracias querido padre. A mi familia por su apoyo incondicional en todo momento de este proceso.

A mi madre, Mercedes, que estaría feliz en estos momentos y que me apoyó con sus consejos y cariño durante su vida. Por enseñarme, además, junto a mi padre, valores y principios morales como “honrrar la vida”.

A mis amigos ecuatorianos, Marlon Figueroa, Jaime Antonio Mogrovejo y Giovanni Mejía, que la vida nos dio la oportunidad de coincidir y conocernos lejos de nuestro país, consolidar una amistad, convertirnos en grandes amigos, y disfrutar de su apoyo y amistad. Por siempre, muchas gracias.

A todos quienes colaboraron y estuvieron cerca mío, gracias.

Resumen

La técnica del injerto en fruticultura permite adaptar especies a diferentes condiciones ambientales del suelo. La mejora genética ha desarrollado patrones con diferentes características de adaptación, tolerancia y/o resistencia a factores bióticos y abióticos del suelo, y control del vigor del árbol. El éxito del injerto depende de que la variedad y el patrón conformen una unidad funcional que llegue al periodo productivo con buena compatibilidad. Sin embargo, la falta de afinidad entre ambos componentes puede ocasionar distintos tipos de incompatibilidad con graves repercusiones económicas. Por ello, en este trabajo se estudió la compatibilidad patrón-variedad entre diferentes combinaciones de patrones *Prunus* y variedades de frutales de hueso. Se evaluaron patrones procedentes de distintos centros de investigación y con distinta base genética (diferentes especies de ciruelo, híbridos inter-específicos de ciruelo, híbridos almendro x melocotonero, etc.). Según los casos, fueron injertados con variedades de albaricoquero, almendro, cerezo, ciruelo y nectarina, y los árboles cultivados en viveros experimentales de la Estación Experimental de Aula Dei. El tipo de incompatibilidad ‘traslocada’ se diagnosticó mediante la observación de síntomas visuales en los árboles injertados (anomalías vegetativas) y la incompatibilidad ‘localizada’, mediante el análisis macroscópico de sus uniones de injerto. También, se estimó el contenido foliar de clorofila y vigor de los árboles. Se pudieron detectar los dos tipos de incompatibilidad patrón-variedad más habituales en las especies frutales de hueso: la incompatibilidad ‘traslocada’ y la ‘localizada’. La primera de ellas fue más frecuente en combinaciones de melocotonero y almendro, y la segunda en las combinaciones de albaricoquero, almendro, cerezo, ciruelo y melocotonero. También se observó la incompatibilidad ‘total’ con fallo de prendimiento del injerto en combinaciones con algunas variedades de albaricoquero, almendro y cerezo. Entre los patrones evaluados, las especies hexaploides de ciruelo, también denominados ‘ciruelos de crecimiento lento’ (*P. insititia*, *P. domestica*) presentaron, en general, un buen comportamiento desde el punto de vista de la compatibilidad y su polivalencia con albaricoquero, almendro, ciruelo y melocotonero. Esta polivalencia, indica el gran potencial de dichos patrones para el cultivo de dichas especies. Por el contrario, las especies diploides de ciruelo y algunos de sus híbridos, también denominados ‘ciruelos de crecimiento rápido’, entre ellos mirabolanes (*P. cerasifera*) y marianas (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*) mostraron, en general, mayores problemas de incompatibilidad, especialmente injertados con almendro y melocotonero. Esto supone una mayor reserva a la hora de escoger estos patrones para el cultivo de estas especies. Se confirmó el buen comportamiento de los patrones híbridos almendro x melocotonero (*P. dulcis* x *P. persica*) y otros híbridos con base genética de melocotonero y ciruelo, injertados con almendro y melocotonero. Con ciruelo y albaricoquero, el comportamiento de estos patrones fue muy variable según la variedad injertada, observándose casos de incompatibilidad ‘localizada’ con las variedades denominadas ‘exigentes’ en términos de incompatibilidad.

Abstract

The fruit grafting technique allows various species to adapt different environmental conditions soil. Genetic breeding has developed rootstocks with different characteristics of adaptation, tolerance and / or resistance to biotic and abiotic factors of the soil, and control tree vigour. The success graft depends on variety and rootstocks forming as functional unit that comes with good compatibility in the productive period. Graft incompatibility may be defined as failure to form a successful graft union. However, the absent of affinity between these two components may generate different types of incompatibility with serious economic repercussions. The aim of the work is to study the graft compatibility between different combinations of *Prunus* rootstocks and some varieties of stone fruit trees. The rootstocks were obtained from different research centers with different genetic bases (various species of plum, inter-specific plum hybrids, almond x peach hybrids). As the case it were grafted with almond, apricot, cherry, nectarine and plum varieties, and the trees were cultivated in experimental nurseries of the Aula Dei Experimental Station. 'Translocated' incompatibility to be evaluated by observing visual symptoms (vegetative anomalies) and 'localized' incompatibility throughout macroscopic analysis of graft unions. Also, the chlorophyll foliar content and tree vigor were estimated. The two most common types of rootstocks-scion incompatibility in fruit stone tree were detected: 'translocated' and 'localized'. The first one was more frequent in combinations of peach and almond, and the second in apricot, almond, cherry, plum and peach combinations. Besides, study the 'total' incompatibility with unsuccessful graft or 'graft failure' by some combinations with apricot tree, almond and cherry varieties. Among the rootstocks evaluation, the hexaploid plum species, also called 'slow-growing plums' (*P. insititia*, *P. domestica*) which presented, in general, a good behavior from the point of view of compatibility and their versatility with apricot tree, almond, plum and peach tree. This polyvalence indicates the great potential of these rootstocks for the cultivation of these species. In contrast, the diploid plum species and some hybrids also called 'fast-growing plums' between them the Myrobolan (*P. cerasifera*) and Marianas (*P. cerasifera*, *P. cerasifera* x *P. munsoniana*) showed, in general, main problems of incompatibility, especially they budded with apricot and almond scions. This implies a greater reserve when choosing these patterns for the cultivation of these species. The good performance was obtained from the almond-peach hybrids rootstocks (*P. dulcis* x *P. persica*) and others hybrids with genotype of peach and plum budded with almond and peach trees. With plum and apricot scions, the compatibility of these rootstocks were highly variable and depending on the grafted variety, showed some cases of localized incompatibility with the varieties so called 'exigents' according to the compatibility concept.

Índice general

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	El género <i>Prunus</i>	1
1.2.	La producción de frutales de hueso.....	1
1.3.	El uso de patrones en fruticultura.....	2
1.4.	Patrones francos de semilla.....	2
1.5.	Patrones Clonales.....	3
1.5.1.	Ciruelos de crecimiento lento	3
1.5.2.	Ciruelos de crecimiento rápido	3
1.5.3.	Híbridos almendro x melocotonero	4
1.6.	Patrones <i>Prunus</i> usados para ciruelo.....	4
1.7.	Patrones <i>Prunus</i> usados para albaricoquero.....	6
1.8.	Patrones <i>Prunus</i> usados para nectarina y melocotonero	8
1.9.	Patrones <i>Prunus</i> usados para almendro	9
1.10.	Patrones <i>Prunus</i> usados para cerezo.....	10
1.11.	Incompatibilidad entre patrón y variedad	11
1.11.1.	Incompatibilidad ‘traslocada’.....	12
1.11.2.	Incompatibilidad ‘localizada’.....	12
1.11.3.	Incompatibilidad ‘total’ y causada por virus.....	13
1.12.	La incompatibilidad y la detección temprana	13
1.13.	Características deseables en las nuevas selecciones de patrones	14
1.14.	Bibliografía.....	16
II.	OBJETIVOS.....	25
III.	Compatibilidad de variedades de ciruelo japonés injertadas sobre distintos patrones <i>Prunus</i>	27
III.1.	Introducción.....	29
III.2.	Materiales y métodos.....	31
III.2.1.	Material vegetal	31
III.2.2.	Estudio de compatibilidad	33
III.2.3.	Análisis de datos.....	34
III.3.	Resultados y discusión.....	34
III.4.	Bibliografía.....	46
IV.	Compatibilidad de variedades de albaricoquero injertadas sobre distintos patrones <i>Prunus</i>	51

IV.1. Introducción	53
IV.2. Materiales y métodos	56
IV. 2.1. Material vegetal.....	56
IV.2.2. Estudio de compatibilidad.....	57
IV.2.3. Análisis de datos.....	59
IV.3. Resultados y discusión	59
IV.4. Bibliografía.....	71
V. Compatibilidad de variedades de nectarina injertadas sobre distintos patrones <i>Prunus</i>	75
V.1. Introducción.....	77
V.2. Materiales y métodos.....	79
V.2.1. Material vegetal	79
V.2.2. Estudio de compatibilidad	80
V.2.3. Análisis estadístico.....	81
V.3. Resultados y discusión.....	81
V.4. Bibliografía	95
VI. Compatibilidad de variedades de almendro injertadas sobre distintos patrones <i>Prunus</i>	99
VI. 1. Introducción	101
VI.2. Materiales y métodos	104
VI.2.1. Material vegetal.....	104
VI.2.2. Estudio de compatibilidad.....	106
VI.2.3. Análisis estadístico	107
VI.3. Resultados y discusión	107
VI.4. Bibliografía.....	121
VII. Compatibilidad de variedades de cerezo injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’	127
VII.1. Introducción.....	129
VII.2. Materiales y métodos	132
VII.2.1. Material vegetal	132
VII.2.2. Estudio de compatibilidad	132
VII.2.3. Análisis estadístico.....	134
VII.3. Resultados y discusión	134
VII.4. Bibliografía	141
VIII. DISCUSIÓN GENERAL.....	145
BIBLIOGRAFÍA.....	154

IX. CONCLUSIONES	159
X. ANEXOS	161
X.1. Publicaciones	161

Índice de Tablas

Tabla III-1. Patrones <i>Prunus</i> usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de ciruelo japonés.....	32
Tabla III-2. Examen interno de las uniones de injerto para las variedades de ciruelo japonés ‘Angeleno’ y ‘Golden japan’ sobre distintos patrones <i>Prunus</i>	36
Tabla III-3. Área de la sección del tronco (ast) por encima y debajo de la unión de injerto (~5 cm) y en la línea de unión, de las variedades de ciruelo japonés ‘Angeleno’ y ‘Golden japan’ injertadas sobre diferentes patrones <i>Prunus</i> , a los tres años del injerto.	43
Tabla III-4. Área de la sección del tronco (AST) por encima, debajo (~5 cm) y en la unión de injerto de la variedad de ciruelo japonés ‘golden japan’ injertada en diferentes patrones <i>Prunus</i> , a los 7 años después del injerto.	45
Tabla IV-1. Patrones usados en el estudio de compatibilidad con variedades de albaricoquero.....	57
Tabla IV-2. Área de la sección del tronco (AST), por encima y por debajo de la unión de injerto (~5 cm) y en la zona de unión, de variedades de albaricoquero injertadas sobre diferentes patrones <i>Prunus</i> , tres años tras el injerto.	61
Tabla IV-3. Área de la sección del tronco (AST) por encima y debajo de la unión de injerto (~5 cm) y en la línea de unión de la variedad de albaricoquero ‘moniquí’, injertada sobre diferentes patrones <i>Prunus</i> , a los 7 años después del injerto.....	62
Tabla IV-4. Examen interno de uniones de injerto para dos variedades de albaricoquero injertadas sobre distintos patrones <i>Prunus</i>	63
Tabla IV-5. Valores de SPAD en hojas de la variedad de albaricoquero ‘moniquí’ injertada sobre diferentes patrones <i>Prunus</i> , a los dos y tres años después del injerto.	70
Tabla V-1. Patrones <i>Prunus</i> usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de nectarina.	79
Tabla V-2. Compatibilidad patrón-variedad y examen interno de la unión patrón-variedad de distintos patrones <i>Prunus</i> injertados con dos variedades de nectarina.	83
Tabla V-3. Vigor (AST, cm ²) de los árboles de distintos patrones <i>Prunus</i> injertados con dos variedades de nectarina, a los dos y tres años después del injerto.....	84
Tabla V-4. Vigor (AST, cm ²) por encima de la unión, en la propia unión y por debajo de la unión de los árboles injertados con las dos variedades de nectarina, tres años después del injerto.	92
Tabla V-5. Medidas de spad de las variedades de nectarina ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ injertadas sobre diferentes patrones <i>Prunus</i> , a los dos y tres años después del injerto.	93
Tabla VI-1. Patrones usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de almendro.....	105
Tabla VI-2. Comportamiento en vivero, análisis macroscópico de uniones de injerto y valores de spad en hojas, de tres variedades de almendro injertadas sobre distintos patrones <i>Prunus</i>	110

Tabla VI-3. Área de la sección del tronco (AST) por encima (~5 cm), debajo (~5 cm) y en la unión de injerto de tres variedades de almendro injertadas sobre diferentes patrones <i>Prunus</i> , a los 3 años después del injerto.	118
Tabla VII-1. Patrones usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de cerezo.	132
Tabla VII-2. Altura, área de la sección del tronco de la variedad (AST) y valores de spad de variedades de cerezo injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’ en condiciones de vivero.....	135
Tabla VII-3. Área de la sección del tronco (AST) por encima y debajo de la unión de injerto (~10 cm) y en la línea de unión de variedades de cerezo injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’, a los 3 años después del injerto.	136
Tabla VII-4. Compatibilidad patrón-variedad y examen interno de las uniones de injerto de los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’ injertados con variedades de cerezo.	139

Índice de Figuras

Figura III-1. Uniones de injerto serradas en el plano radial-longitudinal para su análisis macroscópico. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).	34
Figura III-2. Árboles en vivero de un año después del injerto con la variedad de ciruelo japonés ‘Angeleno’ injertada sobre los patrones ‘AP-45’ (izquierda) y ‘Aprimed AP-65’ derecha).	35
Figura III-3. Uniones de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘Mirobolán B’ a los 7 años tras el injerto (categoría D) (izquierda). Uniones de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘AP-45’ (categoría C) (derecha), a los tres años tras el injerto.	38
Figura III-4. Uniones de las combinaciones de 7 años de injerto con síntomas similares al ‘Prune Brown Line’. ‘Golden Japan’ / ‘Mirobolán GF 8-1’ (izquierda). ‘Golden Japan’ / ‘Mirobolán GF 3-1’ (derecha).	39
Figura III-5. Uniones compatibles de árboles de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘Adafuel’ (izquierda) y ‘Golden Japan’ / ‘PADAC 99-05’ (derecha), tres años después del injerto.	40
Figura III-6. Uniones de árboles de tres años, de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘PADAC 04-01’ (izquierda) y ‘Golden Japan’ / ‘AP-45’ (derecha).	41
Figura III-7. Valores de SPAD y Área de la sección del tronco (AST, cm ²) por encima de la unión de las variedades de ciruelo japonés ‘Angeleno’ y ‘Golden Japan’, injertadas sobre distintos patrones Prunus, a los tres años del injerto.	42
Figura IV-1. Uniones serradas en el plano radial-longitudinal para el análisis macroscópico de uniones de injerto. Clasificación en categorías (A, B, C, D y E) de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).	58
Figura IV-2. Variedad ‘Moniquí’ injertada sobre los patrones ‘Mirocal’ (izquierda) y ‘Nanopac (R-40)’ (derecha) un año después del injerto.	59
Figura IV-3. Aspecto exterior de las uniones de la variedad ‘Moniquí’ injertada sobre los patrones ‘Mirobolán B’ (a) y ‘Mirocal’ (b).	60
Figura IV-4. Uniones de árboles de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘Nanopac R-40’ (a) y ‘Portici’ / ‘Nanopac R-40’ (b), a los tres (izquierda) y dos años (derecha) después del injerto.	64
Figura IV-5. Uniones de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘AP 45’ (a), ‘Portici’ / ‘AP-45’ (b) y ‘Moniquí’ / ‘RC GF 1380’ (c), a los tres años del injerto.	65
Figura IV-6. Uniones de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘Densipac R-20’ (izquierda), y ‘Portici’ / ‘Densipac R-20’ (derecha), tres años tras el injerto.	66
Figura IV-7. Uniones de árboles de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘PADAC 99-05’ (a) y ‘Portici’ / ‘PADAC 99-05’ (b), tres años tras el injerto.	66
Figura IV-8. Uniones incompatibles de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘Mirobolán B’ (a) y ‘Moniquí’ / ‘Mirocal’ (b), 7 años tras el injerto.	67
Figura IV-9. Uniones incompatibles de la variedad ‘Moniquí’ sobre el patrón ‘Replantpac RR’ a los 3 años (a) y ‘Deep Purple’ (b) y ‘Krymsk 1’ (c), a los 7 años tras el injerto.	69

Figura V-1. Uniones serradas en el plano radial-longitudinal para el análisis macroscópico de uniones de injerto. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).....	81
Figura V-2. Árboles de los patrones ‘GF 677’ (izquierda) y ‘Cadaman’ (derecha) injertados con la variedad ‘Summergrand’, dos años después del injerto.	82
Figura V-3. Árboles de los patrones ‘Nanopac R-40’ (izquierda), ‘Adafuel’ (centro) y ‘Cadaman’ (derecha) injertados con la variedad ‘Summergrand’, dos años después del injerto.....	85
Figura V-4. Árboles de los patrones ‘San Julián A’ (izquierda) y ‘PM 101 AD’ injertados con la variedad de nectarina ‘Summergrand’, tres años después del injerto.	86
Figura V-5. Árboles de los patrones ‘RC GF 1380’ (izquierda) y ‘AP-45’ (derecha) injertados con la variedad de nectarina ‘Summergrand’, tres años tras el injerto...	87
Figura V-6. Uniones de injerto de los patrones ‘PADAC 99-05’ (izquierda), ‘Replantpac RR’ (centro) y ‘Aprimed AP 65’ (derecha) injertados con la variedad ‘Summergrand’, tres años tras el injerto.	87
Figura V-7. Árboles de las combinaciones ‘Summergrand’ / ‘Damas GF 1869’ (izquierda) y ‘Big Top’ / ‘Aprimed AP 65’ (derecha), dos años después del injerto.	88
Figura V-8. Árboles de ‘Summergrand’ / ‘AP-45’ (izquierda) y ‘Summergrand’ / ‘Aprimed AP-65’ (derecha), dos años después del injerto, en condiciones de vivero.	89
Figura V-9. Árboles del patrón ‘Isthara’ injertado con la variedad de nectarina ‘Summergrand’, dos años después del injerto (izquierda), y uniones de tres años de injerto (derecha).	90
Figura V-10. Uniones de árboles de las combinaciones ‘Summergrand’ / ‘Densipac R-20’ (izquierda) y ‘Big Top’ / ‘Replantpac RR’ (derecha), tres años después del injerto.	91
Figura VI-1. Uniones serradas para el análisis macroscópico. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951): A, B, C, D y E.	107
Figura VI-2. Uniones incompatibles de árboles de la combinación ‘Nonpareil’ / ‘PM 105 AD’ (izquierda) y ‘Soleta’ / ‘PM 105 AD’ (derecha), dos años después del injerto.	108
Figura VI-3. Uniones compatibles de árboles de la combinación ‘Soleta’ / ‘Constantí 1’, un año después del injerto.	109
Figura VI-4. Árboles en vivero de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ injertada sobre el patrón ‘Ademir’, de dos años después del injerto. Síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ (a) y anomalías de la unión de injerto (b y c).	112
Figura VI-5. Uniones de árboles de la combinación ‘Lauranne’ / ‘Ademir’ con dos años (izquierda) y tres años tras el injerto (derecha) clasificadas en la categoría A (compatible).	113
Figura VI-6. Uniones de árboles de la combinación ‘Soleta’ / ‘Ademir’ dos años tras el injerto, clasificadas en la categoría D (incompatible).	113

Figura VI-7. Árboles en vivero con dos años después del injerto de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ injertada sobre los patrones híbridos inter-específicos ‘Isthara’ (izquierda) y ‘Damas GF 1869’ (derecha).....	114
Figura VI-8. Árboles en vivero de dos años tras el injerto de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ sobre el patrón ‘Densipac R-20’.....	115
Figura VI-9. Árboles en vivero de dos años tras el injerto de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ sobre el patrón ‘Densipac R-20’.....	116
Figura VI-10. Árboles en vivero de dos años tras el injerto de la variedad de almendro ‘Soleta’ injertada sobre los híbridos ‘Aprimed AP-65’ y ‘AP-45’ dos años tras el injerto.	116
Figura VI-11. Uniones de la variedad de almendro ‘Soleta’ injertada sobre el patrón ‘Nanopac R-40, dos años tras el injerto.	117
Figura VII-1. Uniones de injerto serradas en el plano radial-longitudinal para su análisis macroscópico. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).	133
Figura VII-2. Árboles en vivero de dos años tras el injerto de las variedades de cerezo ‘Kordia’ y ‘Carmen’ injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’, respectivamente.....	134
Figura VII-3. Uniones incompatibles de árboles de la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’, tres años después del injerto.....	138
Figura VII-4. Uniones compatibles de árboles de las combinaciones ‘Aida’ / ‘Adara’ (izquierda) y ‘Carmen’ / ‘Adara’, tres años después del injerto.	138

I. INTRODUCCIÓN

1.1. El género *Prunus*

La familia *Rosaceae* comprende casi un centenar de géneros de frutales. Entre los más importantes se pueden citar el género *Malus* (manzanas), *Pyrus* (perales), *Fragaria* (fresas), *Rosa* (rosas) y *Prunus* (frutales de hueso) (Hancock et al., 2008). El género *Prunus* es uno de los más importantes desde el punto de vista agrícola, con unas 20 especies ampliamente cultivadas a nivel mundial (Bortiri et al., 2006). Este género se subdivide en cinco grandes subgéneros: *Prunus* (albaricoquero y ciruelo), *Amygdalus* (melocotonero y almendro) y *Cerasus* (cerezo), entre los de mayor importancia, y *Laurocerasus* y *Padus*, con especies de menor importancia (Lee y Wen, 2001).

1.2. La producción de frutales de hueso

La producción mundial de frutales de hueso se acerca a los 46 millones de toneladas. A nivel de la Unión Europea la producción de frutales de hueso es de aproximadamente 7.134.000 t (FAOSTAT, 2019). Entre los frutales de hueso más producidos en Europa, destacan el albaricoquero, cerezo, ciruelo y melocotonero, así como el almendro, con una producción creciente en los últimos años. España produce cerca de 2.138.000 t de fruta de estas especies, distribuidas principalmente entre albaricoquero (125.335 t), almendro (202.339 t), cerezo (94.138 t), ciruelo (222.020 t), melocotonero (902.925 t) y nectarina (619.994 t) en 2017 (FAOSTAT, 2019).

Las variedades comerciales se injertan sobre ‘patrones’ o ‘pies’, práctica que ha permitido adaptar dichas variedades a las condiciones edafológicas de las diferentes zonas climáticas (Garner, 2003). Un frutal comercial está conformado por dos componentes, la parte inferior que constituye el patrón y la parte aérea o superior que corresponde a la variedad. La primera aporta el sistema radicular y, por tanto, la adaptación al medio biótico y abiótico del suelo; mientras que la variedad aporta las características de fruto, relacionadas con el color del fruto, sabor, firmeza, etc. (Cantín et al., 2009a, 2009b; Gainza et al., 2015a). Cuando los dos componentes, patrón y variedad, conforman una unidad, pueden convivir en armonía formando un ser especializado en la producción de frutos, aunque también es posible observar sus desavenencias, incompatibilidad o falta de afinidad (Herrero, 1955; Errea et al., 2001; Pina-Sobrino, 2006; Hartman et al., 2014; Zarrouk, 2006).

El uso de patrones en fruticultura es un proceso dinámico debido a las constantes necesidades del sector productivo. El patrón seleccionado puede influir en el vigor de la

variedad injertada, adaptando las plantas al sistema de cultivo y a las necesidades del productor (Iglesias y Carbó, 2006). Un patrón tolerante a la asfixia de raíces y a la clorosis férrica, o resistente a algunos patógenos de suelo como los nematodos, permite que una variedad comercial se adapte a las condiciones del suelo desfavorables. Además de adaptar variedades a diferentes condiciones de suelo (Gainza et al., 2015a), permite controlar aspectos productivos, como el vigor del árbol (Font i Forcada et al., 2012a; Weibel et al., 2003), los periodos de entrada en producción y los requerimientos de calidad del fruto (Reighard y Loreti, 2008). En general, el uso de patrones permite mejorar las condiciones de cultivo y de producción. El uso de patrones poco vigorosos, para reducir el coste del mantenimiento de la plantación, y patrones de elevado vigor, para suelos con baja fertilidad y con problemas de replantación, son características deseadas en las nuevas selecciones (Bujdosó y Hrotkó, 2016; Tombesi et al., 2017).

1.3. El uso de patrones en fruticultura

En la actualidad, se usan patrones según las especies consideradas, y, en general, se pueden agrupar en patrones francos de semilla y clonales, de reproducción vegetativa. Para las especies frutales de hueso, se usan patrones con base genética de almendro, ciruelo, cerezo, melocotonero e híbridos ‘interespecíficos’ que han sido desarrollados para adaptar las variedades a factores bióticos y/o abióticos de las diferentes condiciones edafo-climáticas.

1.4. Patrones francos de semilla

Los patrones francos de semilla son aquellos provenientes de la propagación por semilla de la misma especie que la variedad injertada (Howard, 1987) y se usan de forma generalizada para algunos frutales de hueso. No obstante, en la actualidad, la propagación de los patrones frutales se hace mayoritariamente de forma vegetativa o clonalmente, lo que asegura la homogeneidad del desarrollo del árbol y de la producción (Felipe, 1989).

Entre los patrones francos de semilla de una misma especie, pueden citarse los usados para albaricoquero, almendro y cerezo. Estos patrones presentan la ventaja de una buena compatibilidad con todas las variedades. Otros patrones francos también usados para albaricoquero son los francos de melocotonero, como ‘Montclar’ y ‘Rubira’. Sin embargo, ‘Montclar’ presenta frecuente incompatibilidad dependiendo de la variedad (Iglesias y Alegre, 2014). En el caso de cerezo, también destacan algunos patrones francos de semilla de diferentes especies por ser los más utilizados. Entre ellos, los patrones francos de semilla de *P. avium* y de *P. mahaleb* (‘Pontaleb’ y ‘Santa Lucía’). Los francos

de *P. avium* como ‘F 12 / 1’, tienen buen comportamiento en suelos francos, pero son vigorosos, poco uniformes y poco adaptados a suelos calizos. En el caso del almendro, los patrones tradicionalmente usados han sido los francos de su misma especie, a partir de variedades de almendro como ‘Desmayo-Largueta’, Garrigues’ o ‘Atocha’. Sin embargo, generan gran cantidad de anticipados en la zona de injerto, lo que encarece el mantenimiento del cultivo, son sensibles a nematodos, hongos del suelo y al ataque de gusano cabezudo (Felipe, 1989; Rubio-Cabetas, 2010).

1.5. Patrones Clonales

Los patrones clonales se obtienen mediante multiplicación vegetativa, generalmente por etaquillado leñoso o acodo. Existen en el mercado un gran número de patrones clonales, pertenecientes a distintas especies, que pueden utilizarse como portainjertos de albaricoquero, melocotonero, cerezo, ciruelo, etc. En cerezo, el patrón clonal de ‘Santa Lucía’ (*P. mahaleb*) ‘SL 64’, se adapta bien a suelos calizos y bien drenados. Este patrón no presenta incompatibilidad y es tolerante a clorosis férrica (Moreno et al., 2008), aunque sensible a problemas de asfixia de raíces en suelos compactos (Iglesias et al., 2016; Moreno et al., 2001).

1.5.1. Ciruelos de crecimiento lento

En este grupo de patrones se incluyen las especies de ciruelo *P. insititia* y *P. domestica*. En general, estos patrones exhiben una notable tolerancia a la asfixia de raíces por lo que se adaptan bien a suelos pesados (Moreno et al., 2008, 1995c; Reig et al., 2018a) y son tolerantes a la clorosis férrica en suelos calizos con alto contenido de caliza activa (Felipe et al., 1997b; Iglesias y Carbó, 2006). Muchos de estos patrones son inmunes a los nematodos agalladores de la raíz (Moreno, 2004; Reig et al., 2018b). Sin embargo, presentan excesiva tendencia a la emisión de sierpes o rebrotes de raíz (Iglesias y Carbó, 2006) y algunos problemas de propagación vegetativa y desarrollo en vivero (Moreno, 2004).

1.5.2. Ciruelos de crecimiento rápido

Estos patrones se caracterizan por un crecimiento vigoroso durante los primeros años, cierta polivalencia con las variedades injertadas de ciruelo y albaricoquero (Frutos et al., 2014; Moreno et al., 1995a, 1995b; Reig et al., 2018a), aunque menor que la que presentan los ciruelos de crecimiento lento. Entre estos patrones destacan los Mirobolanes (*P. cerasifera*) los cuales son muy vigorosos, y tolerantes a condiciones de asfixia de raíces en suelos compactos y calizos (Moreno et al., 1995b; Moreno et al., 1996). En este

grupo de patrones destacan ‘Adara’ y ‘Ademir’ (*P. cerasifera*), el primero como patrón más usado para cerezo y ‘Ademir’ como patrón para variedades de ciruelo, ambos con buen comportamiento en suelos pesados, calizos y con problemas de nematodos (López-Ortega et al., 2016; Moreno et al., 1996; Moreno et al., 1995a, 1995b) y con excelente capacidad de propagación por estaquillado leñoso (M. Á. Moreno, 2004).

En este grupo de patrones también se incluyen los híbridos denominados Mariana (*P. cerasifera* Ehrh. x *P. munsoniana*). Entre los más destacados, se encuentran Mariana GF 8-1 y Mariana 2624.

1.5.3. Híbridos almendro x melocotonero

El uso de estos patrones confiere ventajas como un buen comportamiento en suelos calizos, rápida entrada en producción, y buena compatibilidad con almendro y melocotonero. Presentan elevada tolerancia a la clorosis férrica en suelos calizos (Socias i Company et al., 1995). Destacan en este grupo los patrones ‘Adafuel’, ‘Adarcias’, ‘GF 677’, entre otros. Mientras que ‘Adafuel’ y ‘GF 677’ inducen elevado vigor sobre la variedad injertada (Moreno et al., 1994), ‘Adarcias’ controla el vigor del árbol (Moreno y Cambra, 1994), característica de gran importancia en la actualidad, desde el punto de vista productivo. Estos híbridos, sin embargo, son susceptibles, en general, a la asfixia de raíces en suelos pesados así como a *Phytophthora*, *Armillaria* y *Agrobacterium* (Reighard y Loreti, 2008), por lo que requieren suelos bien drenados (Mestre et al., 2015; Rubio Cabetas, 2016).

‘Adafuel’ es resistente al oidio (*Sphaerotheca pannosa*), a la roya (*Tranzschelia pruni-spinosae*) y a *Corineum beijerinckii* (Cambra, 1990; Reighard y Loreti, 2008). Constituye un excelente patrón para almendro y melocotonero, en suelos libres de nematodos y bien drenados (Moreno et al., 1994; Reighard y Loreti, 2008; Rubio Cabetas et al., 2016).

Los híbridos almendro x melocotonero además de la tolerancia a la clorosis férrica, se adaptan bien a suelos pobres (Iglesias et al., 2001), razón por la cual son de gran interés para el sector, en suelos pobres y con problemas de fertilidad (Moreno et al., 1994).

1.6. Patrones *Prunus* usados para ciruelo

España es uno de los principales productores de ciruela de la Unión Europea, especialmente de ciruela japonesa (Moreno y Negueroles, 2001). En el año 2016 se produjeron 193.000 toneladas en una superficie de 15.000 ha (FAOSTAT, 2017). Entre las variedades de ciruelo japonés (*P. salicina*), destacan las variedades ‘Angeleno’ y

‘Black Diamond’ las cuales constituyen cerca del 50% de la producción nacional. También se cultivan variedades de piel roja, como ‘Fortune’, ‘Larry Ann’ y ‘Red Beaut’, y de piel amarilla, como ‘Songold’, ‘Golden Globe’ y ‘Golden Japan’ (Wünsch et al., 2011). Entre las variedades de ciruelo europeo (*P. domestica* L.) más cultivadas, están las Reinas Claudias, destacando ‘Reina Claudia Verde’, la más apreciada, y ‘Reina Claudia de Babay’ (Tolosa) (Reig et al., 2019).

El ciruelo es uno de los frutales que cuenta con un mayor número de patrones. En general, la selección clonal de patrones ciruelo ha respondido en los últimos años a la necesidad de obtener resistencia a nematodos y a enfermedades del suelo, tolerancia a la asfixia de raíces o a la sequía, incrementar la compatibilidad con variedades comerciales y facilitar la propagación.

Los patrones para ciruelo han sido clasificados en dos grandes grupos, los denominados de crecimiento lento (Moreno et al., 1995b) y los de crecimiento rápido (Moreno, 2004). Entre los patrones ciruelo de crecimiento lento, se pueden destacar los de las especies hexaploides *P. domestica*, denominados ciruelos comunes, y *P. insititia*. Los Pollizos de Murcia (*P. insititia*), y los ciruelos San Julián (‘San Julián A’ y ‘San Julián GF 655-2’) tienen tolerancia a clorosis, asfixia y salinidad (Cambra, 1970; Moreno et al., 1995b). En este grupo de patrones, se pueden incluir los patrones ‘Penta’, ‘Tetra’ y los ‘Pollizos de Murcia’: ‘Adesoto 101’, ‘Monpol’ y ‘Montizo’. Otros híbridos interespecíficos de ciruelo como ‘Isthara’ [$(P. cerasifera \times P. salicina) \times (P. domestica \times P. persica)$], ‘Jaspi’ [$(P. cerasifera) \times (P. salicina) \times P. spinosa$] y ‘Krymsk-1’ ($P. tomentosa \times P. persica$), proporcionan características deseables para variedades de ciruelo europeo (*P. domestica*) y japonés (*P. salicina*) (Felipe et al., 1997a).

Los patrones de crecimiento rápido incluyen las especies diploides *P. cerasifera* Ehrh. (Mirobolán) y *P. salicina* Lindl (ciruelo japonés), así como los híbridos interespecíficos del grupo Mariana ($P. cerasifera \times P. munsoniana$) (Moreno, 2004). Son resistentes a nematodos, responden bien en suelos pesados, pero son susceptibles a hongos del suelo y a virus. Además poseen excesivos rebrotes de patrón o tendencia al serpeo (Frutos et al., 2014).

Entre los ciruelos de crecimiento lento, destacan las selecciones ‘Penta’, ‘Tetra’ y ‘Torinel’ (*P. domestica*) y ‘Adesoto’ (*P. insititia*) con gran resistencia a nematodos (Reighard, 2000). También destacan los ciruelos de crecimiento rápido, como ‘Mirobolán B’ (*P. cerasifera* Ehrh.), algunos Mariana ($P. cerasifera \times P. munsoniana$) como ‘Mariana 2624’ y ‘Mariana GF 8-1, y el ‘Mirobolán 29 C’ (Oki, 1987). El patrón ‘Mariana

2624' (*P. cerasifera* × *P. munsoniana*) con efecto vigorizante sobre las variedades injertadas, tiene problemas de anclaje en su etapa juvenil, bastantes rebrotes de raíz y es susceptible a las bacterias que causan el 'chancro bacteriano' (Cambra, 1979; Pina-Sobrino, 2006).

Sin embargo, al usar especies como patrón distintas a las de la variedad injertada, podrían provocar incompatibilidad de injerto. Por ejemplo, las observadas con variedades del grupo 'Reina Claudia' injertadas sobre 'Mirobolán B' (M. Á. Moreno et al., 1995b). El uso de melocotonero o almendro como patrones de ciruelo, es también desaconsejado dada su incompatibilidad de injerto (Moreno et al., 1995b; Tabuenca y Moreno, 1988). No obstante, el uso de híbridos almendro x melocotonero constituye una alternativa en suelos calizos y pobres, aunque también podrían presentar casos de incompatibilidad y requieren ser evaluados previamente (Reig et al., 2019).

1.7. Patrones *Prunus* usados para albaricoquero

El albaricoqueo (*Prunus armeniaca* L.) pertenece al género *Prunus*, subgénero *Prunophora*, subfamilia *Prunoidae* de la familia *Rosaceae* (Rieger, 2006). Se cree que es originario de China, en particular de la zona de la Gran Muralla China y no de Armenia, como supone su nombre (*P. armeniaca*) (Ghorpade y Hanna, 1995; Rieger, 2006). Otro posible centro de origen es la zona de Asia central o la zona del este del Cáucaso, Irán y Turquía (Rieger, 2006). Se cultiva desde hace más de 3000 años aunque existen documentos que refieren su cultivo durante el régimen del emperador Yu (entre 2205 y 2198 A.C.) (Faust et al., 1998). Tuvo un importante auge en Europa durante el siglo XVII, llegando a América gracias a los españoles e ingleses (Faust et al., 1998).

El principal productor de albaricoquero a nivel mundial es Turquía (800.000 t), seguido por Irán, Uzbekistán, Italia, Pakistán, Argelia, Francia, Marruecos, Japón y España, entre otros (Egea y Ruiz, 2014a; Rieger, 2006). El albaricoquero es una de las especies frutales de mayor producción en España, aunque muy por detrás de otras especies de hueso, como melocotonero y ciruelo. La producción de albaricoquero llegó a 122.000 toneladas y 17.600 ha de cultivo en 2016 (FAOSTAT, 2017).

Tradicionalmente el albaricoquero (*P. armeniaca*) ha sido injertado en patrones francos de la misma especie, debido a su buen comportamiento y buena compatibilidad (Hernández et al., 2010) y adaptación en suelos bien drenados, con pH entre 6,5 y 7,5 y menos del 8% de caliza activa (Tsipouridis, 1999). Es un cultivo que se adapta bien en climas mediterráneos, donde las heladas son escasas (Rieger, 2006). No obstante, requiere

climas fríos para romper el letargo invernal, y primaveras secas y veranos cálidos para producir una fruta de calidad. El albaricoquero es tolerante al frío cuando está en periodo de reposo (Roussos et al., 2016).

Debido a la incompatibilidad de albaricoquero con otras especies *Prunus*, los patrones más comúnmente usados han sido los denominados francos de la misma especie, dada su buena compatibilidad y su buen desarrollo, siendo, en general, poco exigentes en cuanto a calidad del suelo (Egea y Ruiz, 2014b; Felipe, 1989). También los patrones francos de albaricoquero destacan por ser, en general, resistentes a nematodos del género *Meloydogine* spp y a algunos lesionadores como *Pratylenchus vulnus* (Zhebentyayeva et al., 2012). Sin embargo, presentan elevada sensibilidad a la asfixia de raíces, con exceso de humedad del suelo, por lo que requieren suelos bien drenados para su cultivo. Además inducen elevado vigor en las variedades injertadas (Felipe, 1990).

Dadas las necesidades de producción de la fruticultura moderna, se requiere controlar el vigor de las nuevas plantaciones y disminuir el coste de producción (Zarrouk, 2006). Además, los patrones francos al ser sensibles a la asfixia de raíces, no se adaptan bien, y presentan problemas de enfermedades causadas por hongos como las podredumbres de cuello y raíces. Otra de las limitaciones es que generan plantaciones poco uniformes, heterogeneidad de otras características productivas (Moreno, 2009) y susceptibilidad a *Phytophthora* y *Armillaria* (Hernández et al., 2010).

Debido a la necesidad de cultivar en suelos con regadío, poco profundos y con alto contenido de caliza, se utilizan los patrones ciruelo adaptados a estas condiciones de suelo. Además, inducen un vigor moderado sobre la variedad injertada (menor que los francos de albaricoquero) y una rápida entrada en producción (Felipe, 1990). Sin embargo, algunas variedades de albaricoquero como ‘Moniquí’ generalmente presentan incompatibilidad ‘localizada’ en estos patrones (Bernhard, 1990).

Se ha clasificado a las variedades de albaricoquero en ‘exigentes’ y ‘no exigentes’ desde el punto de vista de la compatibilidad de injerto (Cossa-Raynaud y Audergon, 1987; Borruey y Errea, 2000; Pina y Errea, 2005). Entre las variedades ‘exigentes’ destacan ‘Canino’ o ‘Moniquí’, y entre las ‘no exigentes’, se pueden mencionar ‘Paviot’ y ‘Búlida’ (Reig et al., 2018b). La incompatibilidad también está muy relacionada con el patrón utilizado. Dentro del grupo de ciruelos de crecimiento rápido, los patrones Mirobolán (*P. cerasifera*) y Mariana (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*), presentan elevada frecuencia de incompatibilidad con las variedades denominadas ‘exigentes’ (Errea et al., 1994a; Pina-Sobrino, 2006; Reig et al., 2018b).

Contrariamente, las variedades ‘poco exigentes’ presentan mejor compatibilidad. Reig et al. (2018b) mencionó que las variedades ‘poco exigentes’ ‘Búlida’ y ‘Paviot’ de manera general mostraban buena compatibilidad con los ciruelos de crecimiento rápido (marianas y mirobolanes), exceptuando los patrones ‘Mariana 2624’ y ‘Miral’. Las variedades ‘exigentes’ ‘Canino’ y ‘Moniquí’, mostraron mayor frecuencia de incompatibilidad con este mismo grupo de patrones.

En España, también se han usado los Pollizos de Murcia (*P. insititia*) y otras especies (*P. domestica*) (Cambra, 1979; Moreno, 2004; Rodrigo et al., 2002; Zarrouk, 2006) y a nivel mundial, se han seleccionado algunos patrones ciruelo utilizando la especie *Prunus besseyi*. Estos patrones, inducen menor vigor sobre la variedad injertada, pudiendo ser incompatibles en algunos casos (Reig et al., 2019; Zarrouk, 2006; Reighard y Loreti, 2008; Gordon, 1991; Layne, 1987).

1.8. Patrones *Prunus* usados para nectarina y melocotonero

El melocotonero [(*Prunus persica* L.) Batsch.], se originó en las regiones montañosas del Tibet y del suroeste de China, de donde pasó a la India, Persia y de ahí a la Cuenca Mediterránea (Iglesias y Alegre, 2014). El primer productor es China con 14,2 millones de toneladas representando casi el 58% de la producción mundial en 2018. En España, se producen alrededor de 1,6 millones de toneladas (FAOSTAT, 2019). Las comunidades autónomas con mayor producción son Cataluña (521.000 t) y Aragón (504.494 t), seguidas por Murcia (268.000 t), Extremadura (108.569 t), Andalucía (101.415 t) y Comunidad Valenciana (27.730 t) en 2018 (MAPAMA, 2019).

El melocotonero es una de las especies frutales con mayor difusión y con una gama más amplia de variedades en el mundo (Byrne et al., 2012; Iglesias y Alegre, 2014). En España, el melocotonero ha sido injertado en el pasado sobre patrones francos de la misma especie, destacando en este grupo los francos ‘Nemaguard’ y ‘Nemared’, usados ampliamente en Estados Unidos. Sin embargo, el cultivo de melocotonero, como de otros frutales de hueso, se ha expandido hacia zonas de cultivo con suelos calizos y con alta incidencia de clorosis férrica. La mala adaptación de los patrones francos a estos suelos (Iglesias et al., 2000), potenció el uso de patrones híbridos almendro x melocotonero tolerantes a clorosis (Bernhard, 1990; Cambra, 1990). Los patrones ‘GF 677’, ‘GF 557’ y ‘Adafuel’, fueron utilizados por su buena adaptación a estos suelos y por su facilidad de propagación (Cambra, 1990; Moreno y Cambra, 1994). Estos patrones presentan mayor tolerancia a la clorosis férrica y mejor adaptación a suelos pobres (Moreno, 2004), y buena compatibilidad con almendro y melocotonero. Sin embargo, presentan, en

general, menor productividad por su elevado vigor (Font i Forcada et al., 2012) y susceptibilidad a ciertas enfermedades del suelo (Zarrouk et al., 2005; Mestre et al., 2015). Otros híbridos como ‘Monegro’, ‘Garnem’ y ‘Felinem’ fueron introducidos en España como alternativa del ‘GF 677’ por su resistencia a nematodos (Felipe, 2009).

Otros patrones híbridos inter-específicos de melocotonero como ‘Cadaman’ y ‘Barrier’ (*P. persica* x *P. davidiana*), fueron seleccionados por su resistencia a nematodos y menor vigor que los híbridos ‘GF 677’ y ‘Adafuel’. Sin embargo, son más sensibles a la clorosis férrica en suelos calizos (Moreno et al., 2008).

Actualmente se están utilizando nuevas selecciones de patrones, con base genética de ciruelo, por su mejor adaptación a suelos pesados y a problemas relacionados con la asfixia de raíces. Entre estos patrones, destacan los patrones ‘Penta’ y ‘Tetra’ (*P. domestica*), así como los ‘Pollizos de Murcia’ (*P. insititia*) como ‘Adesoto 101’, ‘Monpol’ y ‘Montizo’, con un menor vigor de la variedad injertada, adaptados a suelos pesados y con resistencia a nematodos (Moreno et al., 1994; Felipe et al., 1997a; Font i Forcada et al., 2014; Mestre et al., 2017).

1.9. Patrones *Prunus* usados para almendro

El almendro [*Prunus dulcis* (Miller) D.A. Webb] es originario de Asia Occidental y Próximo Oriente, siendo la Cuenca Mediterránea un centro de diversidad secundario (Gradziel et al., 2017). En la actualidad, España es el tercer país productor de almendra del mundo, con un volumen de cosecha que supone el 4% del total mundial, por detrás de Estados Unidos (80%) y Australia (7%). La producción no está directamente relacionada con la superficie, sino con la eficiencia productiva y sistemas de cultivo en cada país. España es el país con mayor superficie con 661.000 ha (MAPAMA, 2019), seguido por EEUU (405.000 ha) y Australia (39.662 ha) (FAOSTAT, 2019).

Los patrones más comúnmente usados siguen siendo los patrones francos, debido a su rusticidad y adaptación al cultivo en secano, en suelos pobres y con altos contenidos de caliza (Rubio-Cabetas, 2010). Sin embargo, los patrones francos presentan sensibilidad al ataque de nematodos, hongos, bacterias y a gusano cabezudo. Son muy susceptibles a la asfixia radicular, por lo que no son aptos para el cultivo en regadío, salvo con riego localizado y en suelos bien drenados. Los patrones francos, utilizados para almendro, han sido los obtenidos de las variedades ‘Atocha’, ‘Desmayo’, ‘Largueta’, ‘Garrigues’, ‘Marcona’, ‘Ramillete’, siendo las semillas de ‘Garrigues’ las más utilizadas (Rubio-Cabetas, 2010).

Se destaca el interés de algunos patrones clonales de almendro como el clon ‘Garfi’, descendiente de la variedad de almendro ‘Garrigues’, que mostró buena propagación frente a otros patrones de almendro como el mismo ‘Garrigues’ y otros híbridos almendro x melocotonero (Felipe, 1989).

Los patrones híbridos almendro x melocotonero, ‘Adafuel’ (EEAD-CSIC), ‘Felinem’ y ‘Garnem’ (CITA de Aragón), junto a ‘GF 677’ (INRA, Francia), han sido los más comúnmente usados en el sector español para el cultivo de almendro y melocotonero en las últimas décadas (Zarrouk et al., 2015; Rubio-Cabetas, 2010).

Los patrones híbridos almendro x melocotonero ‘G x N’ presentan mayor interés debido a las buenas características de resistencia a nematodos y buen comportamiento en suelos calizos. Proviene del cruzamiento de la variedad de almendro ‘Garfi’ y del melocotonero ‘Nemared’. ‘Garfi’ tiene buena anatomía de raíces y buen comportamiento en vivero, mientras que ‘Nemared’ presenta resistencia a las tres especies más comunes de *Meloidogyne* (*M. arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica*). Entre los híbridos almendro x melocotonero G x N más conocidos (‘G x N 9-Monegro’, ‘G x N 15-Garnem’ y ‘G x N 22-Felinem’), ‘Garnem’ ha sido el de mayor éxito con un 20% del almendral de España (Rubio-Cabetas, 2016).

Entre los patrones con base genética de ciruelo (más tolerantes a asfixia radicular), destacan *P. insititia* (‘Pollizo de Murcia’, ‘San Julián’) y *P. domestica*, con buena compatibilidad, aunque algunas variedades han mostrado incompatibilidad. En este grupo de patrones, destacan especialmente los Pollizos de Murcia ‘Adesoto’ y ‘Montizo’, con buena compatibilidad, en general, con variedades de almendro (Rubio-Cabetas et al., 2017) y muy pocos casos de incompatibilidad (Rubio-Cabetas, 2010).

1.10. Patrones *Prunus* usados para cerezo

Se cultivan principalmente dos especies de cerezo, el cerezo dulce (*Prunus avium* L.), y el guindo o cerezo ácido (*P. cerasus* L.), originarias del sureste de Europa y oeste de Asia. El cerezo dulce probablemente se originó en zonas cercanas al mar Negro y mar Caspio, difundiéndose después hacia Europa y Asia (Bujdoso y Hrotko, 2017).

En España y otros países mediterráneos, uno de los problemas más importantes es la susceptibilidad a la clorosis férrica, muy común en suelos calizos. Por ello, el patrón ‘Santa Lucia’ (*P. mahaleb* L.), especie muy tolerante a clorosis, se ha utilizado en el área mediterránea. El clon ‘SL 64’ fue seleccionado en la Estación ‘La Grand Ferrade’ de Burdeos (Moreno et al., 1996). Otros patrones como ‘Masto de Montañana’ (*P. cerasus*)

y ‘Brokforest’ (*P. mahaleb* x *P. avium*) introducido en Francia con el nombre ‘MaxMa 14’ podrían mostrar un menor vigor que ‘SL 64’ (Espada et al., 2005). El patrón ‘MaxMa 14’, además de inducir un vigor intermedio entre ‘SL 64’ y ‘Masto de Montaña MM 9’ presenta una buena adaptación a diferentes tipos de suelos (Moreno et al., 2001). Sin embargo, los patrones Santa Lucía ‘SL 64’ y ‘SL 405’ presentan una elevada mortalidad en suelos con problemas de drenaje o encharcamiento (Moreno et al., 1996; Jiménez et al., 2007). En la actualidad es de gran interés la selección de patrones ‘enanizantes’. Sin embargo, las características de los suelos del área mediterránea pueden limitar su uso (Moreno et al., 2001).

‘Adara’ es un patrón seleccionado a partir de una población de Mirobolán (*P. cerasifera* Ehrh.), de polinización libre. Fue seleccionado en la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) y destaca por su elevada tolerancia a la clorosis férrica y buen comportamiento en suelos pesados (Moreno et al., 1996, 1995a). Presenta mayor productividad que los patrones ‘SL 64’ y ‘Colt’ (Moreno et al., 1996). Además, es un patrón polivalente para distintas especies frutales de hueso, aunque particularmente se usa para cerezo en condiciones de suelos pesados y calizos, con problemas de clorosis y asfixia de raíces (Moreno et al., 1995a; Moreno y Tabuenca, 1991). Las buenas características del ciruelo ‘Adara’, llevó a evaluar más recientemente su compatibilidad con variedades de cerezo húngaras de gran potencial para las condiciones españolas (Moreno et al., 2012).

1.11. Incompatibilidad entre patrón y variedad

Los trabajos de mejora genética y selección han proporcionado patrones muy diversos a nivel mundial con buenas características productivas, resistentes y/o tolerantes a patógenos y estreses abióticos (Gainza et al., 2015a; Moreno, 2004, 2009). La buena compatibilidad patrón-variedad de los materiales seleccionados es uno de los principales objetivos de la mejora genética de patrones frutales. Por ello, es indispensable que el estudio de la compatibilidad incluya el mayor número de variedades posible a evaluar. En este contexto, dada la demanda de nuevas variedades y patrones, el estudio de la compatibilidad es de gran relevancia en fruticultura. En general, la incompatibilidad se manifiesta en combinaciones patrón-variedad que no pertenecen a la misma especie y raramente en combinaciones de la misma especie (Wertheim y Webster, 2005). Sin embargo, es de interés el uso de especies distintas, por sus ventajas antes mencionadas.

1.11.1. Incompatibilidad ‘traslocada’

Este tipo de incompatibilidad se caracteriza, en general, por síntomas externos durante el primer período vegetativo de la estación de crecimiento posterior al injerto (Mosse, 1962; Pina y Errea, 2005), ‘amarilleamiento’ de las hojas, defoliación precoz y reducción del crecimiento del árbol.

En estudios de melocotonero injertado sobre distintos patrones ciruelo, este tipo de incompatibilidad se ha asociado a alteraciones bioquímicas y funcionales durante la sucesión de etapas que comprende el proceso de injerto, induciendo el bloqueo de carbohidratos con acumulación de azúcares en la parte superior de la unión de injerto (Moing et al., 1990; Moreno et al., 1993; Zarrouk, 2006). Algunos estudios de incompatibilidad han relacionado los valores de SPAD (estimación de la concentración foliar de clorofila) y de la capacidad fotosintética del árbol con la incompatibilidad ‘traslocada’. Así, la detección precoz, podría ayudar en la detección de la incompatibilidad ‘traslocada’ (Zarrouk et al., 2006).

1.11.2. Incompatibilidad ‘localizada’

La incompatibilidad ‘localizada’ se caracteriza por irregularidades anatómicas en la unión de injerto y por la ruptura de continuidad de los conductos vasculares y cambiales, con una pobre conexión vascular que induce a un debilitamiento mecánico de la unión (Mosse y Herrero, 1951; Errea et al., 2001). El árbol puede llegar a romperse generando graves pérdidas económicas. Una dificultad adicional para la detección de este fenómeno es que dicha ruptura puede presentarse varios años después de realizado el injerto, e inclusive en plena etapa productiva (Mosse, 1962; Mosse y Herrero, 1951), tras un crecimiento normal de los árboles injertados (Pina-Sobrino, 2006; Zarrouk et al., 2006b). De ahí la importancia de una adecuada evaluación en campo, que permita seleccionar las combinaciones compatibles lo más precozmente posible.

El estudio de la incompatibilidad patrón-variedad es una línea de investigación tradicional en fruticultura. Sin embargo, pese a los numerosos estudios realizados sobre el tema, aún no se han podido establecer con detalle las causas que la originan. Algunos autores discuten la relación causa/efecto de la incompatibilidad (Hartman et al., 2014). Estudios previos atribuyeron la incompatibilidad a la presencia de ciertas sustancias químicas letales que se liberan por alguno de los componentes de la unión de injerto (Gur et al., 1968). Además, síntomas como la necrosis de los tubos cribosos del floema, la acumulación de almidón en la variedad y la degeneración del floema, podría considerarse

una consecuencia, más que una de las causas de la incompatibilidad (Hartman et al., 2014). Se ha descrito que existe una acumulación de compuestos fenólicos en el floema de combinaciones incompatibles (Errea, 1998).

1.11.3. Incompatibilidad ‘total’ y causada por virus

Cuando la unión de injerto no se produce satisfactoriamente en elevado porcentaje, se denomina ‘fallo del injerto’, lo cual ha sido definido como un tipo de incompatibilidad patrón-variedad (Andrews y Marquez, 1993). Este tipo de incompatibilidad, consiste en la muerte rápida del injerto antes de los eventos tempranos de formación de la unión. Según Mosse (1962), la incompatibilidad es el fracaso inmediato para formar las conexiones vasculares funcionales entre patrón y variedad. Se cree que se debe a una insuficiente afinidad entre patrón y variedad, y que las causas son ajenas a factores ambientales, como temperatura, humedad, técnica utilizada o época del año (Andrews y Marquez, 1993).

Por otro lado, la incompatibilidad también ha sido asociada a la presencia de virus y fitoplasmas introducidos en el proceso de injerto sobre un patrón sensible a ellos (Hartman, 2014). Así, es bien conocida la incompatibilidad en cítricos atribuida al virus de la ‘Tristeza’. Fue mencionada en Sudáfrica y Java a inicios del siglo XX. También se atribuye como causa de incompatibilidad al virus del mosaico del tabaco o ‘TomRSV’ transmitido por el nematodo *Xiphinema americanum* (Cambra et al., 2001). Hoy y Mircetich (1984) en estudios con patrones Mirobolán, observaron síntomas de ‘Prune Brown Line (PBL) en combinaciones del ciruelo ‘French Prune’ injertado sobre ‘Mirobolán B’, atribuida al virus ‘TomRSV’ (Tomato ringspot virus) como agente causal. De igual forma, este virus fue el causante de la sintomatología de PBL cuando se injertó la variedad de ciruelo europeo ‘D’ Agen’ sobre Mirobolán (*P. cerasifera*) (Auger, 1989; Herrera, 2001).

1.12. La incompatibilidad y la detección temprana

La acumulación de carbohidratos en la parte aérea de combinaciones incompatibles y la relación entre síntomas visuales de incompatibilidad y bajos valores foliares de SPAD se ha mencionado en estudios previos (Moreno et al., 1993; Zarrouk, 2006). Así mismo, se han descrito diferencias en el contenido de elementos minerales en combinaciones compatibles frente a otras incompatibles (Gainza et al., 2015b).

Los componentes fenólicos asociados con diversas rutas metabólicas, implicadas en la interacción medio ambiente-planta así como con el ataque de patógenos (Errea,

1998; Martínez-Ballesta et al., 2010), se movilizan desde la vacuola celular hacia el citoplasma en uniones incompatibles, causando estrés y posteriormente una disfunción del crecimiento, probablemente causado por una inhibición de la ruta metabólica de la lignina (Hartman et al., 2014). Así, la concentración de ciertos flavonoles como la Catequina y la Proantocianidina podrían incrementarse, posiblemente por el efecto del estrés del injerto (Cooman et al., 1996; Errea, 1998; Errea et al., 1994).

En otros trabajos, se han identificado algunos genes que codifican enzimas implicadas en algunas rutas metabólicas relacionadas con el estrés en plantas. La enzima ‘fenilalanina amonio liasa’ (PAL) (Pina y Errea, 2008), ‘polifenol oxidasa’ (PPO) y ‘peroxidasa’ (POD), se han estudiado en combinaciones incompatibles y se han visto relacionadas con el estrés durante las dos primeras semanas tras el injerto (Pina y Errea, 2005). Sin embargo, a pesar de los avances que se han producido en torno a métodos de detección temprana de la incompatibilidad, la evaluación en vivero sigue siendo el único método eficaz de predecirla (Gainza et al., 2015b; Zarrouk, 2006).

1.13. Características deseables en las nuevas selecciones de patrones

Los patrones híbridos almendro x melocotonero han tenido gran difusión en las últimas décadas, debido a sus buenas características productivas, al inducir una rápida entrada en producción del árbol (Gainza et al., 2015a), y por su tolerancia a la clorosis férrica en suelos calizos. La clorosis férrica es una anomalía fisiológica que las plantas presentan debido a la incapacidad para absorber hierro. El alto contenido de carbonatos de los suelos calizos y su pH elevado, generan una disminución del hierro asimilable (Jiménez et al., 2008). La clorosis férrica se manifiesta mediante la clorosis de las hojas y un amarilleamiento internervial. Provoca una reducción en la actividad fotosintética y, como consecuencia, un lento desarrollo del árbol, reducción del peso y tamaño del fruto y un retraso en la maduración (Álvarez-Fernández et al., 2011; Moreno et al., 2008). A nivel fisiológico, ocasiona deterioro de procesos celulares como la absorción de minerales, eficiencia fotosintética, transpiración, asimilación y conductancia estomática (Eichert et al., 2010).

Entre los patrones más tolerantes a la clorosis férrica en suelos calizos, destacan los híbridos almendro x melocotonero ‘Adafuel’, ‘Adarcias’ y ‘GF 677’, entre otros. Sin embargo, son susceptibles a la asfixia radicular y requieren suelos bien drenados, además de inducir un elevado vigor sobre la variedad injertada (Font i Forcada et al., 2012; Moreno, 2004; Tagliavini y Rombolà, 2001). Otros híbridos inter-específicos de

melocotonero como ‘Cadaman’ y ‘Barrier’ (*P. persica* x *P. davidiana*), resistentes a nematodos, muestran mayor sensibilidad a la clorosis férrica en dichos suelos (Gogorcena et al., 2005; Moreno et al., 2008).

Los patrones ciruelo *P. insititia* (Pollizos de Murcia) como ‘Adesoto 101’, presentan una buena adaptación a suelos calizos, con tolerancia a la clorosis férrica, y resistencia a nematodos (Moreno, 2004). Otros Pollizos de Murcia, como ‘Montizo’ y ‘Monpol’ también fueron seleccionados a partir de poblaciones de semilla de polinización libre, y muestran buen comportamiento en suelos calizos (Llácer et al., 2009). Los patrones ciruelo *P. domestica* como ‘Constantí’ y ‘Mas Rubí’ (Moreno, 2004) también muestran tolerancia a la clorosis férrica en suelos calizos (Font i Forcada et al., 2014; Mestre et al., 2017).

Además, en los programas de mejora de patrones, se han incluido otras especies de ciruelo, obteniendo híbridos inter-específicos como ‘AP 45’ [*(P. besseyi* × *P. salicina*) × *P. armeniaca*], ‘AP 65’ (*P. armeniaca* L. × *P. cerasifera* Ehrh) × *P. pumila* L. var. *besseyi*), y ‘Densipac R 20’ (*P. besseyi* × *P. cerasifera*) recientemente seleccionados o que están en proceso de selección. Otros patrones con base genética de la especie *P. besseyi* ya fueron evaluados como el patrón ‘Evricea [*(P. besseyi* x *P. salicina*) x *P. cerasifera*] injertado con variedades de albaricoquero (Hernández et al., 2010).

En el presente trabajo de tesis se evaluó la compatibilidad de diversos patrones *Prunus*, ya seleccionados o en fase de selección, y de nueva generación, injertados con diferentes variedades de albaricoquero, almendro, ciruelo japonés y nectarina. También se evaluaron variedades de cerezo injertadas sobre dos patrones *Prunus* (‘Adara’ y ‘LC 52’) de gran interés en el área mediterránea.

1.14. Bibliografía

- Álvarez-Fernández, A., Melgar, J.C., Abadía, J., Abadía, A.,** 2011. Effects of moderate and severe iron deficiency chlorosis on fruit yield, appearance and composition in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Environ. Exp. Bot.* 71, 280–286.
- Andrews, K. P. and Marquez, C. S.** 1993. Graft incompatibility. *Horticultural reviews.* John Wiley and Sons Inc. 15:467.
- Auger, J.,** 1989. Tomato ringspot virus (TomRSV) associated with brownline disease of Prune trees in Chile. *Acta Hort.* 235, 197-204.
- Bernhard, R.,** 1990. La selección de los patrones para el albaricoquero y el ciruelo. En: Estado actual de los patrones frutales. *Información Técnica Económica Agraria.* Extra, 41–72.
- Bhutani, V.P., Joshi, V.K.,** 1995. Plum. En: D.K. Shalunke, S.S. Kadam (Eds.), *Fruit Science and Technology,* Marcel Dekker, New York, Pp. 203–241.
- Borruey, C., Errea, P.,** 2000. Detección precoz de la compatibilidad de injerto de Moniquí (*P. armeniaca*) sobre diversos *Prunus*. *ITEA* 21, 49–52.
- Bortiri, E., Heuvel, B. Vanden, Potter, D.,** 2006. Phylogenetic analysis of morphology in *Prunus* reveals extensive homoplasy. *Plant Syst. Evol.* 259, 53–71.
- Bujdoso, G., Hrotko, K.,** 2017. Cherry production. In *Cherries: Botany, Production and Uses;* Quero-Garcia, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G., Eds.; CABI: Boston, MA, USA, pp. 1–13.
- Bujdosó, G., Hrotkó, K.,** 2016. Performance of three Hungarian early sweet cherry cultivars on some novel bred rootstocks. *Acta Hort.* 1139, 153–158.
- Byrne, D.H., Bassols Raseira, M., Bassi, D., Piagnani, M.C., Gasic, K., Reighard, G.L., Moreno, M.Á., Pérez, S.,** 2012. Peach. En: M.L. Badenes and David H. Byrne. (eds.). *Fruit Breeding.* 1ed. New York: pp. 505–569.
- Cambra, R.,** 1970. Selección de Pollizos de Murcia y otros ciruelos locales españoles. *Inf. Técnica Económica Agrar.* 1, 15–126.
- Cambra, R.,** 1979. Compatibilidad de albaricoquero con ciruelo mirobolán (*Prunus cerasifera* Ehrh.) y mariana (*Prunus cerasifera* Ehrh. x *Prunus munsoniana* Wight Hedr.). *An. Aula Dei* 14, 371–375.
- Cambra, R.,** 1990. ‘Adafuel’, an almond × peach hybrid hootstock. *HortScience* 25, 584.

- Cambra, M., Esteban, O., Gorris, M.T.,** 2001. Incidencias de los virus agresivos en los frutales de hueso. *Vida Rural* 121, 49–52.
- Cantín, C.M., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2009a. Analysis of phenotypic variation of sugar profile in different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. *J. Sci. Food Agric.* 89, 1909–1917.
- Cantín, C.M., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y.,** 2009b. Evaluation of the antioxidant capacity, phenolic compounds, and vitamin C content of different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. *J. Agric. Food Chem.* 57, 4586–4592.
- Cooman, L.D., Everaert, E., Curir, P., Dolci, M.,** 1996. The possible role of phenolics in incompatibility expression in *Eucalyptus gunnii* micrografts. *Phytochem. Anal.* 7, 92–96.
- Crossa-Raynaud, P., Audergon, J.M.,** 1987. Apricot rootstocks. En: R.C. Rom and R.F. Carlson (Eds.). *Rootstocks for Fruit Crops.* pp. 295–320.
- Dicenta, F., Sánchez-Pérez, P., Batlle, I., Martínez-Gómez, P.,** 2017. Late-blooming cultivar development. In: *Socias i Company, R., Gradizel, T.M. (Eds.), Almond: Botany, Production and Uses.* Editorial CABI. Boston (EEUU), pp. 168–187.
- Egea, J., Ruiz, D.,** 2014a. Albaricoquero. En: Hueso-Martín, J., Cuevas-González, J., Cajamar-Caja Rural (Eds.). *La Fruticultura del siglo XXI en España.* pp. 87–106.
- Egea, J., Ruiz, D.,** 2014b. Albaricoquero: Situación varietal y aspectos a resolver en el nuevo panorama productivo español. *Fruticultura* 38, 24–31.
- Eichert, T., Peguero-Pina, J.J., Gil-Pelegrín, E., Heredia, A., Fernández, V.,** 2010. Effects of iron chlorosis and iron resupply on leaf xylem architecture, water relations, gas exchange and stomatal performance of field-grown peach (*Prunus persica*). *Physiol. Plant.* 138, 48–59.
- Errea, P.,** 1998. Implications of phenolic compounds in graft incompatibility in fruit tree species. *Sci. Hortic.* 74, 195–205.
- Errea, P., Felipe, A., Herrero, M.,** 1994a. Graft establishment between compatible and incompatible *Prunus* spp. *J. Exp. Bot.* 45, 393–401
- Errea, P., Garay, L., Marín, J.A.,** 2001. Early detection of graft incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca*) using in vitro techniques. *Physiol. Plant.* 112, 135–141.
- Errea, P., Treutter, D., Feucht, W.,** 1994b. Characterization of flavanol-type polyphenols in apricot cultivars and rootstocks. *Adv. Hort. Sci.* 3, 165–169.

- Espada, J.L., Romero, J., Segura, J.,** 2005. Resultados de un ensayo de variedades y patrones de cerezo. *Inf. Tec. Econ. Agrar.* 101, 373–384.
- FAOSTAT,** 2019. <https://www.faostat.org>. (Acceso 18 Mayo 2019).
- Faust, M., Suranyi, D., Nyujto, F.,** 1998. Origin and dissemination of apricot. En: *Horticultural Reviews-Westport Then* (Edit.). Nueva York. pp. 225–260.
- Felipe, A.,** 2009. “Felinem”, ‘Garnem’, and “Monegro” almond× peach hybrid rootstocks. *HortScience* 44, 196–197.
- Felipe, A., Carrera, M., Gómez-Aparisi, J., Socias, R.,** 1997a. “Montizo” and “Monpol”, two new plum rootstocks for peaches. *Acta Hort.* 451, 273–276.
- Felipe, A., Gómez-Aparisi, J., Socias i Company, R., Carrera, M.,** 1997b. The almond x peach hybrid rootstocks breeding program at Zaragoza (Spain). *Acta Hort.* 451, 259–262.
- Felipe, A.J.,** 1990. Patrones para albaricoquero, ciruelo y cerezo. *Revista de Fruticultura.* 30, 3-8.
- Felipe, A.J.,** 1989. Patrones para frutales de pepita y hueso. Edic. Téc. Eur. Barcelona, España. 181 p.
- Felipe AJ, Gómez-Aparisi J, Socias i Company., R.** 1998. Breeding almond x peach hybrids rootstocks at Zaragoza (Spain). *Acta Hort.* 470,195–199.
- Font i Forcada, C., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2012. Agronomical and fruit quality traits of two peach cultivars on peach-almond hybrid rootstocks growing on Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 140, 157–163.
- Font i Forcada, C., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2014. Agronomical parameters, sugar profile and antioxidant compounds of “Catherine” peach cultivar influenced by different plum rootstocks. *Int. J. Mol. Sci.* 15, 2237–2254.
- Frutos, D., López, G., Carrillo, A., Cos, J., García, F., Guirao, P., López, D., Ureña, R.,** 2014. Preliminary works to consolidate sweet cherry crop (*Prunus avium* L.) in certain areas of the Murcia Region, Spain. *Acta Hort.* 1020, 471–476.
- Gainza, F., Opazo, I., Guajardo, V., Meza, P., Ortiz, M., Pinochet, J., Muñoz, C.,** 2015a. Rootstock breeding in *Prunus* species: Ongoing efforts and new challenges. *Chil. J. Agric. Res.* 75, 6–16.
- Gainza, F., Opazo, I., Muñoz, C.,** 2015b. Graft incompatibility in plants: Metabolic changes during formation and establishment of the rootstock/scion union with emphasis on *Prunus* species. *Chil. J. Agric. Res.* 75, 28–34.

- Garner, R.J.**, 2003. The Grafter's Handbook. The royal Horticultural Society and Sterling Publishing Co., Inc., New York, USA (6th edición), pp. 323.
- Ghorpade, V.M., Hanna, M.A., Kadam, S.S.**, 1995. Apricot. En: Shalunke, D.K., Kadam, S.S. (Eds.), Fruit Science and Technology. Marcel Dekker, New York, pp. 335–361.
- Gogorcena, Y., Abadía, J., Abadía, A.**, 2005. A new technique for screening iron-efficient genotypes in peach rootstocks: elicitation of root ferric chelate reductase by manipulation of external iron concentrations. *J. Plant Nutr.* 27, 1701-1715.
- Gordon, D.**, 1991. Apricot, En: Growing Fruit in the Upper Midwest. Minneapolis, USA, p. 286.
- Gradziel, T.M., Curtis, R., Socias i Company, R.**, 2017. Production and growing regions, in: Almond: Botany, Production and Uses (Eds. R Socias i Company y TM Gradziel) pp, 70-86.
- Gur, A., Samish, R.M., Lifshitz, E.**, 1968. The role of the cyanogenic glycoside on the quince in the incompatibility between pear cultivars and quince rootstocks. *Horticultural Reviews* 8, 113–134.
- Hancock JF, Scorza R, Lobos G.A.**, 2008. Peaches. In: J.F. Hancock (ed), Temperate Fruit crop Breeding. Germplasm to Genomics. Springer, East Lansing, pp. 455.
- Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R.**, 2014. Plant propagation. Principles and practices, 8th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 921 pp.
- Herrera, G.**, 2001. Enfermedades causadas por virus en frutales en Chile. Santiago, Chile: Instituto de Investigación Agropecuaria. Boletín INIA, No.52. pp. 65.
- Hernández, F., Pinochet, J., Moreno, M.A., Martínez, J.J., Legua, P.**, 2010. Performance of *Prunus* rootstocks for apricot in Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 124, 354– 359.
- Herrero, J.**, 1955. Incompatibilidad entre patrón e injerto. II. Efecto de un intermediario en la incompatibilidad entre melocotonero y mirobolán. *An. Estac. Exp. Aula Dei.* 4, 149-166.
- Hoy, J.W., Mircetich, S.M.**, 1984. Prune brownline disease: Susceptibility of prune rootstocks and Tomato Ringspot Virus detection. *Phytopathology* 74, 272-276.
- Howard, B.H.**, 1987. Propagation. En: R.C. Rom, R.F. Carlson (Eds.), Rootstocks Fruit Crop. John Wiley Sons, New York, pp. 29–77.
- Iglesias, I., Alegre, S.**, 2014. Melocotonero, En: Hueso-Martín, J., Cuevas-González (Eds.). La Fruticultura del Siglo XXI En España. 2014, España, p. 404.

- Iglesias, I., Bonany, J., Vilardell, P., Ruíz, S.,** 2016. El cultivo de cereza en España: tecnología de producción, consumo e intercambios comerciales. *Rev. Frutic.* 45, 7-39.
- Iglesias, I., Carbó, J.,** 2006. Patrones de melocotonero. Situación actual, características y comportamiento agronómico de los portainjertos de melocotonero. *Doss. Tècnic.* 17, 3–18.
- Iglesias, I., Dalmau, R., Montserrat, R., Carbó, J., Bonani, J., Guantes, G.,** 2000. Comportamiento agronómico de 23 patrones de melocotonero con la variedad “Elegant Lady (Merdame)” en Lleida y Girona. *Inf. Tec. Econ. Agrar. Extra*, 21–29.
- Iglesias, I., Dalmau, R., Montserrat, R., Carbó, J., Bonany, J., Guanter, G.,** 2001. Comportamiento agronómico de 23 patrones de melocotonero con la variedad ‘Elegant Lady’ (Merdame) en Lleida y Girona. *Actas Hortíc.* 29, 787–795.
- Jiménez, S., Aparicio, J., Betrán, J.A., Gogorcena, Y., Moreno, M.A.,** 2007. Influencia de diferentes patrones de cerezo sobre la composición mineral de hojas y brotes leñosos. *Vida Rural* 55, 55–58.
- Jiménez, S., Pinochet, J., Abadía, A., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y.,** 2008. Tolerance response to iron chlorosis of *Prunus* selections as rootstocks. *HortScience* 43, 304–309.
- Layne, R.E.C.,** 1987. Peach rootstocks. p. 185-216. En: R.C. Rom and R.F. Carlson (eds). *Rootstocks for fruit crops*. Wiley, New York.
- Ledbetter, C.A., Sisterson, M.S.,** 2008. Advanced generation peach-almond hybrids as seedling rootstocks for almond: First year growth and potential pollenizers for hybrid seed production. *Euphytica* 160, 259–266.
- Lee, S., Wen, J.,** 2001. A phylogenetic analysis of *Prunus* and the Amygdaloideae (Rosaceae) using ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. *Am. J. Bot.* 88, 150–160.
- Llácer, G., Alonso, J.M., Rubio, M.J., Batlle, I., Iglesias, I., Vargas, F.J., Badenes, M.L., Vargas, F.J., Badenes, M.L.,** 2009. Situación del material vegetal de melocotonero utilizado en España. *Inf. Tec. Econ. Agrar.* 105, 67-83.
- López-Ortega, G., García-Montiel, F., Bayo-Canha, A., Frutos-Ruiz, C., Frutos-Tomás, D.,** 2016. Rootstock effects on the growth, yield and fruit quality of sweet cherry cv. ‘Newstar’ in the growing conditions of the Region of Murcia. *Sci. Hortíc.* 198, 326–335.
- MAPAMA,** 2019. <https://www.mapama.gob.es/es>. (Acceso 10 Mayo 2019).

- Martínez-Ballesta, M.C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M.,** 2010. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Sci. Hortic.* 127, 112–118.
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Pinochet, J., Moreno, M.Á.,** 2015. Influence of peach-almond hybrids and plum-based rootstocks on mineral nutrition and yield characteristics of ‘Big Top’ nectarine in replant and heavy-calcareous soil conditions. *Sci. Hortic.* 192, 475–481.
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Moreno, M.Á.,** 2017. Influence of plum rootstocks on agronomic performance, leaf mineral nutrition and fruit quality of ‘Catherina’ peach cultivar in heavy-calcareous soil conditions. *Spanish J. Agric.* 15 (1), e0901.
- Moing, A., Carbonne, F., Gaudillère, J.P.,** 1990. Growth and carbon partitioning in compatible and incompatible peach/plum grafts. *Physiol. Plant.* 79, 540-546.
- Moreno, M.Á.,** 2009. Rootstocks for stone and pome fruit tree species in Spain. En: *International Conference on Fruit Tree Rootstocks*, University of Pisa (Italy). 44-57.
- Moreno, M.Á.,** 2004. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the Aula Dei Experimental Station, Zaragoza, Spain. *Acta Hortic.* 658, 519–528.
- Moreno, M.Á., Adrada, R., Aparicio, J., Betrán, A.,** 2001. Performance of “Sunburst” sweet cherry grafted on different rootstocks. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76, 167–173.
- Moreno, M.Á., Cambra, R.,** 1994. Adarcias: An Almond x Peach Hybrid Rootstock. *HortScience* 29, 925.
- Moreno, M.Á., Gella, R., Aparicio, J., Tabuenca, M.C.,** 1995. Incompatibilidad entre patrón e injerto. Variedades de ciruelo injertadas sobre híbridos almendro x melocotonero. *An. Aula Dei* 21, 217–220.
- Moreno, M.Á., Gogorcena, Y., Pinochet, J.,** 2008. Mejora y selección de patrones *Prunus* tolerantes a estreses abióticos. En: *La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal*. Junta de Andalucía, Sevilla, Spain, pp. 451-475.
- Moreno, M.Á., Jiménez, S., Gogorcena, Y., Lasarte, L., Gil, C.M., Szügyi, S.,** 2012. Compatibilidad de variedades de cerezo húngaras sobre Adara y otros patrones *Prunus*. *Actas de Horticultura.* 60, 480–482.
- Moreno, M.Á., Moing, A., Lansac, M., Gaudillère, J.P., Salesses, G.,** 1993. Peach/myrobolan plum graft incompatibility in the nursery. *J. Hort. Sci* 68, 705– 714.
- Moreno, M.Á., Montañés, L., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1996. The performance of Adara as a cherry rootstock. *Sci. Hortic.* 65, 85–91.

- Moreno, M.Á., Negueroles, J.,** 2001. Ciruelo. En: La horticultura española. Ediciones de Horticultura, Reus (Tarragona). pp. 296-300.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C.,** 1991. El patrón ciruelo ‘Adara’: su comportamiento con variedades de cerezo y de otras especies frutales. Inf. Tec. Econ. Agrar, 87, 25–35.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995a. Adara, a plum rootstock for cherries and other stone fruit species. HortScience 30, 1316–1317.
- Moreno, M.A., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995b. Ademir, a myrobalan rootstock for plums. HortScience 30, 1475-1476.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995c. Adesoto 101, a plum rootstock for peaches and other stone fruit. HortScience 30, 1314-1315.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1994. Performance of Adafuel and Adarcias as peach rootstocks. HortScience 29, 1271–1273.
- Mosse, B.,** 1962. Graft-incompatibility in fruit trees. Hortic. Plant Crop. 28, 1–36.
- Mosse, B., Herrero, J.,** 1951. Studies on incompatibility between some pear and quince grafts. J. Hort. Sci. 26, 238–245.
- Oki, W.R.,** 1987. Plum rootstocks. p. 321-360. In R.F. Carlson (ed.) Rootstocks for fruit crops. Wiley, New York, USA.
- Pina-Sobrinó, A.,** 2006. Caracterización fisiológica y bioquímica de las respuestas que intervienen en la incompatibilidad de injerto en albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.). Tesis doctoral. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Universidad de Zaragoza. España. 149 pp.
- Pina, A., Errea, P.,** 2008. Differential induction of phenylalanine ammonia-lyase gene expression in response to in vitro callus unions of *Prunus* spp. J. Plant Physiol. 165, 705–714.
- Pina, A., Errea, P.,** 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. Sci. Hortic. 106, 1–11.
- Reig, G., Font i Forcada, C., Mestre, L., Betrán, J., Moreno, M.A.,** 2018a. Potential of new *Prunus cerasifera* based rootstocks for adapting under heavy and calcareous soil conditions. Sci. Hortic. 234, 193–200.
- Reig, G., Salazar, A., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Val, J., Moreno, M.Á.,** 2019. Long-term graft compatibility study of peach-almond hybrid and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums. Sci. Hortic. 243, 392–400.

- Reig, G., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Moreno, M.Á.,** 2018b. Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. *Sci. Hortic.* 237, 67–73.
- Reighard, G.L.,** 2000. Peach rootstocks for the United States: Are foreign rootstocks the answer? *HortTechnology* 10, 714–718.
- Reighard, G.L., Loreti, F.,** 2008. Rootstock development. In: Layne, D.R. and Bassi, D. (eds) *The Peach: Botany, Production and Uses*. CABI, Wallingford, UK, pp. 193–220.
- Rieger, M.,** 2006. *Introduction to Fruit Crops.*, The Hawort. ed. New York. 369-381.
- Rodrigo, J., Errea, P., Herrero, M.,** 2002. El albaricoquero en Aragón. *Surcos* 77, 13–15.
- Roussos, P.A., Denaxa, N.K., Tsafouros, A., Efstathios, N., Intidhar, B.,** 2016. Apricot (*Prunus armeniaca* L.). En: *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. Elsevier Inc., pp. 19–48.
- Rubio-Angulo, M.,** 2006. Resistencia a la sharka (Plum pox virus) en especies frutales del género *Prunus*. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. 209 pp.
- Rubio-Cabetas, M.J.,** 2016. Almond Rootstocks: Overview. *Options Méditerranéennes A*, 133–143.
- Rubio-Cabetas, M.J.,** 2010. Patrones para el cultivo del almendro. *Rev. Frutic.* 10, 44–55.
- Rubio-Cabetas, M.J., Felipe, A.J., Reighard, G.L.,** 2017. Rootstocks development. En: *Almonds: Botany, Production and Uses*. R. Socias i Company and T.M. Gradziel (Ed.). pp. 209-227. pp. 209–227.
- Socias i Company, R., Gómez-Aparisi, J., Felipe, A.,** 1995. A genetical approach to iron chlorosis in deciduous fruit trees., En: J. Abadía (Ed.). *Iron Nutrition in Soil Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 167–174.
- Tabuenca, M.C., Moreno, M.Á.,** 1988. Incompatibilidad entre patrón injerto. Comportamiento de un ciruelo como patrón de distintas especies frutales. *An. Aula Dei* 19, 251–263.
- Tagliavini, M., Rombolà, A.D.,** 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *Eur. J. Agron.* 15, 71–92.
- Tombesi, S., Day, K.R., Johnson, R.S., DeJong, T.M.,** 2017. Effectiveness of peach (*Prunus persica*) rootstocks for vigor control of plum (*P. salicina*) scions in relation with xylem vessel size. *Acta Hortic.* 1177, 111–116.

- Treutter, D., Feucht, W.,** 1988. Accumulation of the flavonoids prunin in *Prunus avium* / *P. cerasus* grafts and its possible involvement in the process of incompatibility. Acta Hort. 227, 74–77.
- Tsipouridis, C.G.,** 1999. Apricot-nectarine graft compatibility and possible cross protection effects against PPV. En: XI International Symposium on Apricot Culture 488 (pp. 561-566).
- Weibel, A., Johnson, R.S., Dejong, T.M.,** 2003. Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128, 463–471.
- Wertheim, S.J., Webster., A.D.,** 2005. Rootstocks and interstems, p. 156–175. En: J. Tromp, A.D. Webster, and S.J. Wertheim (eds.). Fundamentals of temperate zone tree fruit production. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Wünsch, A., López-Corrales, M., Guerra, M.E., Rodrigo, J.,** 2011. Problemática de la polinización en el cultivo del ciruelo japonés en la región de Extremadura. Vida Rural 338, 36–39.
- Zarrouk, O.,** 2006. Compatibilidad patrón- variedad en *Prunus*. Métodos precoces de detección de la incompatibilidad de injerto. Universidad de Lleida, 240 pp.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gómez-Aparisi, J., Betrán, J.A., Moreno, M.Á.,** 2005. Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. Sci. Hortic. 106, 502–514.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á., Pinochet, J.,** 2006. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. HortScience 41, 1389–1394.
- Zhebentyayeva, T., Ledbetter, C., Burgos, L., Llácer, G.,** 2012. Apricot. En: Badenes, M.L., Byrne, D.H. (Eds.), Fruit Breeding. pp. 415–457.

II. OBJETIVOS

El objetivo general de esta Tesis fue el estudio de la compatibilidad patrón-variedad para especies frutales de hueso y búsqueda de métodos tempranos para su detección, atendiendo fundamentalmente a métodos tradicionales (sintomatología visual y examen de uniones de injerto). Los objetivos específicos fueron:

Objetivo 1: *Determinar el grado de compatibilidad de nuevos patrones Prunus con variedades de ciruelo japonés (P. salicina).* Estudio de la compatibilidad de injerto mediante métodos tradicionales de nuevas obtenciones de patrones del género *Prunus* y selecciones avanzadas, así como el estudio de algunos parámetros fisiológicos (desarrollo vegetativo del árbol y estimación del contenido foliar de clorofila) en combinaciones compatibles e incompatibles (Capítulo III).

Objetivo 2: *Determinar el grado de compatibilidad de nuevos patrones Prunus con variedades de albaricoquero (P. armeniaca).* Estudio de la compatibilidad de injerto mediante métodos tradicionales de nuevas obtenciones de patrones del género *Prunus* y selecciones avanzadas, así como el estudio de algunos parámetros fisiológicos (desarrollo vegetativo del árbol y estimación del contenido foliar de clorofila) en combinaciones compatibles e incompatibles (Capítulo IV).

Objetivo 3: *Determinar el grado de compatibilidad de nuevos patrones Prunus con variedades de nectarina (P. persica).* Estudio de la compatibilidad de injerto mediante métodos tradicionales de nuevas obtenciones de patrones del género *Prunus* y selecciones avanzadas, así como el estudio de algunos parámetros fisiológicos (desarrollo vegetativo del árbol y estimación del contenido foliar de clorofila) en combinaciones compatibles e incompatibles (Capítulo V).

Objetivo 4: *Determinar el grado de compatibilidad de nuevos patrones Prunus con variedades de almendro (P. dulcis).* Estudio de la compatibilidad de injerto mediante métodos tradicionales de nuevas obtenciones de patrones del género *Prunus* y selecciones avanzadas, así como el estudio de algunos parámetros fisiológicos (desarrollo vegetativo del árbol y estimación del contenido foliar de clorofila) en combinaciones compatibles e incompatibles (Capítulo VI).

Objetivo 5: *Determinar el grado de compatibilidad de patrones Prunus con variedades de cerezo (P. cerasus).* Estudio de la compatibilidad de injerto mediante métodos tradicionales de dos obtenciones de patrones del género *Prunus* ('Adara' y 'LC-52'), así como el estudio de algunos parámetros fisiológicos (desarrollo vegetativo del árbol y estimación del contenido foliar de clorofila) en combinaciones compatibles e incompatibles (Capítulo VII).

III. Compatibilidad de variedades de ciruelo japonés injertadas sobre distintos patrones *Prunus*.

Resumen

La introducción en el mercado de nuevos patrones frutales requiere un conocimiento previo, especialmente de una eventual incompatibilidad de injerto. La incompatibilidad ‘traslocada’ produce síntomas visuales como amarilleamiento de las hojas, reducción drástica del vigor y posterior muerte de los árboles, mientras que la de tipo ‘localizada’ es asintomática, puede tender a manifestarse varios años y presentar rotura de árboles por la zona de injerto, ocasionando grandes pérdidas económicas. Este trabajo fue llevado a cabo en la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza, España) con el objetivo de evaluar la compatibilidad de injerto entre dos variedades de ciruelo japonés (*Prunus salicina* L.) con 43 patrones de distintos grupos (híbridos almendro x melocotonero, ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido e híbridos inter-específicos de ciruelo). Algunos de estos patrones están en proceso de selección y otros son comerciales de reciente introducción en los mercados europeos. El diagnóstico visual externo de las combinaciones estudiadas se hizo a través de la observación de síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ en condiciones de vivero. Se observaron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ en la variedad de ciruelo japonés ‘Golden Japan’ injertada sobre el patrón híbrido de ciruelo y albaricoquero ‘AP-45’. La incompatibilidad ‘localizada’ fue evaluada tras el examen macroscópico interno de las uniones de injerto. Se observaron casos de incompatibilidad localizada en algunos patrones híbridos de almendro x melocotonero y mirabolán injertados con la variedad ‘Golden Japan’ los que mostraron síntomas similares a la incompatibilidad localizada originada por virus (TomRSV), no detectado nunca en la zona de estudio. Finalmente, este estudio confirmó el interés de la especie *P. insititia* y algunos híbridos inter-específicos como patrones para ciruelo.

Palabras clave: *P. domestica*, *P. insititia*, *P. cerasifera*, *P. dulcis* x *P. persica*, incompatibilidad ‘traslocada’, incompatibilidad ‘localizada’

III.1. Introducción

Las variedades de las especies de ciruelo europeo (*P. domestica* L.) y japonés (*P. salicina* Lindl.) están entre las más cultivadas en climas templados (Ferlito et al., 2015). Entre los patrones usados para ciruelo europeo, destacan los denominados ciruelos de ‘crecimiento rápido’, que comprenden la especie diploide Mirobolán (*P. cerasifera* Ehrh.) y los híbridos Mariana (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*) (Oki, 1987; Reig et al., 2018a, 2018b). También se usan ampliamente los denominados ‘ciruelos de crecimiento lento’, entre los que destacan los de las especies hexaploides de ciruelo común (*P. domestica* L.) y *P. insititia* L. Entre los *P. insititia*, destacan algunos patrones como los tipo ‘San Julián’ y los ‘Pollizos de Murcia’, en particular ‘Adesoto 101’ (Moreno et al., 1995a). Para ciruelo japonés, es común el uso de Mirobolanes y Marianas, especialmente en suelos mal drenados y en condiciones de asfixia de raíces (Topp et al., 2012).

En España está muy extendido el uso de los patrones ‘Adesoto 101’, ‘San Julián A’ y ‘San Julián GF 655-2’ (*P. insititia*), los ciruelos de crecimiento rápido ‘Mirobolán 29C’ y algunos Mariana como ‘Mariana 2624’ y ‘Mariana GF 8-1’. Los patrones Mirobolán muestran, en general, gran tolerancia a la asfixia radicular, a la clorosis férrica (Moreno, 2004; Reig et al., 2018b) y a hongos del suelo como *Armillaria* y *Phytophthora* (Vidal et al., 2011). También los ‘Pollizos de Murcia’ y ‘San Julián’ son resistentes frente a nematodos, gran tolerancia a la clorosis férrica y a la asfixia de raíces (Iglesias et al., 2000; Moreno et al., 2008).

La selección clonal de patrones ciruelo tiene como objetivos mejorar la longevidad del árbol, la reducción del vigor, la resistencia a nematodos y a enfermedades del suelo, la tolerancia a la asfixia de raíces y a la sequía, la buena compatibilidad con variedades comerciales y la facilidad de propagación (Moreno, 2004; Oki, 1987). Otro objetivo de interés en Europa ha sido la búsqueda de resistencia a sharka causada por el virus *Plum pox virus* (PPV). Esta enfermedad afecta a todas las zonas frutícolas de España. No obstante, en Aragón se mantiene bajo control a través de un adecuado programa de prospecciones y erradicación (Cambra et al., 2001; Egea y Ruiz, 2014). En general, los patrones ciruelo del grupo Mirobolán son susceptibles a PPV (Rubio et al., 2006). Aunque ‘Mirobolán 29C’ ha sido considerado como resistente a sharka en condiciones controladas (Rubio et al., 2005), otros estudios de campo refieren lo contrario (Vidal et al., 2011; Polák y Komínek, 2014). De manera general, ‘Mariana 2624’ y varios clones de Pollizo de Murcia también son susceptibles a este virus (Rubio et al., 2005).

A pesar de la susceptibilidad de los patrones ciruelo al virus PPV, en las últimas décadas se han seleccionado patrones con tolerancia y resistencia a nematodos vectores de PPV como ‘Penta’, ‘Tetra’, los Pollizos de Murcia ‘Adesoto 101’, ‘Monpol’ y ‘Montizo’, y varios híbridos inter-específicos de ciruelo como ‘Isthara’ [(*P. cerasifera* x *P. salicina*) x (*P. domestica* x *P. persica*)], ‘Jaspi’ [(*P. salicina* x *P. cerasifera*) x (*P. spinosa*)], y ‘Krymsk-1’ (*P. tomentosa* x *P. cerasifera*) (Reighard, 2000), con características deseables para ciruelo europeo y japonés (Moreno et al., 1994; 1995a; Oki, 1987; Reig et al., 2018b). Sin embargo, el uso de distintas especies en la combinación patrón-variedad, también puede aumentar los problemas de incompatibilidad de injerto, como es el caso de ‘Mirobolán B’ injertado con variedades de ciruelo europeo (Cambra, 1986; Reig et al., 2019).

Además, la necesidad del cultivo de frutales en áreas con limitación de riego, ha generado interés por seleccionar patrones tolerantes a sequía. Una alternativa para dicho cultivo puede ser el uso de los híbridos almendro x melocotonero, debido a su buen comportamiento en suelos pobres y con problemas de sequía (Moreno et al., 2008) y por su resistencia frente a la sharka (Vidal et al., 2011). Así mismo, presentan gran tolerancia a la clorosis férrica por su buena adaptación a suelos calizos (Massai y Loreti, 2004; Moreno et al., 1994; Pinochet et al., 1999; Socias i Company et al., 1995). En general, los híbridos almendro x melocotonero (*P. dulcis* x *P. persica*) son mucho más tolerantes a clorosis férrica que los patrones francos de melocotonero (*P. persica*), e híbridos de melocotonero x *P. davidiana* (Moreno et al., 2008). Además, algunos de estos híbridos son relativamente resistentes a sharka, como el patrón ‘GF 677’ (Rubio et al., 2005; Polák y Komínek, 2014), debido a la presencia de *P. dulcis* en su base genética (Rubio et al., 2005). Sin embargo, los híbridos almendro x melocotonero pueden presentar incompatibilidad con ciruelo, especialmente con variedades de ciruelo europeo (Moreno et al., 1995b; Reig et al., 2019; Zarrouk, 2006). Distintos estudios de compatibilidad patrón-variedad han incluido numerosos patrones ciruelo (Herrero, 1962; Moreno et al., 1995c). Sin embargo, pocos de ellos incluyen híbridos almendro x melocotonero evaluados con variedades de ciruelo (Duval, 2004; Moreno et al., 1995b; Reig et al., 2019).

La incompatibilidad patrón-variedad más frecuente en ciruelo es del tipo ‘localizada’ (Herrero, 1968). Se manifiesta en estados avanzados de desarrollo del árbol (Herrero, 1951) y se caracteriza por irregularidades anatómicas en la unión de injerto, con espacios o discontinuidades en la zona cambial y una deficiente conexión vascular (Errea

et al., 2001; Koepke y Dhingra, 2013). Por ello, el tejido calloso formado no puede diferenciarse a tejido vascular ni a cambium, originándose tejido parenquimatoso con células no diferenciadas. Como consecuencia de ello, se reduce la actividad cambial que afecta la actividad del nuevo xilema y floema formado, causando discontinuidades en el cambium (Goldschmidt, 2014). Esto genera uniones frágiles, fáciles de romperse por la acción del viento o del peso de los frutos, generando pérdidas económicas cuantiosas al cabo de unos años (Pina-Sobrino, 2006; Dogra et al., 2018).

El objetivo de este estudio fue evaluar la compatibilidad patrón-variedad de dos variedades de ciruelo japonés, injertadas sobre diversos patrones *Prunus*. Entre los patrones evaluados, se incluyen ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido, híbridos inter-específicos de distintas especies de ciruelo e híbridos almendro x melocotonero. Algunos de estos híbridos son de reciente introducción en los mercados europeos o están en proceso de selección (Salazar et al., 2018).

Así, las variedades de ciruelo japonés ‘Angelino’ y ‘Golden Japan’ fueron injertadas sobre 43 patrones en condiciones de viveros experimentales establecidos en la finca de la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC). También se estudió el vigor del árbol y la concentración foliar de clorofila, mediante medidas SPAD, en los árboles evaluados, por su posible relación con la expresión de la incompatibilidad patrón-variedad.

III.2. Materiales y métodos

III.2.1. Material vegetal

Los diferentes patrones usados en este estudio fueron provistos por los Programas de Mejora Genética de Patrones *Prunus* de la EEAD-CSIC, de Agromillora Iberia S.L., y de otros centros de investigación. Para fines prácticos, los genotipos de los patrones usados fueron divididos en cuatro grupos según su base genética (Tabla I-1). Las variedades de ciruelo japonés ‘Angelino’ y ‘Golden Japan’ fueron injertadas en vivero sobre árboles de un año. Se injertaron en los veranos de los años 2010, 2013, 2014 y 2015.

Tabla III-1. Patrones *Prunus* usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de ciruelo japonés.

Patrón	Especie	Origen
Híbridos almendro x melocotonero		
Adafuel	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	CSIC, España
Adarcias	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	CSIC, España
Bergasa 2860 AD	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	CSIC, España
GF 677	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	INRA, Francia
Hansen 536	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	UC, USA
Hansen 2168	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	UC, USA
Mayor	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	CIDA, España
Nanopac (R-40)	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	AI, España
Ciruelos de crecimiento lento		
Adesoto 101	<i>P. insititia</i>	CSIC, España
‘Pollizo de Murcia’: PM 44 AD, PM 95 AD, PM 101 AD, PM 105 AD, PM 137 AD, PM 150 AD	<i>P. insititia</i>	CSIC, España
San Julián A	<i>P. insititia</i>	INRA, Francia
Constantí 1	<i>P. domestica</i>	CSIC, España
Penta	<i>P. domestica</i>	ISF, Italia
RC GF 1380	<i>P. domestica</i>	INRA, Francia
Torinel	<i>P. domestica</i>	INRA, Francia
Ciruelos de crecimiento rápido		
Adara	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Ademir	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Mariana 2624	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. munsoniana</i>	UC, USA
Mariana GF 8-1	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. munsoniana</i>	INRA, Francia
Mirobolán B	<i>P. cerasifera</i>	UK
Mirobolán 29 C	<i>P. cerasifera</i>	USA
Mirobolán GF 3-1	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. salicina</i>	INRA, Francia
Mirobolán 713 AD	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Mirobolán P 2980	<i>P. cerasifera</i>	INRA, Francia
Mirobolán P 2175	<i>P. cerasifera</i>	Rumania
Mirocal	<i>P. cerasifera</i>	INRA, Francia
Otros híbridos inter-específicos		
AP-45	(<i>P. besseyi</i> × <i>P. salicina</i>) × <i>P. armeniaca</i>	AI, España
Aprimed (AP-65)	[(<i>P. armeniaca</i> × <i>P. cerasifera</i>) × <i>P. besseyi</i>]	AI, España
Cadaman	<i>P. persica</i> × <i>P. davidiana</i>	Francia-Hungría
Damas GF 1869	<i>P. domestica</i> × <i>P. spinosa</i>	INRA, Francia
Densipac (R-20)	<i>P. besseyi</i> × <i>P. cerasifera</i>	AI, España
Isthara	(<i>P. cerasifera</i> × <i>P. salicina</i>) × (<i>P. domestica</i> × <i>P. persica</i>)	INRA, Francia
Miral 3278 AD	<i>P. dulcis</i> × <i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
PADAC 99-05	[<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)]	CSIC, España
PADAC 04-01	[<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)]	CSIC, España
Peach-Plum	<i>Prunus sp.</i>	AI, España
Replantpac (RR)	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. dulcis</i>	AI, España
Sapa Plum	<i>Prunus sp.</i>	AI, España

AI= Agromillora Iberia S.A., Vivero comercial; CIDA= Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario de Murcia, CSIC= Consejo Superior de Investigaciones Científicas; INRA= Institut National de la Recherche Agronomique; ISF= Instituto Sperimentale per la Fruticultura. UC= Universidad de California.

III.2.2. Estudio de compatibilidad

Los ensayos se establecieron en viveros experimentales con suelos calizos, con un contenido de carbonato cálcico en torno al 30%, caliza activa 7,5%, pH 8,0 y una textura franco-arcillo-limosa.

Desde el segundo año de crecimiento en vivero, se hizo un seguimiento de los árboles injertados para determinar posibles síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’. La amarillez y ‘abarquillamiento’ de hojas, una reducción drástica o ‘parada’ del crecimiento, y eventualmente, un abultamiento del injerto en la zona de la unión, caracterizan este tipo de incompatibilidad (Hartman et al., 2014). También se puede presentar una gran diferencia de vigor entre la variedad injertada y el patrón (Zarrouk, 2006). Posteriormente, los estudios de incompatibilidad ‘localizada’ se llevaron a cabo en árboles de dos a siete años de injerto.

El examen macroscópico de las uniones de injerto se llevó a cabo observando uniones de árboles con distintos años de injerto. Para la evaluación visual de la zona de unión, los árboles fueron serrados por el plano radial-longitudinal y clasificados de acuerdo a las categorías definidas por Mosse y Herrero (1951). Se establecieron las siguientes categorías (Figura III-1):

Categoría A = Uniones perfectas. La línea de unión en corteza y madera no es visible o puede ser ligeramente visible.

Categoría B = Buenas uniones. La corteza y madera es continua, aunque la línea de unión en la madera puede ser distinguible debido a una leve involución del cambium en la línea de unión.

Categoría C = Uniones con discontinuidades en corteza. El tejido de corteza entre el patrón y la variedad está separado por una línea marrón oscura con apariencia de corcho.

Categoría D = Las uniones tienen discontinuidades en madera. El tejido de madera de patrón y variedad está separado en varios puntos de la unión, por espacios o lagunas de parénquima no lignificado. El tejido de la corteza generalmente es clasificado como categoría C.

Categoría E = Rupturas en la zona de unión. Observación en campo de árboles rotos o saltados en la zona de la unión.



Figura III-1. Uniones de injerto serradas en el plano radial-longitudinal para su análisis macroscópico. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).

Durante el examen interno de las uniones de injerto, se midió la circunferencia de la unión, por encima y debajo (~5 cm) de dicha unión y en la misma línea de unión. Este método permitió buscar relaciones entre el desarrollo del árbol y los síntomas de incompatibilidad.

III.2.3. Análisis de datos

Los datos fueron evaluados mediante un análisis de varianza con el programa SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, USA). El análisis de varianza se realizó mediante un ANOVA, usado para determinar diferencias significativas entre combinaciones, y así después, establecer posibles correlaciones entre áreas de la circunferencia de tronco, concentración de clorofila y síntomas de incompatibilidad. La comparación de medias fue realizada mediante el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

III.3. Resultados y discusión

Los patrones ciruelo del grupo denominado de ‘crecimiento lento’, como ‘Adesoto 101’, otros Pollizos de Murcia en fase de selección (PM 44, PM 95, PM 101, PM 105, PM 137, PM 150), ‘San Julián A’ y ‘Penta’, injertados con la variedad de ciruelo japonés ‘Angelino’, no presentaron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’, ni uniones incompatibles a los dos y tres años después del injerto. De la misma manera, los híbridos inter-específicos ‘Miral’, ‘Replantpac RR’ y ‘AP 45’ mostraron buena compatibilidad (Tabla I-2). Aunque el patrón ‘AP 45’ no mostró síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’ (Fig. III-2), los árboles de esta combinación presentaron menor vigor que los de los patrones restantes (Tabla III-3).



Figura III-2. Árboles en vivero de un año después del injerto con la variedad de ciruelo japonés ‘Angeleno’ injertada sobre los patrones ‘AP-45’ (izquierda) y ‘Aprimed AP-65’ (derecha).

Estudios previos refieren la reducción severa del crecimiento como un síntoma de incompatibilidad traslocada (Hartman et al., 2014), aunque en melocotonero se asocia también a otros síntomas simultáneos, como amarillez en hojas, abarquillamiento y defoliación prematura (Zarrouk et al., 2006).

En el caso de la variedad ‘Golden Japan’, se llevaron a cabo un mayor número de observaciones en árboles de distintas edades (Tabla III-2). En general, se pudo estimar una buena compatibilidad de los híbridos almendro x melocotonero ‘Adafuel’, ‘Adarcias’, ‘GF 677’ y ‘Nanopac R-40’ durante los tres primeros años tras el injerto. Estos datos concuerdan con estudios previos de compatibilidad de estos híbridos con la variedad ‘Golden Japan’ (Moreno et al., 1995b). Sin embargo, en años posteriores, los patrones ‘Adarcias’ y ‘GF 677’ mostraron uniones con discontinuidad en corteza y madera, y fueron clasificadas como tipo D. Además, la discontinuidad de estas uniones en ambos patrones recuerda la sintomatología de la enfermedad ‘Prune Brown Line’, caracterizada por una serie de puntos necróticos y hendiduras a lo largo de la línea de unión (Hoy y Mircetich, 1984).

Tabla III-2. Examen interno de las uniones de injerto para las variedades de ciruelo japonés ‘Angeleno’ y ‘Golden Japan’ sobre distintos patrones *Prunus*.

Variedad	Patrón	Incompatibilidad localizada			
		2 años	3 años	4 años	7 años
		Número de árboles			
Angeleno	Adafuel	8 A	7 A	6 A	-
	Adarcias	7 A	7 A	-	-
	GF 655	5 A	3 A	-	-
	GF 677	5 A	3 A	-	-
	Hansen 536	5 A	6 A	6 A	-
	Hansen 2168	5 A	5 A	-	-
	Adesoto 101	5 A	9 A	-	-
	Constantf 1	4 A, 2 B	9 A	-	-
	PM 44 AD	5 A	9 A	-	-
	PM 95 AD	5 A	9 A	-	-
	PM 101 AD	5 A	5 A	-	-
	PM 105 AD	5 A	10 A	-	-
	PM 137 AD	5 A	6 A	-	-
	RC GF-1380	5 A	6 A	-	-
	San Julián A	5 A	4 A	-	-
	Penta	5 A	6 A	-	-
	Ademir	5 A	16 A	-	-
	(AP-45)	-	2 B; 3 C	-	-
	Aprimed (AP-65)	5 A	10 A	-	-
	Damas GF 1869	5 A	5 A	-	-
	Isthara	5 A	6 A	-	-
	PADAC 99-05	5 A	8 A	-	-
	Miral 3278 AD	5 A	13 A	-	-
	Replantpac (RR)	5 A	16 A	-	-
	Golden Japan	Adafuel	5 A	8 B	7 A; 3 B
Adarcias		10 C	5 A	10 A; 2 D	12 B; 2 C; 1 D ^b
Bergasa 2860 AD		-	-	-	8 A
GF-677		5 A	5 A	10 A	2 A; 10 D ^b
Hansen 536		5 A	-	4 A; 1 C	10 A
Hansen 2186		10 A	-	4 A; 1 C	10 A
Mayor		-	-	-	9 A; 4 B
Nanopac (R-40)		5 A	17 A	-	-
Adesoto 101		5 A	10 A	10 A	-
Constantf 1		5 A; 6 B	6 A	16 A	-
PM 44 AD		5 A	8 A	2 A	2 A
PM 95 AD		5 A	13 A	4 A	-
PM 101 AD		5 A	10 A	11 A	4 A
PM 105 AD		10 A	8 A	10 A	-
PM 137 AD		5 A	4 A	4 A	6 A
PM 150 AD		-	3 A	-	7 A
Penta		5 A	6 A	7 A	-
RC GF-1380		5 A	8 A	3 A	-
San Julián A		14 A	11 A	5 A; 1 B	12 A; 4 B
Torinel		-	4 A	5 A	10 A
Ademir		-	-	-	9 A; 2 B
Mirobolán B		5 A; 8 B; 4 C	25 A	20 A; 7 C	8 C; 7 D ^b
Mirobolán 29 C		10 A	-	-	2 C, 9 D ^b
Mirobolán GF 3-1		10 A	5 A	3 C	10 A; 1 C; 3 D ^b
Mirobolán 713 AD		10 A	5 A	22 A	20 A
Mirobolán P 2980	-	-	-	13 A	
Mirobolán P 2175	-	-	-	8 A	
Mirocal	5 A	-	9 A	11 A	
Mariana 2624	10 A	-	-	11 A	

Tabla I-2. (continuación)

Mariana GF 8-1	10 A	-	-	3 C, 8 D ^b
AP-45	2 B	8 B; 5 C	-	-
Aprimed (AP-65)	-	16 A	-	-
Damas GF 1869	-	18 A; 2 B	10 A; 2 B; 6 D ^b	-
Densipac (R-20)	5 A	17 A	-	-
Isthara	5 A	11 A	2 A	6 A
Miral 3278 AD	30 A	20 A	20 A; 2 B	14 A; 4 B; 3 C
PADAC 99-05	-	5 A; 8 A	-	-
PADAC 04-01	-	16 A	6 A	7 A
Peach Plum	-	-	-	11 D
Sapa Plum	-	-	-	6 A, 3 B
Replantpac (RR)	-	17 A	-	-

Categorías A, B, C, D, y E= clasificación del grado de incompatibilidad ‘localizada’ de acuerdo a Mosse y Herrero (1951). b= Síntomas de ‘Prune Brown Line’.

De igual forma que para la variedad ‘Angeleno’, los patrones ‘Adesoto 101’ y otros ‘Pollizos de Murcia’ en fase de selección, los tipo ‘San Julián’ y ‘Constantí 1’ (*P. domestica*), mostraron buena compatibilidad con la variedad ‘Golden Japan’, coincidiendo con datos previos de otros autores para estas combinaciones (Zarrouk, 2006). Los híbridos inter-específicos ‘Isthara’ y ‘Miral’ también fueron compatibles con dichas variedades de ciruelo japonés. En el caso de ‘Isthara’, la buena compatibilidad con ciruelo japonés, coincide con su buena compatibilidad también con ciruelo europeo, como se menciona en otros estudios (Reig et al., 2019; Zarrouk, 2006). También el híbrido ‘Miral 3278 AD’ mostró buena compatibilidad con las variedades de ciruelo japonés ‘Angeleno’ y ‘Golden Japan’ en uniones de 7 años de injerto, coincidiendo con otros estudios con variedades de ciruelo japonés y europeo (Reig et al., 2018a; 2019).

Los patrones ‘Penta’ y ‘RC GF 1380’ (*P. domestica*) y ‘Damas GF 1869’ (*P. domestica* x *P. spinosa*) no mostraron síntomas de incompatibilidad durante los tres primeros años tras el injerto con ‘Angeleno’ y ‘Golden Japan’. Sin embargo, el patrón ‘Damas GF 1869’ mostró algunas uniones incompatibles (clasificadas como D) al cuarto año de injerto.

En árboles de ‘Golden Japan’ sobre los patrones Mirobolán y Mariana se pudo observar un comportamiento similar al mencionado para ‘Damas GF 1869’: mostraron buena compatibilidad durante los tres primeros años tras el injerto, pero al cuarto año, se observaron algunas uniones con discontinuidades en corteza (clasificadas como C). Este fue el caso de los patrones ‘Mirobolán B’, ‘Mirobolán GF 3-1’ y ‘Mariana GF 8-1’, así como en los híbridos almendro x melocotonero: ‘Hansen 536’ y ‘Hansen 2186’. No obstante, estos últimos patrones presentaron uniones tipo A, tras cinco años de injerto, confirmando la buena compatibilidad entre estos híbridos y las variedades evaluadas.

Los patrones ‘Mirobolán B’, ‘Mirobolán 29 C’, ‘Mirobolán GF 3-1’ y ‘Mariana GF 8-1’ tuvieron uniones A y B en los primeros cuatro años de estudio, pero evolucionaron a uniones de tipo C y D a los siete años del injerto (Fig. III-3).

En el caso del híbrido ‘Adarcias’, se observaron dos árboles con uniones de tipo D a los siete años del injerto, coincidiendo con estudios anteriores en los que la incompatibilidad de esta combinación requirió 4 y 5 años para manifestarse (Reig et al., 2019).



Figura III-3. Uniones de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘Mirobolán B’ a los 7 años tras el injerto (categoría D) (izquierda). Uniones de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘AP-45’ (categoría C) (derecha), a los tres años tras el injerto.

En general, el patrón Adarcias injertado con variedades de ciruelo japonés requirió más tiempo tras el injerto para manifestar la incompatibilidad ‘localizada’, mientras que con algunas variedades de ciruelo europeo, dicha incompatibilidad se observó ya a los dos años del injerto (Reig et al., 2019).

En estudios previos, la combinación ‘Golden Japan’ / ‘Mirobolán B’ fue clasificada como compatible (categoría A) a los dos años del injerto (Herrero, 1962). Sin embargo, en el presente estudio se observaron anomalías en corteza y madera en árboles de cinco y siete años de injerto. Por ello, cobra importancia la evaluación durante un tiempo más prolongado, ya que la incompatibilidad ‘localizada’ en ciertas combinaciones, puede tardar en manifestarse (Reig et al., 2019).

Los árboles con cinco años de injerto de la variedad ‘Golden Japan’ sobre los patrones ‘Mirobolán B’, ‘Mirobolán 29C’, ‘Mirobolán GF 3-1’, ‘Mariana GF 8-1’ y ‘Damas GF 1869’, así como sobre los híbridos almendro x melocotonero ‘Adarcias’ y

‘GF 677’, presentaron uniones con puntos necróticos marrones similares a los síntomas característicos de ‘Prune Brown Line’ (PBL) (Fig. III-4). Esta anomalía ha sido asociada, en otros estudios, a la presencia del virus ‘Tomato ringspot virus’ (TomRSV) (Andrews y Serrano, 1993).



Figura III-4. Uniones de las combinaciones de 7 años de injerto con síntomas similares al ‘Prune Brown Line’. ‘Golden Japan’ / ‘Mirobolán GF 8-1’ (izquierda). ‘Golden Japan’ / ‘Mirobolán GF 3-1’ (derecha).

En el presente trabajo, dichas uniones fueron clasificadas en la categoría D cuando la discontinuidad llegaba a penetrar en la madera. Hoy y Mircetich (1984) en un estudio con patrones Mirobolán, observaron síntomas de PBL en la combinación de la variedad de ciruelo ‘French Prune’ injertada sobre ‘Mirobolán B’. Fue atribuida al virus ‘TomRSV’ (Tomato ringspot virus) como agente causal y transmitida por el nematodo *Xiphinema* sp. De igual forma, este virus fue el causante de la sintomatología de PBL cuando se injertó la variedad de ciruelo europeo ‘D’ Agen’ sobre Mirobolán (*P. cerasifera* L.) (Auger, 1989; Herrera, 2001).

La variedad ‘Golden Japan’ podría proceder del cruzamiento *P. salicina* x *P. simonii* (Boonprakob et al., 2001), aunque también podría tener la especie *P. cerasifera* como progenitor (Duval, 1999). El posible parentesco de ‘Golden Japan’ con la especie *P. cerasifera* y su sensibilidad al virus TomRV podrían explicar la incompatibilidad entre esta variedad con los patrones Mirobolán (Hoy y Mircetich, 1984; Reig et al., 2019). Sin embargo, este virus nunca ha sido detectado en las condiciones de cultivo españolas (Cambra et al., 2001). No obstante, otras razas del virus TomRV también han sido descritas como causantes del ‘Stem Pitting Disease’ (SPD) o ‘Prunus Stem Pitting’ (PSP) y ‘Peach Yellow Bud Mosaic’ (PYBM), con sintomatología similar a la descrita para PBL (Hoy and Mircetich, 1984). Sin embargo, la sintomatología del PSP no siempre se asocia

a la presencia del virus ‘TomRSV’, como en estudios de combinaciones incompatibles de melocotonero / Pollizo de Murcia (*P. insititia*) (Llácer et al., 1986). En estudios con otros frutales, tampoco se observó la presencia del virus TomRV, en plantas con la enfermedad del PSP (Canova, 1983). Por otra parte, el patrón ‘Mariana 2624’ ha sido considerado como resistente a PBL (Hoy y Mircetich, 1984). En el presente trabajo, tampoco se han observado síntomas de PBL en variedades de ciruelo japonés injertadas sobre ‘Mariana 2624’, en concordancia con Mircetich y Hoy (1981) y Hoy y Mircetich (1984).



Figura III-5. Uniones compatibles de árboles de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘Adafuel’ (izquierda) y ‘Golden Japan’ / ‘PADAC 99-05’ (derecha), tres años después del injerto.

Algunos patrones híbridos inter-específicos como ‘Damas GF 1869’, ‘Isthara’ y ‘Miral 3278 AD’ mostraron buena compatibilidad con la variedad ‘Golden Japan’ durante los primeros años de injerto. Sin embargo, en el caso de ‘Damas GF 1869’, a los cuatro años después del injerto, se observaron síntomas similares a los de PBL. Entre los patrones que presentaron buena compatibilidad y también ausencia de síntomas similares a los de PBL, cabe citar los híbridos almendro x melocotonero: ‘Adafuel’ (Fig. III-5), ‘GF 557’, ‘Hansen 536’, ‘Hansen 2186’ y ‘Nanopac (R-40)’, los clones de Pollizo de Murcia en selección: ‘PM 44’, ‘PM 95’, ‘PM 101’, ‘PM 105’ y ‘PM 137 AD’, el ciruelo ‘San Julián A’ y los ciruelos *P. domestica*: ‘Constantí’, ‘Tetra’ y ‘Torinel’. Entre los ciruelos de crecimiento rápido, mostraron buena compatibilidad con la variedad ‘Golden Japan’ los Mirobolanes: ‘Adara’, ‘Ademir’, ‘Mirobolán 713 AD’ y ‘Mirocal’, así como ‘Mariana 2624’; los híbridos inter-específicos: ‘PADAC 04-01’ y ‘PADAC 99-05’ [*P. cerasifera* x (*P. persica* x *P. dulcis*)] (Fig. III-5); ‘Miral 3278 AD’ y ‘Replantpac (RR)’ (*P. dulcis* x

P. cerasifera); e ‘Isthara® Ferciana’. Los patrones ‘Aprimed (AP-65)’ y ‘Densipac (R-20)’ también desarrollaron uniones compatibles (clasificadas como A y B), aunque en algunos casos también se observaron uniones con discontinuidad en corteza, correspondiendo a uniones de tipo C.

Al igual que en el caso de la variedad ‘Angelino’, el patrón ‘AP 45’ no mostró síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ injertado con ‘Golden Japan’, durante los dos primeros años en vivero tras el injerto. Sin embargo, los árboles mostraron una reducción del vigor muy característica (Fig. III-6). Además, al final del tercer año, esta combinación tuvo plantas con síntomas de decaimiento, amarillez en hojas y defoliación, así como mortalidad de algunos árboles.



Figura III-6. Uniones de árboles de tres años, de la combinación ‘Golden Japan’/ ‘PADAC 04-01’ (izquierda) y ‘Golden Japan’ / ‘AP-45’ (derecha).

El análisis macroscópico de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘AP-45’, permitió clasificar sus uniones como B y C. Estas fueron anatómicamente muy similares a las descritas por Iglesias y Carbó (2006) para el patrón ‘Jaspi®’ [*P. domestica* × *P. salicina*) × *P. spinosa* L.], injertado con la variedad de melocotonero Elegant Lady®. En dicho estudio, las uniones fueron clasificadas de tipo C y posteriormente, los árboles presentaron gran porcentaje de mortalidad. Sin embargo, en nuestro caso, se registró una baja mortalidad (20%) de estas combinaciones y dadas las características de las uniones de injerto de la combinación ‘Golden Japan’ / ‘AP-45’ (categorías B y C), no se puede atribuir como causa de la muerte de esos árboles a la incompatibilidad ‘localizada’ (Fig. III-6). Sin embargo, se puede considerar la presencia de una incompatibilidad ‘traslocada’ de tipo retrasada.

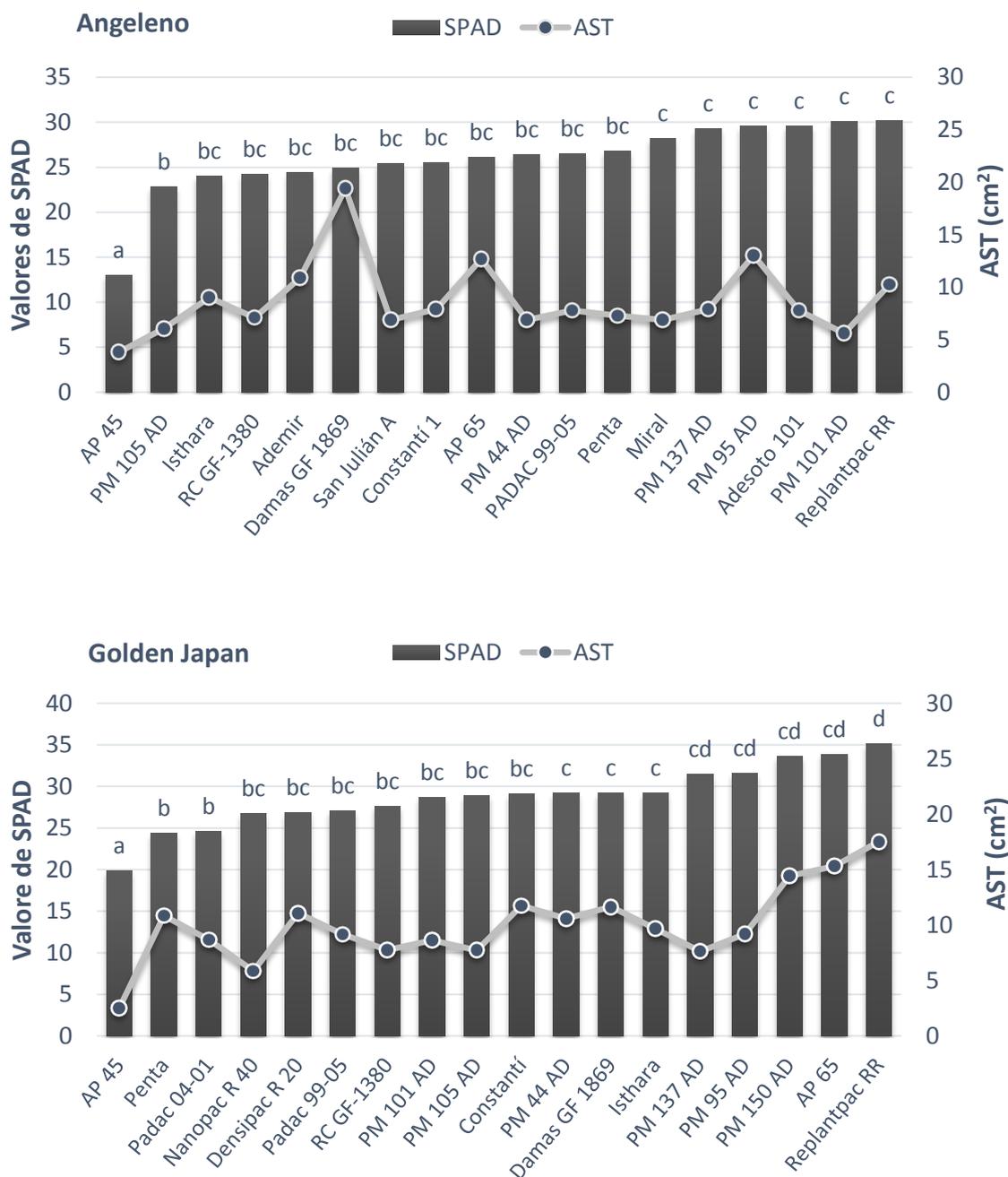


Figura III-7. Valores de SPAD y Área de la sección del tronco (AST, cm²) por encima de la unión de las variedades de ciruelo japonés ‘Angeleno’ y ‘Golden Japan’, injertadas sobre distintos patrones *Prunus*, a los tres años del injerto.

En la Figura III-7 se puede apreciar la diferencia de vigor para las combinaciones estudiadas, expresado como Área de la sección del tronco (AST, cm²). Las combinaciones ‘Angeleno’ / ‘AP-45’ y ‘Golden Japan’ / ‘AP-45’ mostraron un menor vigor frente al resto de combinaciones evaluadas.

Tabla III-3. Área de la sección del tronco (AST) por encima y debajo de la unión de injerto (~5 cm) y en la línea de unión, de las variedades de ciruelo japonés ‘Angeleno’ y ‘Golden Japan’ injertadas sobre diferentes patrones *Prunus*, a los tres años del injerto.

Variedades	Patrones	AST (cm ²)			Ratio	
		Variedad	Unión	Patrón		
Angeleno	Adesoto 101	9,2 ab	11,9 bc	9,9 b	0,77	
	Constantí 1	10,1 ab	15,8 cd	13,8 cd	0,64	
	PM 44	10,2 ab	16,6 cd	10,9 bc	0,62	
	PM 95	13,6 b	18,5 d	14,1 d	0,74	
	PM 101	4,5 a	8,4 a	7,4 b	0,63	
	PM 105	5,1 ab	7,4 a	5,0 a	0,62	
	PM 137	7,9 ab	13,2 bc	9,8 b	0,60	
	Penta	7,3 ab	11,6 bc	9,7 b	0,62	
	RC GF 1380	7,1 a	15,7 cd	12,8 c	0,45	
	San Julián A	6,9 ab	9,1 a	4,9 a	0,53	
	AP 45	3,8 a	10,6 b	5,3 a	0,41	
	Aprimed (AP 65)	12,7 ab	22,1 d	10,2 b	0,53	
	Ademir	10,9 ab	15,6 cd	12,7 c	0,70	
	Damas GF 1869	19,4 c	29,3 e	17,5 d	0,66	
	Isthara	9,1 ab	13,9 c	10,2 bc	0,58	
	PADAC 99-05	7,8 ab	9,8 ab	8,1 b	0,79	
	Replantpac (RR)	10,6 ab	15,2 cd	12,6 c	0,69	
	Miral 3278 AD	6,9 ab	10,4 ab	6,9 a	0,60	
	Golden Japan	Nanopac (R 40)	5,9 ab	14,2 ab	7,5 b	0,41
		Constantí 1	11,8 bcd	17,8 b	12,5 c	0,66
PM 44		10,6 abcd	19,5 bc	11,1 c	0,54	
PM 95		9,2 abc	15,6 ab	8,8 b	0,59	
PM 101		8,6 abc	15,4 ab	13,5 c	0,61	
PM 105		7,7 abc	11,8 ab	7,4 b	0,65	
PM 137		7,6 abc	16,6 ab	11,0 c	0,45	
PM 150		14,4 cd	22,7 c	18,5 cd	0,64	
Penta		10,8 bcd	17,6 b	11,8 c	0,61	
RC GF-1380		8,8 abc	16,4 ab	14,2 c	0,53	
AP 45		3,3 a	10,6 a	4,4 a	0,31	
Aprimed (AP 65)		15,3 cd	25,7 c	14,7 c	0,60	
Damas GF 1869		11,6 bcd	19,6 bc	11,4 c	0,60	
Densipac (R 20)		11,1 bcd	20,5 bc	11,5 c	0,54	
Isthara		9,7 abcd	16,0 ab	10,7 c	0,60	
PADAC 99-05		9,2 abc	16,2 ab	10,9 c	0,57	
PADAC 04-01		10,4 abc	16,9 ab	12,3 c	0,61	
Replantpac (RR)		17,5 d	31,0 d	19,4 d	0,56	

Para cada columna, la comparación de medias se ha realizado con el test de Tukey ($P \leq 0,05$).
Ratio = Relación sección de la variedad / sección de la unión.

En la Tabla III-3 se muestra el vigor de combinaciones de tres años de injerto, a partir del área de la sección del tronco por encima de la unión (~ 5 cm), en la propia unión y por debajo de la misma (~ 5 cm), como también la relación: sección de la variedad (arriba) / sección de la unión.

La relación del área de la sección del tronco por encima de la unión y en la zona de unión, no mostró correlación con la incidencia de la incompatibilidad patrón-variedad, puesto que, en este estudio, a los tres años tras el injerto, no se detectaron uniones incompatibles. Sin embargo, con cuatro y cinco años tras el injerto, se pudo observar la

incompatibilidad en combinaciones que hasta entonces habían mostrado ser compatibles. Tal es el caso de los patrones ‘Adarcias’, ‘Mirobolán B’ y ‘Damas GF 1869’. En otros estudios de ciruelo, con observaciones de uniones incompatibles, tampoco pudieron establecerse correlaciones significativas (Reig et al., 2019).

En algunas combinaciones incompatibles es característico un engrosamiento en la zona de la unión (Hartman et al., 2014; Irisarri et al., 2016). Sin embargo, no es una característica general y podría deberse a una diferencia de vigor muy acusada entre los componentes de la combinación de injerto (Moreno et al., 2001). En árboles de 3 años de injerto, tanto para la variedad ‘Angelino’ como para la variedad ‘Golden Japan’, los valores más altos de la relación sección por ‘encima de la unión’ / ‘zona de unión’, correspondieron a árboles con sus uniones clasificadas como compatibles. Los valores más bajos se obtuvieron en el patrón ‘AP 45’. Este patrón injertado con las dos variedades de ciruelo japonés, mostró un engrosamiento anormal de la unión. Valores de la relación ‘encima de la unión’ / ‘zona de la unión’ inferiores a 0,8 se han asociado a combinaciones de melocotonero incompatibles (Zarrouk et al., 2006). Sin embargo, en el presente trabajo, con árboles de 3 años, no se ha observado una relación clara entre el valor calculado y la incompatibilidad ‘localizada’. No obstante, en el patrón ‘AP-45’ los bajos valores de esta relación coincidieron con uniones clasificadas en categoría C.

En la Tabla III-4 se muestran los resultados del área de la sección del tronco (AST, cm²) para la variedad ‘Golden Japan’ injertada sobre patrones híbridos ‘almendro x melocotonero’, otros híbridos ‘inter-específicos’ y ‘mirobolanes’ con árboles de 7 años de injerto. La mayoría de las combinaciones incompatibles mostraron valores bajos en la relación del área ‘encima de la unión’ / ‘zona de la unión’. Este fue el caso de los patrones ‘Peach Plum’, ‘Mirobolán 29C’, ‘Mariana GF 3-1’ y ‘Mariana GF 8-1’.

En los árboles de 7 años de injerto, los valores más altos de la relación ‘encima de la unión’ / ‘zona de la unión’, comprendidos entre 0,7 y 0,8, correspondieron, en general, con las combinaciones compatibles. Contrariamente, varias de las combinaciones clasificadas como incompatibles, tuvieron valores inferiores en dicha relación (entre 0,50 y 0,61). Sin embargo, algunas combinaciones con valores próximos a 0,60, como ‘Golden Japan’ injertada sobre ‘Ademir’ y ‘Mirobolán B’ fueron compatibles (Tabla III-4).

Tabla III-4. Área de la sección del tronco (AST) por encima, debajo (~5 cm) y en la unión de injerto de la variedad de ciruelo japonés ‘Golden Japan’ injertada en diferentes patrones *Prunus*, a los 7 años después del injerto.

Patrón	AST (cm ²)			Ratio*	Compatibilidad
	Variedad	Unión	Patrón		
Adafuel	57,9 f	82,2 h	46,9 d	0,70	C
Adarcias	19,7 b	29,3 b	24,1 bc	0,67	C*
Bergasa 2860 AD	14,7 a	33,1 c	20,7 ab	0,62	C
Peach-Plum	27,0 c	47,8 de	34,4 bc	0,56	I*
Torinel	20,8 b	30,2 b	26,7 bc	0,68	C
Ademir	18,0 ab	30,0 b	18,6 a	0,60	C
Mariana 2624	28,8 c	38,8 cd	32,3 bc	0,74	C
Mirobolán B	14,0 a	23,2 a	21,1 ab	0,60	C
Mirobolán 29 C	24,6 c	42,3 d	30,0 bc	0,58	I*
Mirobolán 713 AD	17,5 ab	28,3 b	22,3 ab	0,62	C
Mirobolán P 2980	16,9 ab	25,2 ab	22,7 ab	0,77	C
Mirobolán P 2175	29,8 c	39,3 cd	32,8 bc	0,76	C
Mirocal	39,1 d	58,9 f	40,8 c	0,71	C
Isthara	41,6 e	55,1 ef	42,4 cd	0,75	C
Mariana GF 8-1	27,9 c	46,4 de	33,0 bc	0,60	I*
Miral 3278 AD	37,3 d	51,9 e	43,1 d	0,72	C
Mirobolán GF 3-1	39,7 d	65,4 g	38,9 bc	0,61	I*
Sapa Plum	16,2 ab	24,0 a	19,3 a	0,68	C

Para cada columna, la comparación de medias se ha realizado con el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

Ratio = Relación sección de la variedad / sección de la unión, C = Compatible, I = Incompatible,

* = Síntomas de ‘Prune Brown Line’.

El híbrido ‘Adafuel’ indujo el mayor vigor sobre la variedad injertada, entre los patrones compatibles. ‘Isthara’, ‘Miral 3278 AD’, ‘Mirocal’, ‘Mariana 2624’ y ‘Mirobolán P 2175’ presentaron valores de vigor intermedios, seguidos por ‘Adarcias’ y ‘Torinel’. Los que indujeron menor vigor sobre la variedad injertada fueron ‘Bergasa 2860 AD’ y ‘Ademir’, seguidos por ‘Mirobolán B’, ‘Mirobolán 713 AD’ y ‘Sapa Plum’.

Estos resultados coinciden con otros trabajos, confirmando el mayor vigor de los híbridos almendro x melocotonero frente a otros patrones (Loreti y Massai, 1990; Iglesias y Carbó, 2006). Estos patrones son recomendados para suelos calizos y de baja fertilidad (Moreno, 2004). En estas condiciones, los árboles vigorosos tienen un mayor desarrollo radicular, lo que les permite una mayor absorción de nutrientes. Sin embargo, un excesivo vigor es una característica poco deseada en plantaciones modernas, con suelos fértiles y condiciones de regadío, ya que aumenta las necesidades de mano de obra en el manejo de la plantación (Moreno, 2004).

III.4. Bibliografía

- Andrews, P.K., Serrano, C.**, 1993. Graft incompatibility. Hort. Rev. 15, 183-232.
- Auger, J.**, 1989. Tomato ringspot virus (TomRSV) associated with brownline disease of Prune trees in Chile. Acta Hort. 235, 197-204.
- Boonprakob, U., Byrne, D.H., Graham, C.J., Oki, W.R., Beckman, T., Smith, B.R.**, 2001. Genetic relationships among cultivated diploid plums and their progenitors as determined by RAPD markers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 126, 451-461.
- Cambra, M., Esteban, O., Gorris, M.T.**, 2001. Incidencias de los virus agresivos en los frutales de hueso. Vida Rural 121, 49-52.
- Cambra, R.**, 1986. Selección clonal de ciruelo Mirobolán (*Prunus cerasifera* Ehrh). Compatibilidad con la variedad de ciruelo Martín. Actas del II Congreso Nacional de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas (1), 176-180.
- Canova, A.**, 1983. Virus e virosi di fragola, di piante arbustive da frutto e di drupacee: situazione italiana e problemi di quarantena. Inf. Fitopatol. 2, 26-33.
- Dogra, K., Kour, K., Kumar, R., Bakshi, P., Kumar, V.**, 2018. Graft-Incompatibility in Horticultural Crops. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 7, 1805-1820.
- Duval, H.**, 2004. Agronomic evaluation of INRA *Prunus* rootstocks for two japanese plum cultivars: 'Friar' and 'Black Amber'. Acta Hort. 663, 957-960.
- Duval, H.**, 1999. Prunes japonaises: un défi à relever. L'Arboriculture fruitière 524, 35-41.
- Egea, J., Ruiz, D.**, 2014. Albaricoquero, en: La fruticultura del siglo XXI en España; pp. 87-106.
- FAOSTAT, 2019.** <https://www.faostat.org>. (Acceso 09 Mayo 2019).
- Ferlito, F., Continella, A., Nicolosi, E., Dimauro, B., Brugaletta, M., Cicala, A., La Malfa, S.**, 2015. Bio-agronomic characterization of twelve plum cultivars on two clonal rootstocks in a semi-arid environment in Sicily. Fruits 70, 249-256.
- Goldschmidt, E.E.**, 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. Front. Plant Sci. 5, 727.
- Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R.**, 2014. Plant propagation. Principles and practices, 8th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ; pp. 921.
- Herrera, G.**, 2001. Enfermedades causadas por virus en frutales en Chile. Santiago, Chile: Instituto de Investigación Agropecuaria. Boletín INIA, No.52. pp. 65.

- Herrero, J.**, 1951. Studies of compatible and incompatible graft combinations with special reference to hardy fruit trees. *J. Hortic. Sci.* 26, 186-237.
- Herrero, J.**, 1962. Incompatibilidad entre patrón e injertos. V. Variedades de ciruelo injertadas sobre Mirobolán B. *An. Aula Dei* (7), 56-63.
- Herrero, J.**, 1968. Problems of incompatibility in the plum-tree, En: Symposium of Working Group on Plum Genetics and Plum Breeding (10), pp. 387-400.
- Hoy, J.W., Mircetich, S.M.**, 1984. Prune brownline disease: Susceptibility of Prune Rootstocks and Tomato Ringspot Virus detection. *Phytopathology* 74, 272-276.
- Iglesias, I., Carbó, J.**, 2006. Patrones de melocotonero. Situación actual, características y comportamiento agronómico de los portainjertos de melocotonero. *Doss. Tècnic. DARP*, No.17. 3-18.
- Iglesias, I., Dalmau, R., Montserrat, R., Carbó, J., Bonani, J., Guantes, G.**, 2000. Comportamiento agronómico de 23 patrones de melocotonero con la variedad ‘Elegant Lady (Merdame)’ en Lleida y Girona. *Inf. Tec. Econ. Agrar. Extra*, 21-29.
- Irisarri, P., Pina, A., Errea, P.**, 2016. Evaluación del comportamiento vegetativo y compatibilidad de injerto de variedades de peral sobre los patrones ‘BA-29’ y ‘OHF-87’. *Inf. Tec. Econ. Agrar.* 112, 243-254.
- Koepke, T., Dhingra, A.**, 2013. Rootstock-scion somatogenetic interactions in perennial composite plants. *Plant Cell Rep.* 32, 1321-1337.
- Llacer, G., Cambra, M., Lavina, A., Aramburu, J.**, 1986. Viruses infecting stone fruit trees in Spain. *Acta Hort.* 193, 95-99.
- Loreti, F. and Massai, R.** 1990. Los patrones del melocotonero y del almendro: situación actual, problemas y perspectivas. *ITEA Vol. Extra* 9: 73-116.
- Massai, R., Loreti, F.**, 2004. Preliminary observations on nine peach rootstocks grown in a replant soil. *Acta Hort.* 658, 185-192.
- Mircetich, S.M., Hoy, J.W.**, 1981. Brownline of Prune trees, a disease associated with Tomato Ringspot Virus infection of Myrobalan and peach rootstocks. *Phytopathology* 71, 30-35.
- Moreno, M.Á.**, 2004. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the Aula Dei Experimental Station, Zaragoza, Spain. *Acta Hort.* 658, 519-528.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.**, 1994. Performance of Adafuel and Adarcias as peach rootstocks. *HortScience* 29, 1271-1273.

- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995a. Adesoto 101, a plum rootstock for peaches and other stone fruit. *HortScience* 30, 1314-1315.
- Moreno, M.A., Gella, R., Aparicio, J., Tabuenca, M.C.,** 1995b. Incompatibilidad entre patrón e injerto. Variedades de ciruelo injertadas sobre híbridos almendro x melocotonero. *An. Aula Dei* 21, 217-220.
- Moreno, M.A., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995c. Ademir, a myrobalan rootstock for plums. *HortScience* 30, 1475-1476.
- Moreno, M.A., Adrada, R., Aparicio, J., Betrán, A.,** 2001. Performance of «Sunburst» sweet cherry grafted on different rootstocks. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76, 167-173.
- Moreno, M.A., Gogorcena, Y., Pinochet, J.,** 2008. Mejora y selección de patrones *Prunus* tolerantes a estreses abióticos, en: La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal. Junta de Andalucía, Sevilla, Spain, pp. 451-475.
- Mosse, B., Herrero, J.,** 1951. Studies on incompatibility between some pear and quince grafts. *J. Hort. Sci.* 26, 238-245.
- Oki, W.R.,** 1987. Plum rootstocks. p. 321-360. In R.F. Carlson (ed.) *Rootstocks for fruit crops*. Wiley, New York, USA.
- Pina-Sobrino, A.,** 2006. Caracterización fisiológica y bioquímica de las respuestas que intervienen en la incompatibilidad de injerto en albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.). Tesis Doctoral. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Universidad de Zaragoza. España, 149 pp.
- Pinochet, J., Calvet, C., Hernández-Dorrego, A., Bonet, A., Felipe, A., Moreno, M.,** 1999. Resistance of peach and plum rootstocks from Spain, France, and Italy to root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *HortScience* 34, 1259–1262.
- Polák, J., Komínek, P.,** 2014. Evaluation of rootstocks of stone fruits for resistance to natural Plum Pox Virus infection. *Can. J. Plant Pathol.* 36, 116-120.
- Reig, G., Font i Forcada, C., Mestre, L., Betrán, J., Moreno, M.Á.,** 2018a. Potential of new *Prunus cerasifera* based rootstocks for adapting under heavy and calcareous soil conditions. *Sci. Hortic.* 234, 193-200.
- Reig, G., Font i Forcada, C., Mestre, L., Jiménez, S., Betrán, J., Moreno, M.Á.,** 2018b. Horticultural, leaf mineral and fruit quality traits of two ‘Greengage’ plum cultivars budded on plum based rootstocks in Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 232, 84-91.

- Reig, G., Salazar, A., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Val, J., Moreno, M.Á.,** 2019. Long-term graft compatibility study of peach-almond hybrid and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums. *Sci. Hortic.* 243, 392-400.
- Reighard, G.L.,** 2000. Peach rootstocks for the United States: Are foreign rootstocks the answer? *HortTechnology* 10, 714-718.
- Rubio, M., Gambín, M., Dicenta, F.,** 2006. Behaviour of six *Prunus* rootstocks in presence of sharka (Plum Pox Potyvirus). *Acta Hort.* 701, 227-232.
- Rubio, M., Martínez-Gómez, P., Pinochet, J., Dicenta, F.,** 2005. Evaluation of resistance to sharka (Plum Pox Virus) of several *Prunus* rootstocks. *Plant Breed.* 124, 67-70.
- Salazar, A.E., Torrents, J., Bordas, M., Val, J., Moreno, M.A.,** 2018. Graft compatibility for new released *Prunus* rootstocks. *Acta Hort.* 1228, 175–180.
- Socias i Company, R., Gómez-Aparisi, J., Felipe, A.,** 1995. A genetical approach to iron chlorosis in deciduous fruit trees, en: J. Abadía (ed.). *Iron nutrition in soil plants.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 167–174.
- Topp, B.L., Russell, D.M., Neumüller, M., Dalbó, M.A., Liu, W.,** 2012. Plum, en: Badenes M., Byrne D. (eds) *Fruit Breeding. Handbook of Plant Breeding.* Springer Science Business Media, pp. 571–621.
- Vidal, E., Bertolini, E., Cambra, M.,** 2011. Susceptibilidad de patrones de frutales de hueso frente a la enfermedad de la sharka. *Vida Rural* 9, 28-32.
- Zarrouk, O.,** 2006. Compatibilidad patrón-variedad en *Prunus*. Métodos precoces de detección de la incompatibilidad de injerto. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, 240 pp.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., Pinochet, J.,** 2006. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. *HortScience* 41, 1389-1394.

IV. Compatibilidad de variedades de albaricoquero injertadas sobre distintos patrones *Prunus*

Resumen

El cultivo actual del albaricoquero requiere la selección de patrones adaptados a las condiciones semiáridas mediterráneas. Las selecciones de nuevos patrones requieren un conocimiento previo antes de ser lanzados al mercado, debido a la posible falta de compatibilidad de injerto que presentan las variedades de albaricoquero con patrones de algunas especies de *Prunus*. La incompatibilidad del tipo ‘traslocada’ no es común en albaricoquero. Sin embargo, es frecuente la incompatibilidad del tipo ‘localizada’ que siendo asintomática puede demorar varios años en manifestarse. Este trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza, España) con el objetivo de evaluar la compatibilidad de injerto de dos variedades de albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.) injertadas sobre 34 patrones pertenecientes a distintos grupos y / o especies del género *Prunus* (híbridos almendro x melocotonero, ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido, e híbridos inter-específicos de ciruelo). Algunos de estos patrones están en proceso de selección y otros son comerciales de reciente introducción en los mercados europeos. Injertados con las variedades de albaricoquero ‘Moniquí’ y ‘Portici’, los árboles fueron evaluados en condiciones de vivero durante varios años. Como era previsible, no se observaron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ en ninguna de las combinaciones de injerto. Por el contrario, se pudieron detectar casos de incompatibilidad ‘localizada’, especialmente en algunos patrones de nueva generación. Se confirmó además la incompatibilidad de algunos patrones Mirobolán (*P. cerasifera*) como ‘Ademir’, ‘Mirobolán B’ y ‘Mirobolán 29C’, entre otros. En cambio, en este estudio destaca el interés de los patrones ciruelo de la especie *P. insititia*, y *P. domestica* (‘Torinel’), así como de algunos híbridos inter-específicos (‘Aprimed AP-65’), al mostrar buena compatibilidad con las variedades estudiadas. No obstante, se requiere un mayor número de árboles y más años de observación para confirmar la buena compatibilidad de algunas de las combinaciones evaluadas.

Palabras clave: *P. armeniaca*, *P. domestica*, *P. insititia*, *P. cerasifera*, *P. dulcis* x *P. persica*, incompatibilidad ‘localizada’.

IV.1. Introducción

El cultivo de albaricoquero es de gran importancia a nivel mundial, siendo en 2017 el principal país productor Turquía (800.440 t), seguido por Irán (457.381 t) y Uzbekistán (435.839 t). Esta producción se destina principalmente al mercado de albaricoque deshidratado (FAOSTAT, 2019). En un segundo grupo de países productores, se encontraría España con una producción cercana a las 132.000 toneladas y con un área cultivada en torno a las 17.600 ha (MAPAMA, 2017), siendo líder en producción de albaricoque fresco, junto a Italia, Francia y Grecia (FAOSTAT, 2019).

Un árbol de albaricoquero está compuesto de dos partes genéticamente distintas, la variedad y el patrón. El albaricoquero ha sido cultivado generalmente sobre patrones de la misma especie o ‘francos de albaricoquero’ (*P. armeniaca* L.), debido a su buena compatibilidad con variedades comerciales (Egea y Ruiz, 2014a). Los patrones ‘francos de albaricoquero’ requieren suelos permeables, con pH entre 6,5 y 7,5 y caliza activa menor del 8% (Tsipouridis, 1999). Sin embargo, los patrones ‘francos’ son muy susceptibles a la asfixia de raíces y a las podredumbres causadas por hongos del suelo (Rodrigo et al., 2002) e inducen un vigor que, en la actualidad, es considerado excesivo en las plantaciones modernas (Reig et al., 2018c; Tetsumura et al., 2015).

Debido a la demanda del fruto de albaricoquero en los mercados mundiales, se requiere incrementar su área de producción (Reig et al., 2018c). Sin embargo, las áreas de cultivo mediterráneas tienen, en general, suelos de textura pesada y con alto contenido de caliza, donde son comunes los problemas de asfixia de raíces y de clorosis férrica (Hernández et al., 2010).

En la Región de Murcia, con elevado contenido de caliza en sus suelos, los patrones ciruelo ‘Pollizo de Murcia’ (*P. insititia*) han tenido un uso generalizado, gracias a su adaptación a dichas condiciones (Egea y Ruiz, 2014a). Sin embargo, en la actualidad se ha restringido su uso debido a la falta de homogeneidad de las plantaciones sobre patrones ‘Pollizo’ no clonales (Hernández et al., 2010) y a la excesiva emisión de sierpes o rebrotes de raíz de dichos patrones (Moreno, 2009). Otra limitación para su uso es el escaso vigor que inducen, en algunas ocasiones, sobre la variedad injertada (Felipe, 1989).

Las condiciones clorosantes de los suelos, debido a su elevado contenido de caliza, han propiciado también el uso de los patrones Mirobolán (*P. cerasifera*) y Mariana (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*), e híbridos inter-específicos de ciruelo, debido a su mejor

capacidad de adaptación a dichas condiciones (Reig et al., 2018a, 2018b; Rodrigo et al., 2002).

Sin embargo, un factor que ha limitado el uso extensivo de estos patrones es su incompatibilidad con numerosas variedades comerciales (Cambra, 1979; Moreno et al., 1995; Bassi et al., 2006; Reig et al., 2018c). La incompatibilidad entre patrones Mirobolán y variedades de albaricoquero es muy variable debido a la gran heterogeneidad genética de dichos patrones (Cambra y Cambra, 1973; Dimitrova y Marinov, 2002; Kramarenko, 2006). No obstante, su uso sigue siendo importante debido a su buen comportamiento en vivero y a su facilidad de propagación (Moreno et al., 1995). Por ello, es imprescindible la evaluación de su compatibilidad en campo con el mayor número posible de variedades (Bassi et al., 2006).

La incompatibilidad de los patrones de los grupos ‘Mirobolán’ y ‘Mariana’ con las denominadas variedades “exigentes” de albaricoquero es mucho más frecuente, por lo que la selección de patrones para albaricoquero ha implicado nuevos materiales (Cossa-Raynaud y Audergon, 1987). Los patrones almendro x melocotonero podrían ser una alternativa para el cultivo de albaricoquero en las condiciones mediterráneas, dada su elevada tolerancia a la clorosis férrica (Socias i Company et al., 1995) y su buen comportamiento en suelos pobres y con problemas de replantación. Sin embargo, la incompatibilidad de estos patrones con variedades de albaricoquero es frecuente, como ocurre en el caso de los híbridos ‘GF 677’ y ‘Cadaman’ (Cambra, 1986; Egea y Ruiz, 2014a).

La fruticultura europea presenta una acelerada renovación varietal, por lo que se requiere evaluar la compatibilidad de las nuevas variedades. Una de las de mayor importancia en España ha sido ‘Moniquí’, de maduración tardía y auto-incompatible (Rodrigo y Hormaza, 2005). Es una variedad clasificada como ‘exigente’ en cuanto a compatibilidad de injerto, al igual que la mayoría de variedades cultivadas en España (Cossa-Raynaud y Audergon, 1987; Daorden, 2003; Reig et al., 2018c). Aunque su producción ha disminuido mucho (Rodrigo y Hormaza, 2005), es una variedad de gran interés en las regiones de Aragón y Murcia debido a su buena adaptación climática, gran producción y demanda en el mercado europeo (Egea y Ruiz, 2014b). La importancia de esta variedad llevó a la realización de cruzamientos con ciruelo, en la búsqueda de rasgos genéticos presentes en algunos Mirobolanes, como la adaptación a los suelos pesados y calizos del Valle del Ebro (Daorden, 2003). Además, plantas provenientes del cruzamiento entre las variedades ‘Moniquí’ (exigente) y ‘Pavot’ (poco exigente)

mostraron una mejor compatibilidad sobre ‘Mariana 2624’, comparada con la mostrada en la combinación ‘Moniquí’ / ‘Mariana 2624’, revirtiendo la incompatibilidad de la combinación en un 70% de cruzamientos compatibles frente a un 21% de incompatibles (Irisarri et al., 2017).

La incompatibilidad patrón-variedad en albaricoquero es un problema a nivel mundial, aunque son escasos los estudios sobre este problema (Cambra, 1986; Irisarri et al., 2017; Reig et al., 2018c). El gran número de genotipos que pueden ser combinados por injerto ha producido gran variabilidad genética y de interacciones fisiológicas, bioquímicas y anatómicas que ralentizan la investigación en este área (Goldschmidt, 2014; Hartman et al., 2014).

La incompatibilidad es definida como el éxito o fracaso en la asociación entre la variedad y el patrón tras el injerto (Chen et al., 2016). Los dos componentes deben adherirse mutuamente dando paso a la formación del callo, la creación de un nuevo cambium y el establecimiento de nuevos tejidos vasculares, para finalmente dar paso a la formación de un sistema vascular funcional alrededor de la línea de unión de injerto (Pina et al., 2012). La formación de una buena unión puede tardar desde varios días (en especies herbáceas) a más de un año (en especies perennes o leñosas). En muchos casos la incompatibilidad se manifiesta varios años tras el injerto (Zarrouk, 2006).

La incompatibilidad de tipo ‘traslocada’, típica en melocotonero injertado sobre algunos patrones ciruelo, está caracterizada por la manifestación de síntomas visuales como amarilleamiento y abarquillamiento de hojas, enrojecimiento de hojas y ramas, y una parada significativa del crecimiento (Moreno et al., 1993; Hartmann et al., 2014). En este tipo de incompatibilidad es común la acumulación de almidón en la variedad y ausencia en el patrón (Tabuenca, 1962, 1973; Pina-Sobrino, 2006; Zarrouk et al., 2006). Como resultado de esta anomalía se presenta una degeneración de los tubos cribosos y células acompañantes del floema en la zona de injerto (Herrero, 1968; Zarrouk et al., 2010) y la muerte del árbol en los primeros años del injerto.

La incompatibilidad ‘localizada’ se manifiesta por desorganizaciones morfológicas y fisiológicas localizadas en el punto de unión, que acaban por romper la asociación patrón-variedad, generando involuciones del tejido en la zona del cambium y discontinuidades en las conexiones de floema y xilema (Errea et al., 1994; Pina-Sobrino, 2006). Como consecuencia, se presentan lagunas de tejido parenquimatoso que interrumpen la conexión vascular patrón-variedad y discontinuidades en la corteza en la zona de unión (Borruey y Errea, 1998; Hartmann et al., 2014; Pina-Sobrino, 2006; Reig

et al., 2018c). Estos defectos estructurales disminuyen la solidez de la unión y pueden producir la ruptura de los árboles por acción del viento o forzado mecánico (Mosse, 1962) varios años después del injerto, a pesar de un desarrollo en apariencia normal del árbol, ocasionando pérdidas económicas irreparables (Pina-Sobrino, 2006; Dogra et al., 2018). Debido a la frecuencia de los casos de incompatibilidad en albaricoquero (Reig et al., 2018c), es necesaria una evaluación en campo, previa a la comercialización de un patrón determinado. Por ello, en este estudio se evaluó la compatibilidad de dos variedades de albaricoquero injertadas sobre numerosos patrones *Prunus* de características diferentes. Entre los patrones usados, hay que citar los ciruelos de crecimiento lento (*P. insititia* y *P. domestica*), los ciruelos de crecimiento rápido (*P. cerasifera*, *P. cerasifera* x *P. munsoniana*), e híbridos inter-específicos de *Prunus*. Algunos de ellos son de reciente introducción en los mercados europeos, o están en proceso de selección. La compatibilidad fue evaluada en condiciones de vivero, en la finca de la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC). También se estudió el vigor del árbol y la capacidad fotosintética en relación a la compatibilidad patrón-variedad.

IV.2. Materiales y métodos

IV. 2.1. Material vegetal

Los diferentes patrones usados en este estudio fueron provistos por los Programas de Mejora Genética de Patrones *Prunus* de la EEAD-CSIC (Moreno, 2004), de la empresa Agromillora Iberia S.L. y de otros centros de investigación. Para fines prácticos, los genotipos de los patrones usados fueron divididos en cuatro grupos según su base genética (Tabla IV-1): híbridos almendro x melocotonero, ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido e híbridos inter-específicos de *Prunus*.

Los árboles de los patrones estudiados fueron plantados en vivero en los inviernos de 2009-2010 y 2012-2013, e injertados con las variedades ‘Moniquí’ y ‘Portici’ a finales del verano en 2010 y 2013 respectivamente. Los ensayos se establecieron en viveros experimentales con suelos calizos, con un contenido de carbonato cálcico en torno al 30%, caliza activa 7,5%, pH 8,0 y una textura franco-arcillo-limosa.

Tabla IV-1. Patrones usados en el estudio de compatibilidad con variedades de albaricoquero.

Patrón	Especie	Origen
Híbridos almendro x melocotonero		
Nanopac (R-40)	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	AI, España
Ciruelos de crecimiento lento		
‘Pollizo de Murcia’: PM 44 AD, PM 95 AD, PM 101 AD, PM 105 AD, PM 137 AD, PM 150 AD)	<i>P. insititia</i>	CSIC, España
San Julián A	<i>P. insititia</i>	INRA, Francia
Constantí 1	<i>P. domestica</i>	CSIC, España
Penta	<i>P. domestica</i>	ISF, Italia
RC GF 1380	<i>P. domestica</i>	INRA, Francia
Torinel	<i>P. domestica</i>	INRA, Francia
Ciruelos de crecimiento rápido		
Ademir	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Mariana 2624	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. munsoniana</i>	UC, U.S.A.
Mirobolán B	<i>P. cerasifera</i>	U.K.
Mirobolán 29 C	<i>P. cerasifera</i>	U.S.A.
Mirobolán GF 3-1	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. salicina</i>	INRA, Francia
Mirobolán 713 AD	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Mirobolán P 2980	<i>P. cerasifera</i>	INRA, Francia
Mirobolán P 2315	<i>P. cerasifera</i>	Rumania
Mirocal	<i>P. cerasifera</i>	INRA, Francia
Otros híbridos inter-específicos		
AP-45	(<i>P. besseyi</i> × <i>P. salicina</i>) × <i>P. armeniaca</i>	AI, España
Aprimed (AP-65)	(<i>P. armeniaca</i> × <i>P. cerasifera</i>) × <i>P. besseyi</i>	AI, España
Damas GF 1869	<i>P. domestica</i> × <i>P. spinosa</i>	INRA, Francia
Deep Purple	<i>P. besseyi</i> × <i>P. salicina</i>	U.S.A
Densipac (R-20)	<i>P. besseyi</i> × <i>P. cerasifera</i>	AI, España
Isthara	(<i>P. cerasifera</i> × <i>P. salicina</i>) × (<i>P. domestica</i> × <i>P. persica</i>)	INRA, Francia
Miral 3278 AD	<i>P. dulcis</i> × <i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
PADAC 99-05	[<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)]	CSIC, España
PADAC 04-01	[<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)]	CSIC, España
Peach-Plum	<i>P. domestica</i>	U.S.A
Replantpac (RR)	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. dulcis</i>	AI, España
Sapa Plum	<i>P. besseyi</i>	U.S.A
Krymsk1 (VVA-1)	<i>P. tomentosa</i> × <i>P. cerasifera</i>	KEBS, Rusia

AI= Agromillora Iberia S.A., Vivero comercial; CSIC= Consejo Superior de Investigaciones Científicas; INRA= Institut National de la Recherche Agronomique; ISF= Instituto Sperimentale per la Frutticoltura; KEBS= Krymsk Experimental Breeding Station. UC= Universidad de California

IV.2.2. Estudio de compatibilidad

Desde el segundo año del injerto, se determinaron los posibles síntomas visuales de incompatibilidad descritos en el capítulo 1. El examen macroscópico de las uniones de injerto se llevó a cabo en el año 2017. Las uniones de injerto fueron serradas por el plano radial-longitudinal (Fig. IV-1) de acuerdo a Mosse y Herrero (1951). Para la evaluación visual de la incompatibilidad ‘localizada’ se establecieron las siguientes categorías: Categoría A = Uniones perfectas. La línea de unión en corteza y madera es ligeramente visible.

Categoría B = Buenas uniones. La corteza y madera es continua, aunque la línea de unión en la madera puede ser claramente distinguible debido a una leve involución del cambium en la línea de unión.

Categoría C = Uniones con discontinuidades en corteza. El tejido de corteza del patrón y de la variedad está separado por una línea marrón oscura con apariencia de corcho.

Categoría D = Las uniones tienen discontinuidad en madera. El tejido de madera de patrón y variedad está separado en varios puntos de la unión, por espacios o lagunas de parénquima no lignificado. El tejido de la corteza generalmente es clasificado como categoría C.

Categoría E = Rupturas en la zona de unión. Observación en campo de árboles rotos o saltados en la zona de la unión.



Figura IV-1. Uniones serradas en el plano radial-longitudinal para el análisis macroscópico de uniones de injerto. Clasificación en categorías (A, B, C, D y E) de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).

En paralelo al examen interno de las uniones de injerto, se midió su perímetro en tres puntos: por encima y debajo (~5 cm) de la unión y en la misma línea de unión. Se calculó el valor del Área de la sección del tronco en centímetros cuadrados (AST, cm²) como parámetro de vigor, tanto de la variedad como de la propia unión y del patrón. También se calculó la relación entre la sección del tronco de la variedad injertada y en la zona de la unión, de acuerdo a Zarrouk et al. (2006b). Este método permitió buscar correlaciones entre el desarrollo del árbol y los síntomas de incompatibilidad.

Se utilizó el medidor SPAD 502 (Minolta Co., Osaka, Japón) para estimar la concentración de clorofila en hojas. Las mediciones se hicieron durante el segundo año del injerto, a principios del mes de Junio, en algunas de las combinaciones estudiadas.

IV.2.3. Análisis de datos

Los datos de vigor y SPAD fueron evaluados con un análisis de varianza con el programa SPSS 21,0 (SPSS Inc., Chicago, USA). El análisis de varianza se realizó mediante un ANOVA, usado para determinar diferencias significativas entre combinaciones, y así después establecer posibles correlaciones entre áreas de la circunferencia de tronco, valores de SPAD y síntomas de incompatibilidad. La comparación de medias fue realizada mediante el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

IV.3. Resultados y discusión

En los primeros años tras el injerto, se evaluaron los distintos patrones incluidos en los grupos ‘ciruelos de crecimiento lento’, ‘ciruelos de crecimiento rápido, híbridos ‘inter-específicos de ciruelo’, y el híbrido almendro x melocotonero ‘Nanopac R-40’, todos ellos injertados con las variedades ‘Moniquí’ y ‘Portici’. No se observaron síntomas visuales característicos de incompatibilidad ‘traslocada’, es decir, amarilleamiento, enrojecimiento y abarquillamiento de hojas, ni enrojecimiento de tallos y ramas, como los descritos en melocotonero sobre patrones Mirobolán (Tabuenca, 1973; Zarrouk et al., 2006a). Los árboles presentaron un aspecto normal en brotes y hojas (Fig. IV-2).

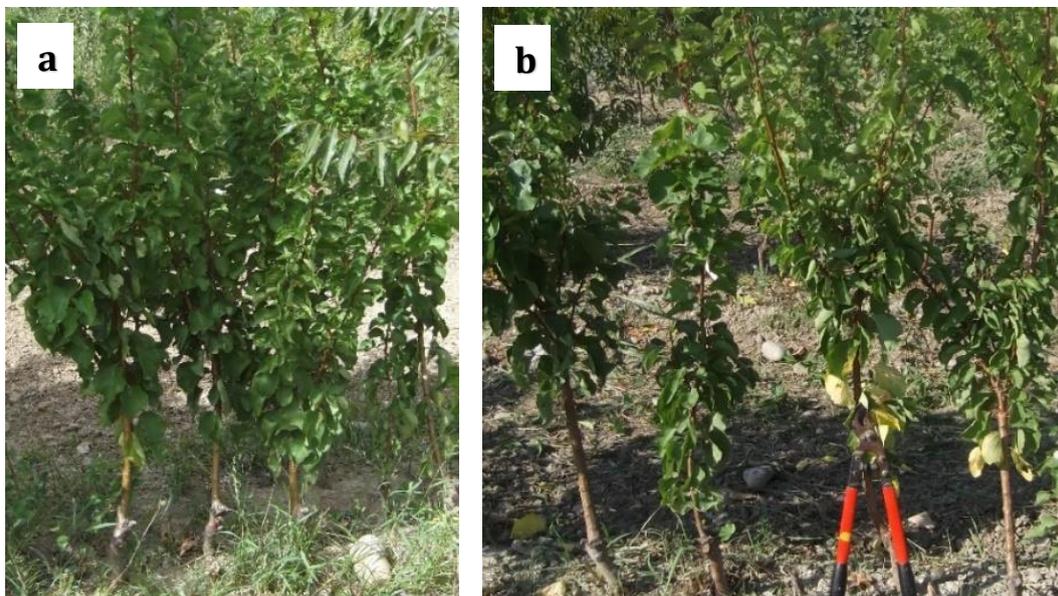


Figura IV-2. Variedad ‘Moniquí’ injertada sobre los patrones ‘Mirocal’ (izquierda) y ‘Nanopac (R-40)’ (derecha) un año después del injerto.

Otras combinaciones con mayor tiempo de desarrollo en vivero (siete años), tampoco presentaron síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’ durante los primeros cuatro años (M.A. Moreno, comunicación personal), ni durante el quinto y sexto

año tras el injerto. Sin embargo, algunas de las uniones, presentaron un engrosamiento anormal en la zona de la unión (Fig. IV-3). Una vez serradas, en algunos casos, se determinó su incompatibilidad de tipo ‘localizada’.

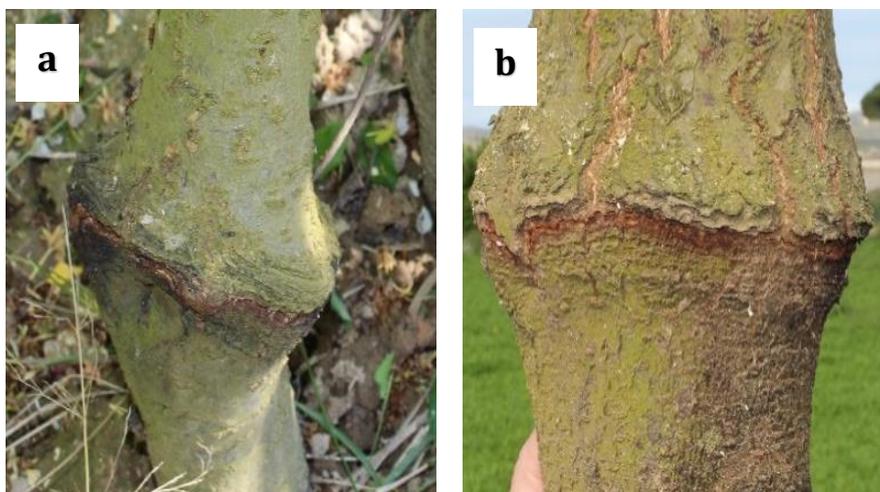


Figura IV-3. Aspecto exterior de las uniones de la variedad ‘Moniquí’ injertada sobre los patrones ‘Mirobolán B’ (a) y ‘Mirocal’ (b).

Durante los dos primeros años de estudio, se pudieron observar claras diferencias en el vigor entre algunos de los patrones injertados, tanto con la variedad ‘Moniquí’ como con ‘Portici’. Por ejemplo, el área de la sección del tronco (AST, cm²) de la variedad ‘Moniquí’ injertada sobre los patrones ‘AP-45’ y ‘Densipac R-20’ mostró valores significativamente menores frente a otros patrones, como ‘Ademir’ (Tabla IV-2).

Tabla IV-2. Área de la sección del tronco (AST), por encima y por debajo de la unión de injerto (~5 cm) y en la zona de unión, de variedades de albaricoquero injertadas sobre diferentes patrones Prunus, tres años tras el injerto.

Variedades	Patrones	AST (cm ²)			Ratio*	Compatibilidad
		arriba	unión	abajo		
Moniquí	Nanopac R 40	6,4 ab	16,9 bc	10,3 b	0,37 a	I
	PM 105 AD	3,3 a	6,8 ab	5,6 ab	0,44 ab	C
	RC GF 1380	13,2 bc	13,8 bc	5,7 ab	0,99 d	C
	Torinel	3,7 a	8,4 ab	7,1 ab	0,43 ab	C
	Ademir	15,4 c	26,4 d	20,1 d	0,58 b	I
	AP 45	4,2 a	9,0 ab	6,0 ab	0,47 ab	C
	Aprimed (AP 65)	14,5 bc	22,2 bc	15,7 c	0,64 bc	C
	Densipac R 20	6,4 ab	11,2 ab	6,8 ab	0,57 b	C
	Miral 3278 AD	10,9 b	14,8 bc	6,3 ab	0,76 cd	I
	PADAC 04-01	1,5 a	3,3 a	2,4 a	0,47 ab	I
	Replantpac RR	15,0 bc	36,1 e	21,5 d	0,42 ab	I
Portici	Nanopac R 40	4,2 a	13,3 ab	7,7 a	0,32 a	C
	PM 44 AD	7,3 ab	12,4 ab	9,4 ab	0,59 ab	C
	PM 101 AD	4,5 a	8,4 a	7,6 a	0,54 ab	C
	Constantí 1	10,0 b	15,9 b	14,7 bc	0,63 b	C
	Penta	6,9 ab	12,4 ab	9,7 ab	0,56 ab	C
	Torinel	10,4 b	15,4 b	15,9 c	0,68 bc	C
	AP 45	6,4 ab	12,0 ab	8,5 a	0,53 ab	C
	Damas GF 1869	7,4 ab	10,5 a	9,1 a	0,71 c	C
	Densipac (R 20)	8,8 ab	16,3 b	12,1 abc	0,54 ab	C

Para cada variedad y columna las medias están separadas con el test de Tukey al $P \leq 0,05$.

(*) = Relación AST de la variedad / AST de la unión.

En la Tabla IV-2, se muestran los resultados de la evaluación del área de la sección del tronco (AST) para la variedad injertada, el patrón y la zona de unión. Para el caso de las uniones incompatibles, observadas a los tres años de injerto, se pudo apreciar que, en general, mostraron la tendencia hacia valores más bajos de la relación “AST de la variedad / AST de la unión”, con excepción del patrón ‘Miral 3278 AD’ que mostró valores superiores a 0,7. También mostraron valores bajos de dicha relación los patrones ‘PM 105 AD’, ‘Torinel’ y ‘Densipac R-20’. Así también, el área de la sección del tronco (AST, cm²) de la variedad ‘Moniquí’ sobre los patrones ‘PM 105 AD’, ‘Torinel’, ‘AP-45’ (compatibles) y ‘PADAC 04-01’ (incompatible) fue menor frente a los patrones ‘Replantpac RR’, ‘Aprimed AP 65’, ‘Nanopac R-40’ (compatibles) y ‘Ademir’ (incompatible). Es decir, la incompatibilidad se presentó tanto en patrones con valores de AST altos, como el caso de ‘Miral 3278 AD’ (0,76), como en patrones con valores bajos, como el caso de ‘Replantpac RR’ (0,42).

Entre los patrones del grupo de ‘ciruelos híbridos inter-específicos’ los patrones ‘Replantpac RR’ (incompatible) y ‘Aprimed AP-65’ (compatible), mostraron los mayores valores de AST, aunque sin diferencias significativas frente a ‘Densipac R-20’, ‘Miral 3278 AD’, ‘RC GF-1380’ y ‘Ademir’ (Tabla IV-2). No obstante, los valores de la relación

“AST de la variedad / AST de la unión”, en varios casos, no mostraron una relación clara con la incompatibilidad.

Tabla IV-3. Área de la sección del tronco (AST) por encima y debajo de la unión de injerto (~5 cm) y en la línea de unión de la variedad de albaricoquero ‘Moniquí’, injertada sobre diferentes patrones *Prunus*, a los 7 años después del injerto.

Patrones	AST (cm ²)			Ratio*	Compatibilidad
	Variedad	Unión	Patrón		
Ademir	31,4 d	60,1 d	34,4 de	0,48 cd	I
Deep Purple	6,2 a	17,3 a	11,4 ab	0,39 ab	I
Mariana 2624	12,2 b	32,5 b	20,2 b	0,40 bc	I
Mirobolán 713 AD	13,6 b	35,8 b	28,1 d	0,30 ab	I
Mirobolán B	10,9 b	34,5 b	22,6 bc	0,31 ab	I
Mirobolán 29 C	21,2 c	57,0 d	37,9 e	0,36 ab	I
Mirobolán GF 3-1	15,3 b	34,4 b	29,5 d	0,43 cd	I
Mirobolán P 2315	24,6 c	40,1 c	36,7 e	0,62 cde	C
Mirobolán P 2980	16,1 b	41,4 c	19,6 b	0,37 ab	I
Mirocal	61,1 e	142,2 e	64,6 g	0,44 cd	I
Peach-Plum 3593 AD	33,8 d	46,8 c	45,5 f	0,77 e	C
Sapa Plum	16,2 b	29,6 b	22,3 bc	0,49 cd	I
Torinel	16,3 b	25,3 b	24,2 c	0,63 cde	C
VVA-1	4,8 a	20,1 ab	8,2 a	0,22 a	I

Para cada columna, la comparación de medias se hizo con el test de Tukey ($P \leq 0,05$). C= Compatible; I= Incompatible; (*) Ratio = Relación vigor de la variedad / vigor de la unión.

Para el caso de la variedad ‘Portici’, los valores de AST de la variedad injertada fueron más homogéneos entre los distintos patrones. Los patrones ‘Torinel’ y ‘Constantí 1’ mostraron mayor AST que ‘Nanopac R-40’ y ‘PM 101 AD’ mientras que con el resto de patrones evaluados, estas diferencias no fueron significativas. De igual manera que para el caso de ‘Moniquí’, los valores de AST de la variedad injertada, como de la relación “AST de la variedad / AST de la unión” no mostró una relación con la incompatibilidad. En varios casos de fallo del injerto, se presentó también la muerte de los árboles durante el primer año del injerto, como el caso de ‘PM 95 AD’, ‘PM 137 AD’, ‘Aprimed AP 65’, ‘PADAC 99-05’ y ‘Replantpac RR’.

En uniones de árboles de 7 años de injerto con la variedad ‘Moniquí’ (Tabla IV-3), se pudo determinar que todos los patrones compatibles (‘Mirobolán P 2315’, ‘Peach-Plum 3593 AD’ y ‘Torinel’) tuvieron valores más altos de la relación “AST de la variedad / AST de la unión”. Estos resultados concuerdan con otro estudio de compatibilidad en albaricoquero con las variedades ‘Bulida’, ‘Paviot’, ‘Canino’ y ‘Moniquí’ (Reig et al., 2018c), con valores de dicha relación inferiores a 0,80, que correspondieron a combinaciones con incompatibilidad ‘localizada’.

En la Tabla IV-4 se presentan los resultados del análisis macroscópico de las uniones de distintos patrones *Prunus* injertados con las variedades ‘Moniquí’ y ‘Portici’.

Tabla IV-4. Examen interno de uniones de injerto para dos variedades de albaricoquero injertadas sobre distintos patrones *Prunus*.

Variedad	Patrón	Árboles de 3 años	Árboles de 7 años
		Número de árboles y clasificación	
Moniquí	Nanopac (R-40)	4 C, 6 D	—
	PM 105 AD	4 B	—
	RC GF 1380	7 A, 5 B	—
	Torinel	4 A; 7 B	8 A
	Ademir	6 C; 8 D	19 D, 1 E
	Mariana 2624 AD	—	13 D
	Mirobolán B	—	9 D
	Mirobolán 29 C	—	5 D
	Mirobolán GF 3-1	—	10 D
	Mirobolán 713 AD	—	9 D
	Mirobolán P 2315	—	10 A
	Mirobolán P 2980	—	9 D
	Mirocal	3 C	4 D, 2 E
	AP-45	10 B; 4 C	—
	Aprimed (AP-65)	9 A	—
	Deep Purple	—	10 D
	Densipac (R-20)	7 B; 3 C*	—
	Miral 3278 AD	2 C; 6 D	—
	PADAC 99-05	3 C ^M	—
	PADAC 04-01	4 C; 3 D*	—
	Peach-Plum	—	3 C; 3 D
	Replantpac (RR)	4 C; 8 D	—
	Sapa Plum	—	4 C, 5 D, 1 E
Krymsk (VVA-1)	—	4 D	
Portici	Nanopac (R-40)	4 C	—
	Constantí 1	6 C	—
	Penta	7 A	—
	PM 44 AD	5 A	—
	PM 95 AD	8 ^M	—
	PM 101 AD	4 A; 2 ^M	—
	PM 105 AD	1 A; 5 ^M	—
	PM 137 AD	9 ^M	—
	RC GF 1380	1 A, 7 ^M	—
	Torinel	5 A; 4 B	—
	AP-45	5 C; --2 ^M	—
	Aprimed (AP-65)	5 ^M	—
	Damas GF 1869	6 A	—
	Densipac (R-20)	5 B; 2 C	—
	PADAC 99-05	1 D; 8 ^M	—
	Replantpac (RR)	6 ^M	—
	Isthara	2 A; 6 ^M	—

Categorías A, B, C, D, y E: clasificación del grado de incompatibilidad ‘localizada’ de acuerdo a Mosse y Herrero (1951). M: Árboles muertos. (*)= Engrosamiento de la unión.

Tras el análisis realizado en árboles de tres años de injerto, el híbrido almendro x melocotonero ‘Nanopac R-40’ mostró incompatibilidad ‘localizada’ con la variedad ‘Moniquí’ presentando uniones de categoría D, con discontinuidad en corteza y madera, apreciándose grandes espacios y lagunas de parénquima no lignificado en madera a lo largo de la zona de unión (Fig. IV-4).

Sin embargo, el mismo patrón ('Nanopac R-40') con la variedad 'Portici', mostró uniones clasificadas como B y C, es decir, que esta combinación podría ser considerada como compatible en la práctica. Esta diferencia de compatibilidad que depende de la variedad injertada, también ha sido descrita en otros patrones y en otras especies, como en los patrones híbridos de almendro x melocotonero 'Adafuel' y 'GF 677', compatibles con la variedad 'Pavot' pero incompatibles con las variedades de albaricoquero 'Búlida', 'Canino' y 'Moniquí' (Cambra, 1986).

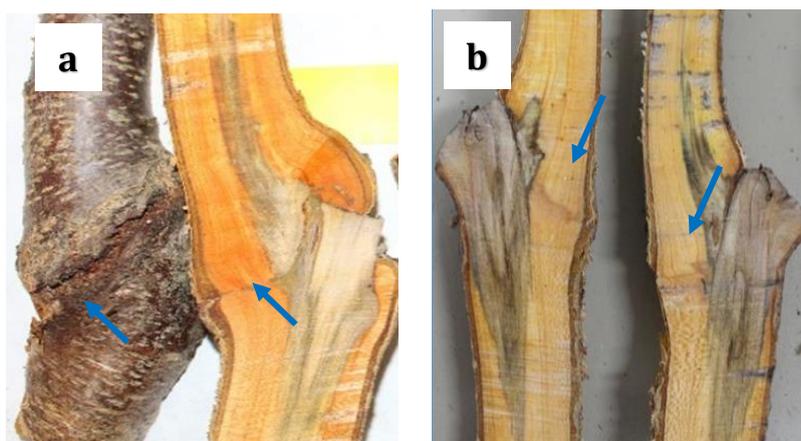


Figura IV-4. Uniones de árboles de las combinaciones 'Moniquí' / 'Nanopac R-40' (a) y 'Portici' / 'Nanopac R-40' (b), a los tres (izquierda) y dos años (derecha) después del injerto.

Hay que destacar que tanto la variedad 'Moniquí' como 'Portici' mostraron buena compatibilidad injertadas sobre los ciruelos de crecimiento lento, durante los tres primeros años del injerto. Destacaron los patrones 'PM 105 AD', 'RC GF 1380' y 'Torinel', con uniones clasificadas en las categorías A y B para el caso de 'Moniquí'. Para la variedad 'Portici', las combinaciones con los Pollizos 'PM 44 AD' y 'PM 101 AD' y otros ciruelos de crecimiento lento ('Constantí 1', 'Penta' y 'Torinel') también fueron clasificadas como compatibles. La buena compatibilidad de los patrones ciruelo de crecimiento lento, concuerda con los resultados de Reig et al. (2018c) que describen patrones *P. insititia* ('Adesoto 101' y 'PM 105 AD') y *P. domestica* ('RC GF 1380' y 'Torinel') compatibles con las variedades de albaricoquero 'Canino' y 'Moniquí'.

El patrón 'Ademir' injertado con 'Moniquí' mostró incompatibilidad localizada a los 3 años del injerto. En este patrón ya se detectó incompatibilidad 'localizada' con las variedades 'Moniquí' y 'Canino' (Cambra, 1979; Cambra, 1990), aunque con una menor incidencia que en otros patrones mirobolán (Moreno et al., 1995).

Entre los patrones híbridos inter-específicos de ciruelo, ‘Damas GF 1869’ injertado con la variedad ‘Portici’ mostró uniones compatibles, clasificadas en la categoría A. Los patrones AP-45 y Aprimed (AP-65) mostraron uniones clasificadas como A, B y C, injertados con la variedad ‘Moniquí’. Además, ‘AP-45’ mostró uniones de tipo A, B y C, con la variedad ‘Portici’ (Fig. IV-5). Sin embargo, los injertos de la variedad ‘Portici’ no prendieron sobre Aprimed (AP-65). La falta de prendimiento del injerto sobre Aprimed (AP-65) podría deberse a una incompatibilidad total de dicha variedad.

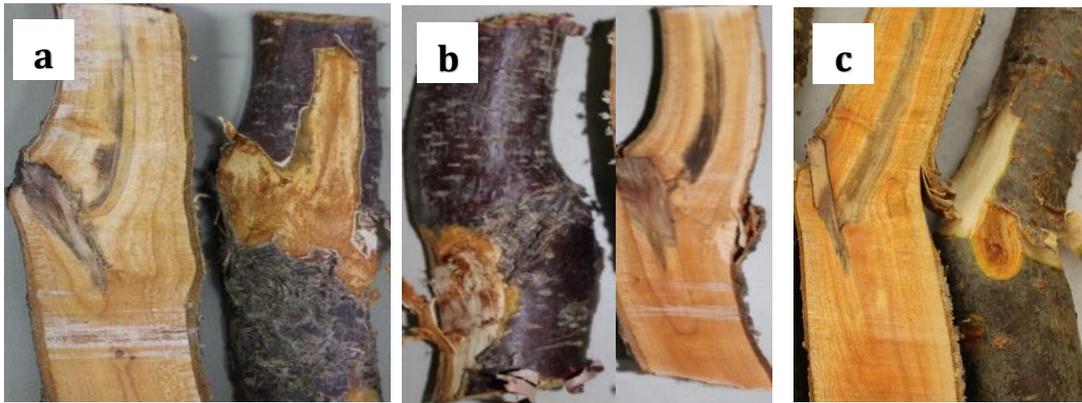


Figura IV-5. Uniones de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘AP 45’ (a), ‘Portici’ / ‘AP-45’ (b) y ‘Moniquí’ / ‘RC GF 1380’ (c), a los tres años del injerto.

El patrón híbrido ‘Densipac R-20’ (*P. besseyi* x *P. cerasifera*), injertado tanto con ‘Moniquí’ como con ‘Portici’, mostró uniones clasificadas en la categoría C, es decir, que presentaban discontinuidad en la corteza, aunque sin profundizar en la madera, por lo que podrían ser consideradas como compatibles en la práctica. No obstante, presentaron un oscurecimiento anormal en la madera de la variedad (Fig. IV-6), lo que podría estar relacionado con estados iniciales de incompatibilidad (Errea et al., 2005) o con una susceptibilidad del patrón a alguna condición específica del suelo.



Figura IV-6. Uniones de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘Densipac R-20’ (izquierda), y ‘Portici’ / ‘Densipac R-20’ (derecha), tres años tras el injerto.

La incompatibilidad de albaricoquero, en general, fue más acusada para variedades ‘exigentes’ en términos de compatibilidad de injerto (Reig et al., 2018) sobre patrones híbridos con base genética de almendro (*P. dulcis*), de ciruelo japonés (*P. salicina*) y/o de melocotonero (*P. persica*), como en el caso de ‘Miral 3278 AD’ y ‘Replantpac (RR)’, que resultaron incompatibles con la variedad ‘Moniquí’. El patrón ‘Miral 3278 AD’ también resultó incompatible con esta variedad en estudios anteriores (Reig et al., 2018). El patrón ‘PADAC 99-05’ injertado con la variedad ‘Moniquí’ mostró uniones con categoría C, es decir, con discontinuidad en corteza pero sin profundizar en madera, mientras que con la variedad ‘Portici’ sus uniones fueron clasificadas en la categoría D, con discontinuidad en corteza e indicios de discontinuidad en madera (Fig. IV-7).

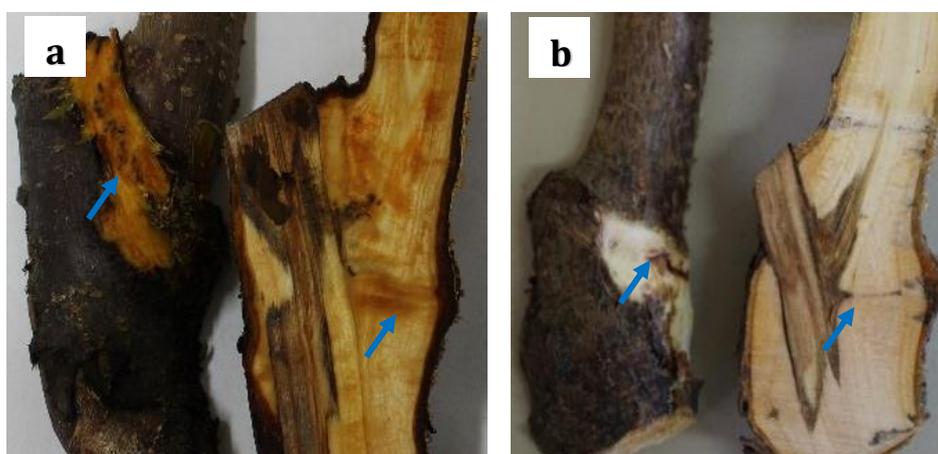


Figura IV-7. Uniones de árboles de las combinaciones ‘Moniquí’ / ‘PADAC 99-05’ (a) y ‘Portici’ / ‘PADAC 99-05’ (b), tres años tras el injerto.

En este estudio, algunos árboles de distintos clones Pollizo de Murcia ('PM 95 AD', 'PM 105 AD' y 'PM 137 AD') y del híbrido 'Replantpac RR' tuvieron fallos de prendimiento del injerto con la variedad 'Portici'. Esto podría deberse a un cierto tipo de incompatibilidad entre los componentes del injerto (Hartman et al., 2014) o a un desarrollo insuficiente del árbol en el momento de ser injertado.

También se llevó a cabo el análisis macroscópico de uniones de árboles con siete años de injerto, para algunos patrones del grupo de los 'ciruelos de crecimiento rápido' (Mariana y Mirobolán), injertados con la variedad 'Moniquí' (Fig. IV-8). Las uniones del patrón 'Mariana 2624' y, en general, de los patrones Mirobolanes, con la excepción de 'Mirobolán P 2315', fueron clasificadas como incompatibles.

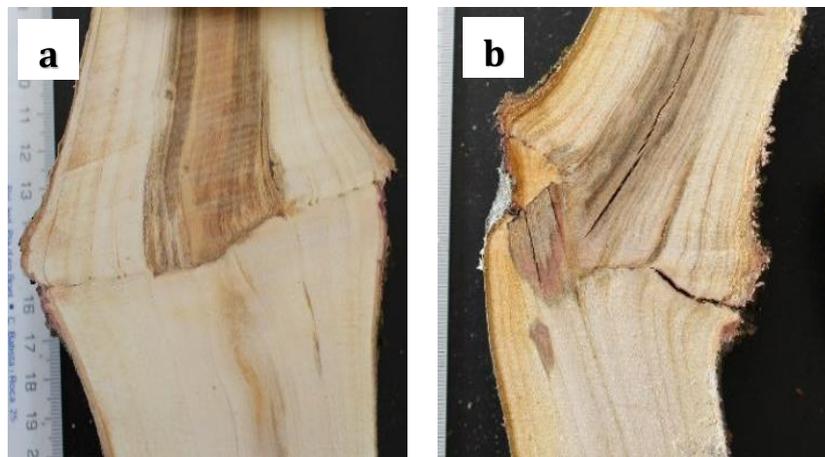


Figura IV-8. Uniones incompatibles de las combinaciones 'Moniquí' / 'Mirobolán B' (a) y 'Moniquí' / Mirocal' (b), 7 años tras el injerto.

La incompatibilidad de 'Moniquí' sobre los patrones 'Mirobolán B', 'Mirobolán 29 C' y 'Mirobolán 713 AD', ya fue detectada por Reig et al. (2018c) en uniones de combinaciones con cuatro años de injerto. En el presente trabajo, la discontinuidad de las uniones examinadas sobre los patrones 'Ademir', 'Mirobolán 713 AD' y 'Mirobolán GF 3-1', injertados con la variedad 'Moniquí', pudo ser confirmada en árboles a los siete años del injerto.

Los patrones 'Mirobolán B' y 'Mariana 2624' fueron evaluados en un trabajo previo con las variedades de albaricoquero 'Búlida', 'Canino', 'Moniquí' y 'Paviot' (Cambra, 1979; 1990). La incompatibilidad de estos patrones con la variedad 'Moniquí', mostró uniones tanto de categoría D como E, al ser analizadas de acuerdo a su capacidad de resistencia al forzado mecánico (Cambra, 1979).

En el presente trabajo se incluyeron distintos patrones Mirobolán, tanto de los que ya se conocía su comportamiento con la variedad ‘Moniquí’, como otros con compatibilidad desconocida para esta variedad. Este fue el caso de ‘Mirobolán P 2315’, que mostró uniones compatibles (categoría A) en árboles con siete años de injerto. Este patrón es el único del grupo de los Mirobolanes que ha resultado ser compatible con la variedad ‘Moniquí’, lo que constituye un resultado muy interesante si se confirmase en plantación comercial.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la incompatibilidad de injerto en albaricoquero generalmente es del tipo ‘localizada’, es decir, no presenta síntomas visuales durante el periodo de crecimiento de la variedad (Irisarri et al., 2017; Pina y Errea, 2008). El análisis macroscópico de las uniones de la combinación ‘Moniquí’ / ‘Mirocal’ a los tres años del injerto, mostró uniones aparentemente compatibles ya que no se observó discontinuidad en la madera. Sin embargo, la incompatibilidad ‘localizada’ se manifestó de manera clara en árboles con mayor desarrollo a los siete años (Tabla IV.3).

Los resultados obtenidos confirman que la manifestación de la incompatibilidad ‘localizada’, depende en gran medida de la variedad, del patrón y de su origen genético. En este sentido, patrón y variedad de taxones diferentes pueden diferir en el grado de parentesco necesario para la formación de una unión de injerto exitosa (Porika et al., 2016).

Todos los patrones Mirobolán (‘Mirobolán B’, ‘Mirobolán 29 C’, ‘Mirobolán GF 3-1’ y ‘Mirobolán P 2980’), y ‘Mirocal’, así como los híbridos interespecíficos de ciruelo y almendro: ‘Miral 3278 AD’ (*P. dulcis* x *P. cerasifera*), ‘Replantpac RR’ (*P. cerasifera* x *P. dulcis*) y ‘PADAC 04-01’ [*P. cerasifera* x (*P. persica* x *P. dulcis*)], y el híbrido almendro x melocotonero ‘Nanopac R-40’ (*P. dulcis* x *P. persica*), son patrones cuyo origen genético está más alejado de las variedades de albaricoquero (*P. armeniaca*). Esto puede explicar la recurrente incompatibilidad de injerto en dichos patrones.

En algunos patrones injertados con la variedad ‘Moniquí’, se estimó la concentración de clorofila en hojas, mediante medidas de SPAD en árboles de combinaciones de dos y tres años de injerto (Tabla IV-5). Como ya se ha mencionado, ninguna de las combinaciones presentó síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’. Sin embargo, algunas combinaciones presentaron reducción de vigor y valores bajos de SPAD (Tabla IV-5). Durante el segundo y tercer año tras el injerto, los valores de SPAD en la variedad ‘Moniquí’ injertada sobre el patrón ‘AP-45’ fueron significativamente

menores frente a ‘Aprimed AP-65’. Las uniones de la variedad ‘Moniquí’ injertada sobre ‘AP-45’ fueron clasificadas en la categoría C y sobre ‘Aprimed AP-65’, en la categoría A, compatibles. Por el contrario, ‘Replantpac RR’ fue clasificado como incompatible (categoría D), mostrando discontinuidad de la madera a lo largo de la línea de unión (Fig. IV-9 a). Los valores de SPAD de estas combinaciones (compatibles e incompatibles), no mostraron una correlación clara con la incompatibilidad, en concordancia con lo mencionado en estudios previos en patrones Mirobolán injertados con variedades de melocotonero (Zarrouk et al., 2006b).

En otras combinaciones con siete años de injerto, también se observaron uniones con discontinuidad en madera (categoría D), para los patrones ‘Deep Purple’ y ‘Krymsk 1’ (Fig. IV-9).

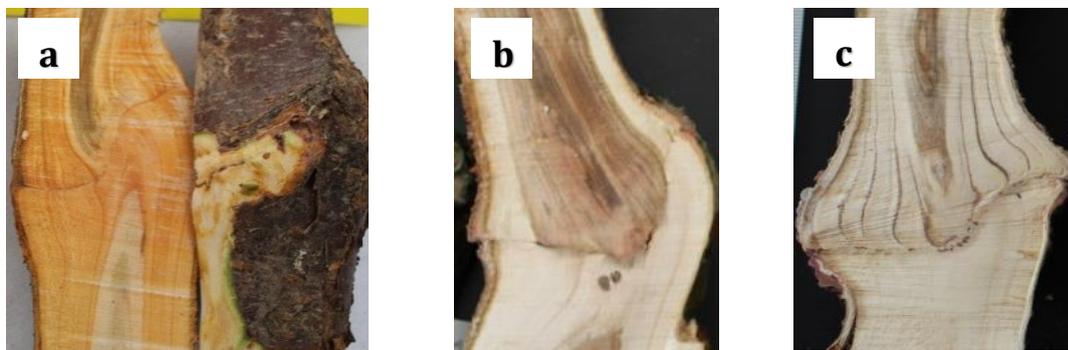


Figura IV-9. Uniones incompatibles de la variedad ‘Moniquí’ sobre el patrón ‘Replantpac RR’ a los 3 años (a) y ‘Deep Purple’ (b) y ‘Krymsk 1’ (c), a los 7 años tras el injerto.

En el segundo año tras el injerto, la variedad ‘Moniquí’ injertada sobre los patrones ‘Densipac R-20’, ‘Replantpac RR’ y ‘Aprimed AP-65’ mostró valores de SPAD significativamente mayores que sobre ‘AP-45’. Las uniones de este patrón injertado con las variedades ‘Moniquí’ y ‘Portici’ fueron clasificadas en la categoría C (Tabla IV-4).

Los valores bajos de SPAD coincidieron con la manifestación de la incompatibilidad ‘localizada’ en los patrones ‘PADAC 04-01’ y ‘Miral’, en concordancia con algunos resultados de Zarrouk (2006). Sin embargo, en este estudio no siempre los valores bajos correspondieron a combinaciones con incompatibilidad ‘localizada’. Este fue el caso del patrón Pollizo ‘PM 105 AD’, que presentó buena compatibilidad a pesar de sus bajos valores de SPAD. En otros casos, también los valores de SPAD sobre patrones incompatibles (‘Ademir’ y ‘Nanopac R-40’) fueron similares a patrones compatibles (‘Torinel’ y ‘PM 105 AD’).

En la Tabla IV-5 se aprecia que, en general, los valores de SPAD no tuvieron relación con la incompatibilidad ‘localizada’. Los valores de SPAD en combinaciones

compatibles e incompatibles, no correspondieron con la clasificación de incompatibilidad de injerto, al igual que ya mencionaron Zarrouk et al. (2006b) para algunas combinaciones de variedades de nectarina sobre patrones incompatibles. En dichos estudios, los patrones incompatibles ‘Bruce’, ‘PP1’ y ‘Evrice’ tuvieron valores altos de SPAD mientras que algunos Mirobolanes también incompatibles, como ‘Mirobolán P 1079’, tuvieron los valores más bajos. Neves y Meyer (2017), para combinaciones incompatibles de melocotonero sobre ‘Mirobolán 29C’ y ‘Mariana 2624’, detectaron una reducción drástica de los valores de SPAD. Sin embargo, también se ha descrito dicha reducción en otras combinaciones que aún no presentaban síntomas de incompatibilidad. Por ello, se ha sugerido que posiblemente, la incompatibilidad de injerto responde a otros factores (Zarrouk et al., 2006b) y los valores de SPAD solo, en ocasiones, podrían ayudar al diagnóstico.

Tabla IV-5. Valores de SPAD en hojas de la variedad de albaricoquero ‘Moniquí’ injertada sobre diferentes patrones *Prunus*, a los dos y tres años después del injerto.

Patrones	SPAD		Compatibilidad
	2 años	3 años	
Nanopac (R-40)	22,38 ab	23,02 ab	I
PM 105 AD	21,23 ab	20,64 a	C
Torinel	25,23 bc	23,98 ab	C
Ademir	26,65 bc	24,93 b	I
Miral 3278 AD	25,46 bc	22,24 ab	I
AP-45	19,43 a	24,96 b	C
Aprimed (AP-65)	27,27 c	28,20 c	C
Densipac (R-20)	25,64 bc	27,27 bc	C
PADAC 04-01	20,50 ab	21,77 a	I
Replantpac (RR)	27,35 c	26,58 bc	I

Para cada columna, la comparación de medias se ha realizado con el test de Tukey ($P \leq 0,05$). C = Compatible; I= Incompatible.

Algunos resultados concuerdan con Salazar et al. (2018), cuando los bajos valores de SPAD estuvieron asociados únicamente a árboles de combinaciones con síntomas muy severos de incompatibilidad. En otro estudio, tanto las variedades ‘no exigentes’ en términos de compatibilidad (‘Bulida’ y ‘Paviot’) como las ‘exigentes’ (‘Canino’ y ‘Moniquí’) no mostraron una relación clara con la incompatibilidad, puesto que algunas combinaciones con valores más altos de SPAD y vigor variable también fueron clasificadas como incompatibles (Zarrouk, 2006). En el presente trabajo, tampoco se encontró una clara correlación entre los valores de SPAD y la ocurrencia de la incompatibilidad, en concordancia con estudios previos (Salazar et al., 2018; Zarrouk, 2006).

IV.4. Bibliografía

- Bassi, D., Viti, R., Bartolini, S.,** 2006. Recent advances on environmental and physiological challenges in apricot growing. *Acta Hort.* 717, 23–31.
- Borruey, C., Errea, P.,** 2000. Detección precoz de la compatibilidad de injerto de Moniquí (*P. armeniaca*) sobre diversos *Prunus*. *Patrones para frutales de hueso.* ITEA 21, 49–52.
- Cambra, R.,** 1990. ‘Adafuel’, an almond × peach hybrid hootstock. *HortScience* 25, 584.
- Cambra, R.,** 1979. Compatibilidad de albaricoquero con ciruelo mirabolán (*Prunus cerasifera* Ehrh.) y mariana (*Prunus cerasifera* Ehrh. x *Prunus munsoniana* Wight Hedr.). *An. Aula Dei* 14, 371–375.
- Cambra, R.,** 1986. Compatibilidad de variedades de albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.) con híbridos de almendro x melocotonero [*Prunus amygdalo-persica* (West) Rehd.]. *An. Aula Dei* 18, 87–90.
- Cambra, R., Cambra, M.,** 1973. Selección clonal de ciruelo Mirobolán (*Prunus cerasifera* Ehrh.). Compatibilidad con variedades de ciruelo y albaricoquero. *An. Aula Dei* 12, 8–16.
- Chen, Z., Zhao, J., Qin, Y., Hu, G.,** 2016. Study on the graft compatibility between ‘Jingganghongnuo’ and other litchi cultivars. *Sci. Hortic.* 199, 56–62.
- Crossa-Raynaud, P., Audergon, J.M.,** 1987. Apricot rootstocks, En: R.C. Rom and R.F. Carlson (Eds.). *Rootstocks for Fruit Crops.* pp. 295–320.
- Daorden, M.E.,** 2003. Selección de híbridos interespecíficos para la obtención de nuevos patrones de albaricoquero. Tesis Doctoral. Universidad Pública de Navarra. España. 260 pp.
- Dimitrova, M., Marinov, P.,** 2002. Myrobalan (*P. cerasifera* Ehrh.) as a rootstock for apricot. *Acta Hort.* 577, 315–318.
- Dogra, K., Kour, K., Kumar, R., Bakshi, P., Kumar, V.,** 2018. Graft-incompatibility in horticultural crops. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 7, 1805–1820.
- Egea, J., Ruiz, D.,** 2014a. Albaricoquero, En: Hueso-Martín, J., Cuevas-González, J., Cajamar-Caja Rural (Eds.). *La Fruticultura del siglo XXI en España.* pp. 87–106.
- Egea, J., Ruiz, D.,** 2014b. Albaricoquero: situación varietal y aspectos a resolver en el nuevo panorama productivo español. *Revista de Fruticultura* 38, 24–31.

- Errea, P., Treutter, D., Feucht, W.,** 1994. Characterization of flavanol-type polyphenols in apricot cultivars and rootstocks. *Adv. Hort. Sci.* 3, 165–169.
- FAOSTAT,** 2019. <https://www.faostat.org>. (Acceso 18 Mayo 2019).
- Felipe, A.J.,** 1989. Patrones para frutales de pepita y hueso. Edic. Téc. Eur. Barcelona, España. 181 pp.
- Goldschmidt, E.E.,** 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Front. Plant Sci.* 5, 1-9.
- Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R.,** 2014. Plant propagation. Principles and practices, 8th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 921 pp.
- Hernández, F., Pinochet, J., Moreno, M.A., Martínez, J.J.,** 2010. Performance of *Prunus* rootstocks for apricot in Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 124, 354–359.
- Herrero, J.,** 1968. Problems of incompatibility in the Plum-tree. *Acta Hort.* 10, 387-400.
- Irisarri, P., Errea, P., Pina, A., Zhebentyayeva, T.,** 2017. Genetic determinism of graft compatibility in apricot. *Acta Hort.* 1172, 345–348.
- Kramarenko, L.,** 2006. Grafting apricots in Moscow. *Acta Hort.* 717, 141–144.
- MAPAMA,** 2017. <https://www.mapama.gob.es/es>. (Acceso 10 Mayo 2019).
- Moreno, M.A.,** 2009. Rootstocks for stone and pome fruit tree species in Spain. En: International Conference on Fruit Tree Rootstocks, University of Pisa (Italy). pp. 44-57.
- Moreno, M.Á.,** 2004. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the Aula Dei Experimental Station, Zaragoza, Spain. *Acta Hort.* 658, 519–528.
- Moreno, M.A., Moing, A., Lansac, M., Gaudillère, J.P., Salesses, G.,** 1993. Peach/myrobalan plum graft incompatibility in the nursery. *J. Hortic. Sci.* 68, 705–714.
- Moreno, M.A., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995. Ademir, a myrobalan rootstock for plums. *HortScience* 30, 1475–1476.
- Mosse, B.,** 1962. Graft-incompatibility in fruit trees. *Tech. Commun. Commonw. Bur. Hortic. Plant Crop.* 28, 1–36.
- Mosse, B., Herrero, J.,** 1951. Studies on incompatibility between some pear and quince grafts. *J. Hort. Sci.* 26, 238–245.
- Neves, T.R., Meyer, N.A.,** 2017. Graft incompatibility in *Prunus* spp. preceded by SPAD index reduction. *Semin. Ciencias Agrarias* 38, 635–648.

- Pina-Sobrino, A.**, 2006. Caracterización fisiológica y bioquímica de las respuestas que intervienen en la incompatibilidad de injerto en albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza., España. 149 pp.
- Pina, A., Errea, P.**, 2008. Differential induction of phenylalanine ammonia-lyase gene expression in response to in vitro callus unions of *Prunus* spp. *J. Plant Physiol.* 165, 705–714.
- Pina, A., Errea, P., Martens, H.J.**, 2012. Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. *Sci. Hortic.* 143, 144–150.
- Porika, H.K., Nimbolkar, P.K., Rajashekar, B., Firoz, S.**, 2016. Graft compatibility-incompatibility in fruit crops: Mechanism and determination techniques. *Asian J. Hort.* 11, 252–260.
- Reig, G., Font i Forcada, C., Mestre, L., Betrán, J., Moreno, M.A.**, 2018a. Potential of new *Prunus cerasifera* based rootstocks for adapting under heavy and calcareous soil conditions. *Sci. Hortic.* 234, 193–200.
- Reig, G., Font i Forcada, C., Mestre, L., Jiménez, S., Betrán, J., Moreno, M.Á.**, 2018b. Horticultural, leaf mineral and fruit quality traits of two ‘Greengage’ plum cultivars budded on plum based rootstocks in Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 232, 84–91.
- Reig, G., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Moreno, M.Á.**, 2018c. Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. *Sci. Hortic.* 237, 67–73.
- Rodrigo, J., Errea, P., Herrero, M.**, 2002. El albaricoquero en Aragón. *Surcos* 77, 13–15.
- Rodrigo, J., Hormaza, J.I.**, 2005. El albaricoquero. Diversidad genética y situación actual del cultivo. *ITEA* 101, 333–342.
- Salazar, A.E., Torrents, J., Bordas, M., Val, J., Moreno, M.A.**, 2018. Graft compatibility for new released *Prunus* rootstocks. *Acta Hort.* 1228, 175–180.
- Socias i Company, R., Gómez-Aparisi, J., Felipe, A.**, 1995. A genetical approach to iron chlorosis in deciduous fruit trees. En: J. Abadía (Ed.). *Iron Nutrition in Soil Plants*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 167–174.
- Tabuenca, M.C.**, 1973. Concentration de hidratos de carbono en combinaciones compatibles e incompatibles de melocotonero y ciruelo. *An. Aula Dei* 12, 76–99.

- Tabuenca, M.C.**, 1962. Relaciones entre la composición química y el grado de compatibilidad en combinaciones de melocotonero y ciruelo. An. Aula Dei 7, 1–43.
- Tetsumura, T., Ishimura, S., Hidaka, T., Hirano, E., Uchida, H., Kai, Y., Kuroki, S., Uchida, Y., Honsho, C.**, 2015. Growth and production of adult Japanese persimmon (*Diospyros kaki*) trees grafted onto dwarfing rootstocks. Sci. Hortic. 187, 87–92.
- Tsipouridis, C.G.**, 1999. Apricot-nectarine graft compatibility and possible cross protection effects against PPV. Acta Hort. 488, 561-566.
- Zarrouk, O.**, 2006. Compatibilidad patrón-variedad en *Prunus*. Métodos precoces de detección de la incompatibilidad de injerto. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, España. 240 pp.
- Zarrouk, O., Aparicio, J., Gogorcena, Y., Moreno, M.A.**, 2006a. Graft compatibility for new peach rootstocks in nursery. Acta Hort. 713, 327–329.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., Pinochet, J.**, 2006b. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. HortScience 41, 1389–1394.
- Zarrouk, O., Testillano, P., Risueño, M.C., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y.**, 2010. Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135, 9–17.

V. Compatibilidad de variedades de nectarina injertadas sobre distintos patrones *Prunus*

Resumen

La selección de patrones para el cultivo de melocotonero y nectarina permite adaptar las variedades a diferentes condiciones del suelo, especialmente por tolerancia a la clorosis férrica en suelos calizos, resistencia a nematodos, y además con un menor vigor del árbol. Los patrones con base genética de ciruelo presentan características convenientes para el cultivo en el área mediterránea. Sin embargo, los casos de incompatibilidad patrón-variedad con algunos de estos patrones, obliga a la evaluación previa antes de su uso comercial. En algunos patrones, injertados con melocotonero y nectarina, es común la incompatibilidad denominada ‘traslocada’, caracterizada por síntomas visuales como amarilleamiento de las hojas, defoliación prematura y posterior muerte de los árboles. Sin embargo, también es posible la incompatibilidad del tipo ‘localizada’, que siendo asintomática tarda varios años en manifestarse y puede ocasionar la ruptura de la unión de injerto. Este trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza, España) con el objetivo de evaluar la compatibilidad de injerto de dos variedades de nectarina (*Prunus persica* L.) injertadas sobre 23 patrones *Prunus* pertenecientes a distintos grupos: híbridos almendro x melocotonero, ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido, e híbridos inter-específicos de ciruelo. Algunos de estos patrones están en proceso de selección y otros son comerciales de reciente introducción en los mercados europeos. Los patrones evaluados fueron injertados con las variedades ‘Big Top’ y ‘Summergrand’, y los árboles estudiados en condiciones de vivero durante varios años. Se observaron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ en algunas combinaciones, como la de la variedad ‘Summergrand’ injertada sobre el patrón ‘AP-45’ [*P. besseyi* × *P. salicina*] × *P. armeniaca*], y casos de incompatibilidad ‘localizada’ en algunos patrones ciruelo, como ‘RC GF 1380’ (*P. domestica*) injertado con las dos variedades utilizadas. Por otra parte, este estudio demuestra el potencial de los patrones híbridos almendro x melocotonero y el interés de la especie de ciruelo *P. insititia* y de otros híbridos inter-específicos, por su buena compatibilidad. Igualmente, la buena compatibilidad de algunos patrones híbridos inter-específicos de ciruelo, puede ser de interés para el cultivo de melocotonero y nectarina.

Palabras clave: *P. persica*, *P. domestica*, *P. insititia*, *P. dulcis* x *P. persica*, incompatibilidad ‘traslocada’, incompatibilidad ‘localizada’

V.1. Introducción

Los frutos de nectarinas, melocotones y paraguayos, representan el 70% de la producción de fruta de hueso en España (García-Torrente, 2014; MAPAMA, 2018), siendo el primer país exportador de melocotón a nivel mundial y el mayor productor de la Unión Europea (Reig et al., 2017), seguido por Italia, Grecia y Francia (FAOSTAT, 2019).

La disponibilidad de patrones para melocotonero es bastante amplia, ya que pueden usarse diferentes especies e híbridos inter-específicos del género *Prunus* (Iglesias y Alegre, 2014). Sin embargo, los patrones más usados para melocotonero y nectarina en los países mediterráneos generalmente han sido los híbridos de almendro x melocotonero (Byrne et al., 2012), por su buen comportamiento en suelos calizos y por su tolerancia a la clorosis férrica (Jiménez et al., 2008). Entre los patrones de este grupo, destacan los híbridos ‘Adafuel’, ‘GF 677’ y ‘GF 557’ (Cambra, 1990; Felipe, 2009; Iglesias y Carbó, 2006). Estos patrones presentan un buen comportamiento en suelos poco fértiles y son tolerantes a la sequía. Sin embargo, son susceptibles a la asfixia de raíces y no se adaptan bien a suelos pesados con problemas de drenaje (Mestre et al., 2015; Reighard y Loreti, 2008; Zarrouk et al., 2005). Además, estos patrones inducen un vigor excesivo, lo que es una característica poco deseada dadas las necesidades actuales de reducir los costes de producción del cultivo (Zarrouk et al., 2005).

Otros híbridos inter-específicos como ‘Cadaman’ y ‘Barrier’ (*P. persica* x *P. davidiana*) fueron introducidos posteriormente como sustitutos del ‘GF 677’, por inducir un menor vigor sobre la variedad injertada y, sobre todo, por su resistencia a nematodos. No obstante, han mostrado una mayor sensibilidad a la clorosis férrica y también un elevado vigor (Jiménez et al., 2008; Mestre et al., 2015; Moreno et al., 2008).

Las nuevas selecciones de patrones se han dirigido hacia la utilización de especies de ciruelo, debido a su mejor adaptación a suelos pesados y a problemas relacionados con la asfixia de raíces en dichos suelos. Entre estos patrones, destacan las selecciones ‘Penta’ y ‘Tetra’ (*P. domestica*), así como los Pollizos de Murcia (*P. insititia*), particularmente ‘Adesoto 101’, ‘Monpol’ y ‘Montizo’, que inducen un menor vigor a la variedad injertada, presentan una buena adaptación a suelos pesados y elevada resistencia o incluso inmunidad frente a nematodos (Felipe et al., 1997; Moreno et al., 1994; Pinochet et al., 1999). A pesar de las buenas características de estos patrones, las variedades de melocotonero injertadas pueden presentar, a veces, un reducido vigor y susceptibilidad a

ciertas enfermedades del suelo, como el cáncer bacteriano o el síndrome ‘peach tree short life’ (PTSL) en algunas áreas productoras de EEUU (Reighard y Loreti, 2008). En los patrones *P. domestica*, las variedades injertadas presentan generalmente buena compatibilidad y buena adaptación a los suelos calizos y pesados, con problemas de clorosis y de asfixia de raíces. Los patrones con base genética de ciruelo, pueden ser además, una alternativa para disminuir los problemas de replantación (Nicotra y Moser, 1997; Reighard y Loreti, 2008). Sin embargo, algunos patrones ciruelo han mostrado sensibilidad a determinados virus y excesiva emisión de anticipados o sierpes, lo que ha limitado su uso (Reighard y Loreti, 2008). Por otra parte, la incompatibilidad patrón-variedad de algunos patrones comerciales con algunas variedades de nectarina, supone un factor limitante para su uso. Por ejemplo, es muy frecuente la incompatibilidad del patrón ‘Damas GF 1869’ (híbrido inter-específico de ciruelo, *P. domestica* x *P. spinosa*) injertado con variedades de nectarina (Salesses y Alkai, 1984; Zarrouk et al., 2006a, 2006b). Una mayor frecuencia de casos de incompatibilidad se presenta en patrones ciruelo Mirobolán (*P. cerasifera*) injertados con variedades de melocotonero y nectarina (Moreno et al., 1993; Reighard y Loreti, 2008; Zarrouk et al., 2006a, 2006b).

La incompatibilidad patrón-variedad del tipo ‘traslocada’, como la observada en ‘Damas GF 1869’ con variedades de nectarina, se caracteriza por la presencia de síntomas visuales como ‘amarilleamiento’ y ‘enrojecimiento’ de hojas y una parada drástica del crecimiento, durante la primera estación vegetativa posterior al injerto (Hartman et al., 2014; Zarrouk et al., 2006b). También son muy frecuentes los casos de incompatibilidad de tipo ‘traslocada’ en patrones Mirobolán injertados con variedades de melocotonero (Moreno et al., 1993).

Por otra parte, el tipo de incompatibilidad ‘localizada’ es frecuente en melocotonero injertado sobre los patrones ‘Mariana 2624’ o ‘Mirobolán 29 C’ ya que pueden presentar discontinuidades en la zona de la unión patrón-variedad, en corteza y madera (Zarrouk et al., 2006b). Con el aumento del vigor del árbol y el peso de los frutos, pueden forzar la rotura del árbol en dicha zona de unión (Gainza et al., 2015). Este tipo de incompatibilidad puede detectarse más precozmente con el análisis macroscópico de las uniones de injerto (Mosse, 1962; Zarrouk et al., 2006a, 2006b).

El objetivo de este estudio fue evaluar la compatibilidad patrón-variedad de distintos patrones *Prunus* injertados con variedades de nectarina. Entre ellos, se incluyeron, especialmente, ciruelos de crecimiento lento (*P. domestica*, *P. insititia*), híbridos inter-específicos de ciruelo e híbridos almendro x melocotonero. Las variedades

de nectarina ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ se injertaron sobre 23 patrones *Prunus*. Los árboles se cultivaron en condiciones de viveros experimentales establecidos en la EEAD (CSIC). Se estimó el contenido de clorofila en hojas de algunas combinaciones evaluadas y su posible relación con la incidencia de la incompatibilidad patrón-variedad.

V.2. Materiales y métodos

V.2.1. Material vegetal

Los diferentes patrones usados en este estudio proceden de los Programas de Mejora Genética de Patrones *Prunus* de la EEAD-CSIC, de la empresa Agromillora Iberia S.L., y de otros centros de investigación. Para fines prácticos, los genotipos de los patrones usados fueron divididos en cuatro grupos según su base genética (Tabla V-1): híbridos almendro x melocotonero, ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido e híbridos interespecíficos de ciruelos con otras especies.

Tabla V-1. Patrones *Prunus* usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de nectarina.

Patrón	Especie	Origen
Híbridos almendro x melocotonero		
Adafuel	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	CSIC, España
Cadaman	<i>P. persica</i> × <i>P. davidiana</i>	Francia-Hungría
GF 677	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	INRA, Francia
Nanopac (R-40)	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	AI, España
Ciruelos de crecimiento lento		
Adesoto 101	<i>P. insititia</i>	CSIC, España
‘Pollizo de Murcia’: PM 44 AD, PM 95 AD, PM 101 AD, PM 105 AD, PM 137 AD	<i>P. insititia</i>	CSIC, España
San Julián A	<i>P. insititia</i>	INRA, Francia
Constantí 1	<i>P. domestica</i>	CSIC, España
Penta	<i>P. domestica</i>	ISF, Italia
RC GF 1380	<i>P. domestica</i>	ISF, Italia
Ciruelos de crecimiento rápido		
Adara	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Híbridos inter-específicos		
AP-45	(<i>P. besseyi</i> × <i>P. salicina</i>) × <i>P. armeniaca</i>	AI, España
Aprimed (AP-65)	(<i>P. armeniaca</i> L. × <i>P. cerasifera</i> Ehrh) × <i>P. pumila</i> L. var. <i>besseyi</i>	AI, España
Damas GF 1869	<i>P. domestica</i> × <i>P. spinosa</i>	INRA, Francia
Densipac (R-20)	<i>P. besseyi</i> × <i>P. cerasifera</i>	AI, España
Isthara	(<i>P. cerasifera</i> × <i>P. salicina</i>) × (<i>P. domestica</i> × <i>P. persica</i>)	INRA, Francia
PADAC 99-05	<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)	CSIC, España
PADAC 04-01	<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)	CSIC, España
Replantpac (RR)	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. dulcis</i>	AI, España

AI= Agromillora Iberia S.A., Vivero comercial; CSIC= Consejo Superior de Investigaciones Científicas; INRA= Institut National de la Recherche Agronomique; ISF= Instituto Sperimentale per la Frutticoltura.

Las variedades de nectarina ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ fueron injertadas en viveros experimentales sobre árboles de un año, plantados en los inviernos de 2012-2013,

2013-2014 y 2014-2015. Los árboles fueron injertados en el verano siguiente al invierno de su plantación. Los ensayos en viveros experimentales se establecieron en suelos calizos, con un contenido de carbonato cálcico en torno al 30%, caliza activa 7,5%, pH 8,0 y una textura franco-arcillo-limosa.

V.2.2. Estudio de compatibilidad

Los estudios de compatibilidad se llevaron a cabo en árboles de dos a cinco años de injerto. Desde el segundo año de crecimiento en vivero, se hizo un seguimiento de los árboles injertados para determinar posibles síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’. La amarillez y ‘abarquillamiento’ de hojas, una reducción drástica o ‘parada’ del crecimiento, y eventualmente, un abultamiento del injerto en la zona de la unión, caracterizan este tipo de incompatibilidad de injerto (Hartman et al., 2014). También se puede presentar una gran diferencia de vigor entre la variedad injertada y el patrón (Zarrouk et al., 2006b).

Por otra parte, para evaluar el tipo de incompatibilidad ‘localizada’, se llevó a cabo el examen macroscópico de las uniones de injerto, observando uniones de árboles con distintos años de injerto. Para la evaluación visual de la zona de unión, las uniones fueron serradas por el plano radial-longitudinal y clasificadas de acuerdo a las categorías definidas por Mosse y Herrero (1951). Así, se establecieron las siguientes categorías (Figura V-1):

Categoría A = Uniones perfectas. La línea de unión en corteza y madera no es visible o puede ser ligeramente visible.

Categoría B = Buenas uniones. La corteza y madera es continua, aunque la línea de unión en la madera puede ser distinguible debido a una leve involución del cambium en la línea de unión.

Categoría C = Uniones con discontinuidades en corteza. El tejido de corteza entre el patrón y la variedad está separado por una línea marrón oscura con apariencia de corcho.

Categoría D = Las uniones tienen discontinuidad en madera. El tejido de madera de patrón y variedad está separado en varios puntos de la unión, por espacios o lagunas de parénquima no lignificado. El tejido de la corteza generalmente es clasificado como categoría C.

Categoría E = Rupturas en la zona de unión. Observación en campo de árboles rotos o saltados en la zona de la unión.

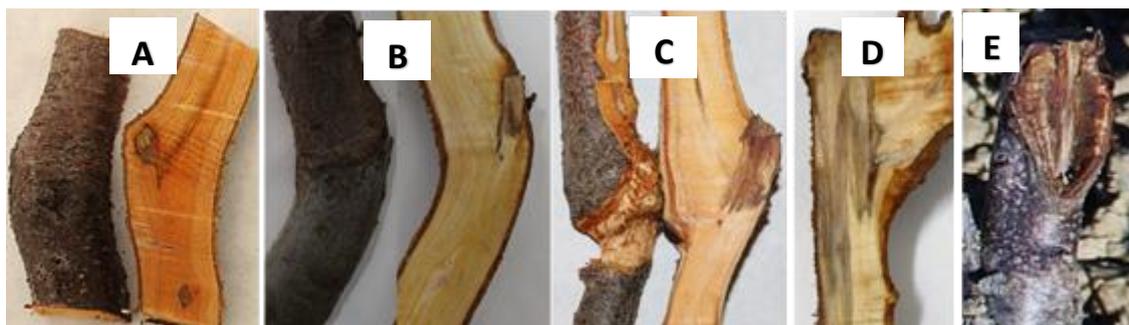


Figura V-1. Uniones serradas en el plano radial-longitudinal para el análisis macroscópico de uniones de injerto. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).

Durante el examen interno de las uniones de injerto, se midieron las circunferencias ~5 cm, por encima y debajo de la unión, y en la misma línea de unión. Se calculó el área de la sección del tronco (AST) y la relación “AST de la variedad / AST de la unión”. Este método permitió analizar posibles relaciones entre el crecimiento del árbol y los síntomas de incompatibilidad.

Por su posible relación con la expresión de la incompatibilidad patrón-variedad, también se estudió la concentración foliar de clorofila, en los árboles evaluados, usando un medidor SPAD 502 m (Minolta Co., Osaka, Japan), durante el primer año a partir del injerto en los meses de Junio y Julio.

V.2.3. Análisis estadístico

Los datos de SPAD y vigor de los árboles fueron evaluados mediante un análisis de varianza con el programa SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, USA). El análisis de varianza se realizó mediante un ANOVA, usado para determinar posibles diferencias significativas entre las distintas combinaciones, y así después establecer posibles correlaciones entre áreas de la sección de tronco, valores de SPAD y síntomas de incompatibilidad. La comparación de medias fue realizada mediante el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

V.3. Resultados y discusión

Los árboles injertados con las variedades de nectarina ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ fueron analizados en su mayoría a los tres años de injerto, tiempo mínimo recomendable para la detección de la incompatibilidad ‘localizada’. No obstante, en este estudio se observaron también árboles con cinco años de injerto, que permitieron analizar la compatibilidad a más largo plazo. Algunos de los patrones en este estudio, fueron usados como referencia debido a su buena compatibilidad con variedades de melocotonero. Este

es el caso de los patrones híbridos almendro x melocotonero ‘Adafuel’ y ‘GF 677’ (Moreno et al., 1994), que han tenido gran difusión a nivel comercial.

Otros patrones utilizados como referencia en este estudio fueron ‘Cadaman’ (*P. persica* × *P. davidiana*), ‘Adesoto 101’ y otros Pollizos de Murcia (*P. insititia*), los patrones ‘Constantí 1’ y ‘Penta’ (*P. domestica*) y el Mirobolán (*P. cerasifera*): ‘Adara’. También se incluyeron para su estudio varios ciruelos híbridos inter-específicos, como los de nueva generación ‘AP-45’, ‘Aprimed AP-65’, ‘Replantpac RR’ y ‘Densipac R-20’; y el híbrido almendro x melocotonero ‘Nanopac R-40’. Se usó además el híbrido de ciruelo ‘Damas GF 1869’ (*P. domestica* × *P. spinosa*), dada su conocida incompatibilidad con numerosas variedades de nectarina (Reighard y Loreti, 2008; Zarrouk et al., 2006b).



Figura V-2. Árboles de los patrones ‘GF 677’ (izquierda) y ‘Cadaman’ (derecha) injertados con la variedad ‘Summergrand’, dos años después del injerto.

Hay que destacar que en el caso de los patrones del grupo de los híbridos almendro x melocotonero, los árboles injertados con las variedades ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ no mostraron síntomas de incompatibilidad del tipo ‘traslocada’ en ningún caso, durante los años posteriores al injerto evaluados (Fig. V-2, Tabla V-2). Todas las combinaciones con híbridos almendro x melocotonero tuvieron árboles con un buen desarrollo y vigor (Tabla V-3).

En la tabla V-2 se presentan los resultados del análisis macroscópico de las uniones de los distintos patrones *Prunus* injertados con las variedades de nectarina ‘Big Top’ y

‘Summergrand’, así como la incidencia de los síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’, en algunos patrones.

Tabla V-2. Compatibilidad patrón-variedad y examen interno de la unión patrón-variedad de distintos patrones *Prunus* injertados con dos variedades de nectarina.

Cultivar	Patrón	Incompatibilidad ‘localizada’			Síntomas de Incompatibilidad ‘traslocada’
		2 años	3 años	5 años	1 y 2 años
		Número de árboles			Número de árboles
Big Top	Nanopac R 40	2 A	5 A; 3 B	-	-
	PM 105 AD	-	5 A	-	-
	Constantí	-	5 A; 5 B	-	-
	Penta	-	3 B; 4 C	-	-
	RC GF 1380	-	1 C; 3 D	-	4 M
	AP-45	-	-	-	10 T; 4 M
	Aprimed (AP-65)	2 B	3 A; 3 B	-	-
	Densipac R 20	-	7 A; 3 B	-	-
	Isthara	-	6 A	-	-
	PADAC 04-01	-	6 A; 2 B	-	-
	PADAC 99-05	2 A	5 B; 3 C	-	3 Rv
	Replantpac RR	2 A	7 A; 2 B;	-	-
Summergrand	Adafuel	3 B	-	8 A	-
	Cadaman	3 B	3 B	5 A	-
	Nanopac R 40	-	6 A; 7 B	-	-
	GF 677	3 B	-	4 A	-
	Adesoto 101	-	8 A; 2 B	-	-
	PM 44 AD	3 B	7 A	3 A	-
	PM 95 AD	-	5 A	14 A	-
	PM 101 AD	4 A	4 A; 2 B	6 A	-
	PM 105 AD	-	6 B; 4 C	-	4 Rv
	PM 137 AD	2 A	5 A; 4 B	-	-
	San Julián A	4 A	5 A	11 A	-
	Constantí 1	-	6 A	-	-
	Penta	4 B	5 A	8 A	-
	RC GF 1380	-	6 D	-	4 M
	Adara	-	8 A; 4 B	-	-
	AP 45	-	-	-	14 T; 7 M
	Aprimed (AP-65)	-	7 B; 2 C	-	-
	Damas GF 1869	2 C	-	-	8 T; 5 M
	Densipac (R-20)	-	4 A; 8 B; 4 C	-	-
	Isthara	-	7 A; 4 B	-	-
	PADAC 99-05	-	5 B; 2 C	-	-
	PADAC 04-01	-	4 A; 3 B	-	3 Rv
	Replantpac (RR)	-	7 B; 5 C	-	-

Categorías A, B, C, D, y E: clasificación del grado de incompatibilidad ‘localizada’ de acuerdo a Mosse y Herrero (1951). T: Incompatibilidad traslocada. M: Árboles muertos. (Rv): Reducción de vigor.

Tres años después del injerto, tras el serrado de las uniones de injerto de la variedad ‘Big Top’, el híbrido ‘Nanopac R-40’, mostró uniones clasificadas como A y B. De igual manera, las uniones de los híbridos ‘Adafuel’, ‘GF 677’, ‘Nanopac R-40’ y ‘Cadaman’, fueron clasificadas como A y B, con la variedad ‘Summergrand’, tanto a los dos años (Fig. V-3) como a los cinco años después del injerto (Tabla V-2).

Tabla V-3. Vigor (AST, cm²) de los árboles de distintos patrones *Prunus* injertados con dos variedades de nectarina, a los dos y tres años después del injerto.

	Patrones	AST (cm ²)		No. árboles	Incompatibilidad
		2 años	3 años		
Big Top	Nanopac R 40	3,12 b	7,22 abc	7	N
	PM 105	1,23 a	3,24 ab	5	N
	Constantí 1	6,65 c	10,22 cd	7	N
	Penta	3,40 b	7,93 bc	8	N
	RC GF 1380	3,22 b	4,71 abc	4	N
	AP-45	1,61 a	1,54 a	4	Traslocada
	Aprimed (AP-65)	4,33 c	7,37 abc	5	N
	Densipac R 20	3,23 b	9,10 bc	10	N
	Isthara	8,45 d	10,1 bc	6	N
	PADAC 04-01	2,09 a	5,7 abc	7	N
	PADAC 99-05	4,64 c	6,1 abc	8	N
	Replantpac RR	4,08 c	15,2 d	8	N
	Summergrand	Adafuel	6,78 ef	12,18 f	12
Cadaman		--	5,37 bc	4	N
GF 677		--	11,10 ef	7	N
Nanopac R 40		3,43 cde	4,5 bc	13	N
Adesoto101		4,62 de	5,07 bc	9	N
PM 44		5,10 de	7,29 de	7	N
PM 95		5,51 e	7,78 de	4	N
PM 101		2,33 bc	5,45 bc	8	N
PM 105		1,33 ab	3,47 b	8	N
PM 137		4,05 cde	5,55 bc	8	N
Constantí 1		7,47 ef	10,11 ef	6	N
Penta		2,61 bc	5,94 bc	5	N
RC GF 1380		2,43 bc	5,94 c	5	Localizada
San Julián		6,06 e	4,73 bc	4	N
Adara		3,91 cde	7,05 cd	17	N
AP-45		1,43 ab	1,41 a	3	Traslocada
Aprimed (AP-65)		8,22 f	11,24 ef	15	N
Damas GF 1869		1,31 ab	1,40 a	6	Traslocada
Densipac R 20		5,10 de	7,84 de	16	N
Isthara		3,21 cde	5,27 bc	9	N
PADAC 99-05		4,36 de	5,79 bc	8	N
PADAC 04-01		1,13 a	1,52 a	6	N
Replantpac RR		8,50 f	12,22 f	11	N

Para cada variedad y columna, las medias fueron separadas mediante el test de Tukey ($P \leq 0,05$). N= desarrollo normal. AST= Área de la sección del tronco.



Figura V-3. Árboles de los patrones ‘Nanopac R-40’ (izquierda), ‘Adafuel’ (centro) y ‘Cadaman’ (derecha) injertados con la variedad ‘Summergrand’, dos años después del injerto.

La buena compatibilidad de los patrones híbridos almendro x melocotonero ha sido ya mencionada en trabajos anteriores (Felipe, 2009; Zarrouk et al., 2010, 2006b). Además, el elevado vigor mostrado en este estudio, coincide con trabajos en plantación comercial en los que ‘Adafuel’, ‘Cadaman’ y ‘GF 677’, injertados con las variedades de nectarina ‘Queen Giant’ y melocotonero ‘Tebana’, mostraron también un gran vigor, mayor que otros híbridos almendro x melocotonero como ‘Adarcias’ (Font i Forcada et al., 2012, 2013; Zarrouk et al., 2005).

Entre los ciruelos de crecimiento lento, todos los Pollizos de Murcia (*P. insititia*) y particularmente ‘Adesoto 101’ mostraron buena compatibilidad con la variedad ‘Summergrand’. Igualmente, otros patrones de la especie *P. insititia*, como ‘PM 105 AD’, y de la especie *P. domestica* (‘Penta’), fueron compatibles con la variedad ‘Big Top’. Estos resultados concuerdan con el estudio de Zarrouk et al. (2006a) en el que patrones de la especie *P. insititia* (‘PM 101 AD’, ‘PM 105 AD’, ‘PM 137 AD’ y ‘PM 140 AD’) resultaron compatibles con las variedades de nectarina ‘Big Top’ y ‘Summergrand’. Destacó el patrón ‘PM 95 AD’ que produjo uniones clasificadas en la categoría A, en contraste con estudios previos donde este patrón había mostrado incompatibilidad con la nectarina ‘Summergrand’ y con las variedades de melocotonero ‘Catherina’ y ‘Tebana’ (Zarrouk et al., 2006a). La buena compatibilidad de estos patrones ciruelo con melocotonero, concuerda con su buen comportamiento en plantación comercial (Mestre et al., 2017).

Los patrones *P. insititia*, en general, muestran buena compatibilidad con melocotonero (Reighard y Loreti, 2008; Zarrouk et al., 2006a, 2006b). Entre los patrones del grupo ‘ciruelos de crecimiento lento’, destacaron ‘Adesoto 101’, otros Pollizos de Murcia y ‘San Julián A’ que mostraron un menor vigor (AST, cm²) comparado con los híbridos almendro x melocotonero ‘GF 677’ y ‘Adafuel’ (Tabla IV-3). Los árboles en estas combinaciones tuvieron un crecimiento homogéneo y no presentaron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’.

El análisis macroscópico de las uniones de las combinaciones con los patrones ‘ciruelos de crecimiento lento’ (realizado a los tres y cinco años tras el injerto), en general, permitió confirmar su buena compatibilidad con la variedad ‘Summergrand’ (Fig. V-4).



Figura V-4. Árboles de los patrones ‘San Julián A’ (izquierda) y ‘PM 101 AD’ injertados con la variedad de nectarina ‘Summergrand’, tres años después del injerto.

Los patrones ciruelo de la especie *P. domestica*, como ‘Constantí 1’, ‘RC GF 1380’ y ‘Penta’, injertados con las variedades ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ mostraron buena compatibilidad y desarrollo en vivero, sin mostrar síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’. Además, tras el análisis macroscópico, las uniones del patrón ‘Constantí 1’ fueron clasificadas como compatibles con las dos variedades de nectarina ‘Big Top’ y ‘Summergrand’. a los tres años del injerto. Por el contrario, el patrón ‘RC GF 1380’, injertado con las dos variedades, mostró discontinuidad en corteza y madera, al tercer año, siendo clasificadas sus uniones como D (Fig. V-5, izquierda).



Figura V-5. Árboles de los patrones ‘RC GF 1380’ (izquierda) y ‘AP-45’ (derecha) injertados con la variedad de nectarina ‘Summergrand’, tres años tras el injerto.

‘Adara’, único patrón ciruelo del grupo de los denominados de ‘crecimiento rápido’ (*P. cerasifera*), injertado con la variedad ‘Summergrand’, no mostró síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ durante este estudio. Su vigor fue intermedio entre todos los patrones evaluados y sus uniones (Tabla V-3) fueron clasificadas como A y B, compatibles.

En este trabajo no se usaron otros patrones Mirobolán (*P. cerasifera*) dada su frecuente incompatibilidad con ‘Summergrand’ (Moreno et al., 1993) y con otras variedades de melocotonero y nectarina (Zarrouk et al., 2006a, 2006b). Sin embargo, hay que destacar que algunos híbridos inter-específicos con base genética de la especie *P. cerasifera* como ‘PADAC 99-05’ y ‘PADAC 04-01’, no mostraron síntomas de incompatibilidad de tipo ‘traslocada’ cultivados en condiciones de vivero. No obstante, se pudo observar una diferencia de vigor expresado como AST (cm²), entre estos dos patrones (Tabla V-3).

Con mayor vigor destacaron ‘Replantpac RR’ y ‘Aprimed AP-65’. Al realizar el análisis macroscópico de sus uniones de injerto, éstas fueron clasificadas como compatibles (Fig. V-6).



Figura V-6. Uniones de injerto de los patrones ‘PADAC 99-05’ (izquierda), ‘Replantpac RR’ (centro) y ‘Aprimed AP 65’ (derecha) injertados con la variedad ‘Summergrand’, tres años tras el injerto.

Como era de esperar, entre los híbridos inter-específicos de ciruelo, el patrón ‘Damas GF 1869’ indujo claros síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ en el primer periodo vegetativo tras el injerto de la variedad ‘Summergrand’ (Zarrouk et al., 2006a, 2006b). Así, los árboles de esta combinación mostraron menor desarrollo, amarilleamiento y enrojecimiento de sus hojas y tallos, en comparación con otras combinaciones con buen desarrollo y ausencia de síntomas de incompatibilidad, como ‘Aprimed AP 65’ injertado con ‘Big Top’ (Fig. V-7).



Figura V-7. Árboles de las combinaciones ‘Summergrand’ / ‘Damas GF 1869’ (izquierda) y ‘Big Top’ / ‘Aprimed AP 65’ (derecha), dos años después del injerto.

Los síntomas típicos de este tipo de incompatibilidad (amarilleamiento de las hojas y parada drástica del crecimiento) podrían deberse a las dificultades en la translocación de azúcares que se acumulan en la variedad injertada (Moing y Salesses, 1988). Sin embargo, no se conocen los mecanismos responsables del bloqueo del transporte de carbohidratos (Moing y Salesses, 1988; Yin et al., 2012). En estudios previos, ya se mencionó la incompatibilidad del patrón ‘Damas GF 1869’ con la variedad ‘Summergrand’ y, en contraste, la ausencia de síntomas de incompatibilidad con la variedad ‘Big Top’ (Zarrouk et al., 2006b, 2006a).

Los árboles del patrón ‘AP-45’ [*P. besseyi* × *P. salicina*) × *P. armeniaca*] presentaron claros síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ con las dos variedades evaluadas (‘Big Top’ y ‘Summergrand’), desde del primer año del injerto. Los síntomas visuales incluyeron un desarrollo vegetativo reducido y también el ‘abarquillamiento’ de hojas, con posterior amarilleamiento y enrojecimiento. Por ello, el diagnóstico de

incompatibilidad en este patrón, injertado con ambas variedades, se pudo determinar ya desde el primer periodo vegetativo a partir del injerto (Fig. V-8).

Contrariamente al ‘AP-45’, el patrón ‘Aprimed (AP-65)’ [(*P. armeniaca* L. × *P. cerasifera* Ehrh) × *P. pumila* L. var. *besseyi*], no mostró síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ durante los tres años del injerto (Fig. V-8). El vigor de los árboles del patrón ‘Aprimed AP-65’, expresado como el área de la sección del tronco (AST, cm²) de la variedad injertada, fue similar al inducido por los patrones híbridos almendro x melocotonero, antes mencionados (Tabla V-3).



Figura V-8. Árboles de ‘Summergrand’ / ‘AP-45’ (izquierda) y ‘Summergrand’ / ‘Aprimed AP-65’ (derecha), dos años después del injerto, en condiciones de vivero.

El análisis macroscópico de las uniones de todas las combinaciones estudiadas, permitió clasificarlas en las categorías A, B, y en algunos casos C, con excepción del patrón ‘RC GF 1380’ que fue el único sobre el que se detectó incompatibilidad ‘localizada’ (uniones de categoría D). No obstante, sólo el patrón ‘AP-45’ mostró incompatibilidad ‘traslocada’ con las dos variedades de nectarina, a pesar de compartir las especies *P. besseyi* y *P. cerasifera* en su base genética con el patrón ‘Aprimed AP-65’. Algunos árboles de la combinación ‘Big Top’/ ‘AP-45’ presentaron además un engrosamiento anormal en la zona de unión patrón-variedad. La incompatibilidad ‘traslocada’ observada sobre ‘AP-45’ con las dos variedades de nectarina evaluadas, podría deberse a la mayor distancia genética entre el patrón y la variedad, ya que, en general, la especie *P. besseyi* ha mostrado incompatibilidad con nectarina y melocotonero (Layne, 1987) como en el caso del patrón ‘Evrice’, injertado con la variedad

‘Summergrand’ (Zarrouk et al., 2006a). No obstante, en otros estudios, algunos patrones con base genética de *P. besseyi*, mostraron buena compatibilidad (Zarrouk et al., 2006b). En algunos estudios se ha visto la buena compatibilidad de variedades injertadas sobre patrones con base genética de *P. besseyi* y *P. salicina*, como es el caso de ‘Isthara’ (Reighard et al., 1997), ‘Jaspi’ (Iglesias et al., 2004) y ‘Hiawatha’ (Weibel et al., 2003; Zarrouk et al., 2006b). El patrón ‘Isthara’ también mostró buen comportamiento en vivero durante los tres primeros años tras el injerto (Fig. V-9), aunque con un desarrollo inferior al de varios híbridos de este grupo (Tabla V-3). Sus uniones fueron clasificadas en la categoría A.



Figura V-9. Árboles del patrón ‘Isthara’ injertado con la variedad de nectarina ‘Summergrand’, dos años después del injerto (izquierda), y uniones de tres años de injerto (derecha).

No obstante, la manifestación de la incompatibilidad patrón-variedad, puede depender en gran medida del genotipo de la variedad injertada, como ocurre en el caso del patrón ‘Damas GF 1869’ (*P. domestica* x *P. spinosa*), que es incompatible con ‘Summergrand’ y compatible con ‘Big Top’ (Zarrouk et al., 2006a).

Durante los tres primeros años tras el injerto, todos los patrones evaluados mostraron buena compatibilidad con las dos variedades de nectarina estudiadas, con la excepción del ‘AP-45’ que presentó incompatibilidad ‘traslocada’ ya en el primer año (Fig. V-6). Por otra parte, a los tres años del injerto, al realizar el análisis macroscópico de las uniones, los árboles del ciruelo ‘RC GF 1380’ (*P. domestica*), injertado con las variedades ‘Big Top’ y ‘Summergrand’, presentaron discontinuidades en corteza y madera en sus uniones de injerto y fueron clasificadas en la categoría D (Tabla V-2). La

incompatibilidad patrón-variedad en los patrones ‘AP 45’ (del tipo ‘traslocada’) y ‘RC GF 1380’ (del tipo ‘localizada’) con las dos variedades estudiadas, demuestra la necesidad de una evaluación previa en condiciones de vivero.

Iglesias y Carbó (2006) también mencionaron que algunos patrones ciruelo como el caso de ‘Montizo’ y ‘Jaspi’ no siempre mostraron buena compatibilidad con variedades de melocotonero, con uniones de categoría B y C, para el caso de ‘Montizo’, y uniones con categoría C, muerte de árboles y un desarrollo irregular de los árboles para el caso de ‘Jaspi’.

Los patrones ‘Densipac R-20’ (*P. besseyi* × *P. cerasifera*) y ‘Replantpac RR’ (*P. cerasifera* × *P. dulcis*) evaluados, también mostraron buena compatibilidad con las dos variedades de nectarina (Fig. V-10). El patrón ‘Replantpac RR’ injertado con la variedad ‘Summergrand’ indujo un vigor similar al de ‘Adafuel’ y ‘GF 677’, que podría ser un factor limitante cuando se requieran plantaciones menos vigorosas (Mestre et al., 2015). El patrón ‘Nanopac R-40’ indujo menor vigor que los híbridos ‘GF 677’ y ‘Adafuel’, dentro del grupo de patrones almendro x melocotonero, y que los patrones con base genética de ciruelo ‘Densipac R-20’ y ‘Replantpac RR’ (Tabla V-4).



Figura V-10. Uniones de árboles de las combinaciones ‘Summergrand’ / ‘Densipac R-20’ (izquierda) y ‘Big Top’ / ‘Replantpac RR’ (derecha), tres años después del injerto.

Los patrones incompatibles ‘AP-45’ y ‘RC GF 1380’, mostraron valores de la relación “vigor por encima de la unión / vigor en la propia unión” inferiores a 0,4. Hay que destacar que los valores inferiores a 0,5 correspondieron a los dos patrones en los que se detectó incompatibilidad ‘traslocada’. La reducción del vigor en las variedades

injertadas sobre patrones incompatibles, sugiere que la incompatibilidad podría interferir en el crecimiento del árbol durante los primeros años tras el injerto (Zarrouk et al., 2006a).

Tabla V-4. Vigor (AST, cm²) por encima de la unión, en la propia unión y por debajo de la unión de los árboles injertados con las dos variedades de nectarina, tres años después del injerto.

Variedad	Patrones	AST (cm ²)			Ratio	
		variedad	unión	patrón		
Big Top	Nanopac (R-40)	7,22 abc	12,71 bc	8,20 b	0,60	
	PM 105 AD	3,24 ab	5,09 a	3,06 ab	0,60	
	Constantí 1	10,22 cd	16,13 bc	9,25 c	0,61	
	Penta	7,93 bc	11,75 ab	7,48 bc	0,66	
	RC GF 1380	4,71 abc	10,33 ab	5,96 abc	0,31 ^L	
	AP-45	1,54 a	4,24 a	1,41 a	0,37 ^T	
	Aprimed (AP-65)	7,37 abc	16,04 bc	6,04 abc	0,50	
	Densipac (R-20)	9,10 bc	18,18 bc	8,53 bc	0,51	
	Isthara	10,1 bc	15,53 bc	10,53 cd	0,64	
	PADAC 04-01	5,7 abc	9,52 ab	6,33 abc	0,58	
	PADAC 99-05	6,1 abc	9,93 ab	5,64 abc	0,62	
	Replantpac (RR)	15,2 d	22,65 c	15,47 d	0,69	
	Summergrand	Adafuel	12,18 f	14,93 cde	12,71 e	0,81
		Cadaman	5,37 bc	8,18 abc	7,56 bcd	0,63
GF 677		11,10 ef	12,47 bcd	11,68 de	0,89	
Nanopac (R-40)		4,5 bc	11,61 abc	8,06 bcd	0,47	
Adesoto101		5,07 bc	11,47 abc	7,35 bcd	0,54	
PM 44 AD		7,29 de	10,32 abc	7,53 bcd	0,66	
PM 95 AD		7,78 de	11,84 bcd	7,29 bcd	0,68	
PM 101 AD		5,45 bc	11,25 abc	7,18 bcd	0,54	
PM 105 AD		3,47 b	7,35 abc	4,43 bc	0,40	
PM 137 AD		5,55 bc	9,05 abc	6,70 bc	0,58	
Constantí 1		10,11 def	14,88 cde	9,20 cde	0,66	
Penta		5,94 c	10,67 abc	6,94 bc	0,56	
RC GF 1380		4,73 bc	12,56 bcd	7,58 bcd	0,31 ^L	
San Julián A		7,05 cd	11,17 abcd	7,89 bcd	0,60	
Adara		5,27 bc	7,39 abc	4,19 bc	0,51	
AP-45		1,41 a	4,83 ab	1,28 a	0,31 ^T	
Aprimed (AP-65)		11,24 ef	17,39 cde	7,67 bcd	0,54	
Damas GF 1869		1,40 a	6,11 ab	1,95 a	0,23 ^T	
Densipac (R-20)		7,84 de	13,10 bcde	6,82 bc	0,60	
Isthara		5,27 bc	8,22 ab	7,58 bcd	0,64	
PADAC 99-05		5,79 bc	9,94 abcd	8,18 bcde	0,52	
PADAC 04-01		1,52 a	3,09 a	2,43 ab	0,50	
Replantpac (RR)		12,22 f	16,98 e	11,98 de	0,54	

Para cada variedad y columna, las medias están separadas con el test de Tukey ($P \leq 0,05$). T = Incompatibilidad tranlocada. L= Incompatibilidad localizada. Ratio = Relación sección de la variedad / sección de la unión.

En la Tabla V-5 se muestran los valores de SPAD de las diferentes combinaciones de injerto. Se puede observar que el patrón incompatible ‘AP-45’ injertado con las dos variedades de nectarina, mostró valores más bajos de SPAD, en comparación a otros patrones compatibles, como ejemplo ‘Aprimed AP-65’, ‘GF 677’ o ‘Replantpac RR’.

Sin embargo, en otros casos, los valores de SPAD no mostraron diferencias significativas entre combinaciones compatibles e incompatibles. Este fue el caso de los

Pollizos de Murcia (*P. insititia*) comparados con ‘RC GF 1380’, injertados con la variedad ‘Summergrand’. Aunque los valores de SPAD, en general, no mostraron diferencias significativas entre patrones compatibles e incompatibles, los valores de los dos patrones incompatibles, ‘AP-45’ y ‘RC GF 1380’, fueron significativamente más bajos comparados con algunos de los compatibles, como por ejemplo ‘Aprimed AP-65’, GF 677’ y ‘Replantpac RR’.

Tabla V-5. Medidas de SPAD de las variedades de nectarina ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ injertadas sobre diferentes patrones *Prunus*, a los dos y tres años después del injerto.

Variedad	Patrones	SPAD		Incompatibilidad	
		2 años	3 años		
Big Top	Nanopac (R-40)	24,5 b	30,8 ab	N	
	PM 105 AD	25,6 b	29,1 a	N	
	Constantí	30,0 c	33,5 b	N	
	Penta	28,6 bc	29,6 a	N	
	RC GF 1380	30,3 c	30,4 ab	L	
	AP-45	25,0 ab	--	T	
	Aprimed (AP-65)	30,7 c	33,5 b	N	
	Densipac (R-20)	26,5 b	33,8 b	N	
	Isthara	29,9 c	28,5 a	N	
	PADAC 04-01	22,1 a	30,7 ab	N	
	PADAC 99-05	27,3 b	29,9 a	N	
	Replantpac (RR)	29,2 c	34,4 b	N	
	Summergrand	Adafuel	--	29,4 b	N
		Cadaman	--	31,4 bc	N
GF 677		--	31,3 bc	N	
Nanopac (R-40)		24,9 b	30,2 bc	N	
Adesoto101		27,5 bc	28,5 b	N	
PM 44 AD		27,7 bc	28,6 b	N	
PM 95 AD		30,6 c	28,4 b	N	
PM 101 AD		27,1 bc	29,0 b	N	
PM 105 AD		26,9 b	22,7 a	N	
PM 137 AD		26,5 b	27,5 bc	N	
Constantí 1		29,5 bc	30,4 bc	N	
Penta		25,3 b	30,2 bc	N	
RC GF 1380		28,3 bc	28,3 b	L	
San Julián A		30,1 c	31,3 bc	N	
Adara		25,9 b	30,5 bc	N	
AP-45		22,1 b	22,0 a	T	
Aprimed (AP-65)		30,7 c	36,3 d	N	
Damas GF 1869		14,5 a	27,7 b	T	
Densipac (R-20)		24,5 b	32,8 c	N	
Isthara		27,8 bc	26,6 b	N	
PADAC 99-05		26,1 b	31,1 c	N	
PADAC 04-01		22,7 b	27,2 bc	N	
Replantpac (RR)		29,2 bc	35,3 cd	N	

Para cada variedad y columna, las medias están separadas con el test de Tukey ($P \leq 0.05$). N= Normal. T= Incompatibilidad ‘traslocada’. L= Incompatibilidad ‘localizada’.

Las hojas de los árboles con el patrón ‘AP-45’ mostraron valores de SPAD inferiores a los del patrón ‘Aprimed AP-65’ injertado con las variedades ‘Big Top’ y ‘Summergrand’ ya en el segundo año del injerto. Esa diferencia se incrementó en el tercer

año, en el caso de ‘Summergrand’, con respecto a otros patrones como ‘Replantpac RR’ y ‘Densipac R 20’. También entre los patrones incompatibles, ‘AP-45’ y ‘Damas GF 1869’, tuvieron valores significativamente diferentes, mostrando mayor severidad de la incompatibilidad ‘traslocada’ en el patrón ‘Damas GF 1869’ (Tabla V-5). Esta variación entre combinaciones compatibles e incompatibles, coincide con lo descrito en trabajos anteriores, en los que patrones incompatibles ‘Bruce’, ‘Damas GF 1869’ y ‘Evrica’ produjeron árboles con hojas con valores de SPAD inferiores a los de los patrones compatibles (Zarrouk et al., 2006). Se confirma así que los valores de SPAD permiten la detección temprana de la incompatibilidad ‘traslocada’ (asociada con síntomas visuales de incompatibilidad), pero no de la incompatibilidad ‘localizada’ (asintomática). Por ello, la evaluación en viveros experimentales y el serrado de uniones de injerto sigue siendo el método más conveniente para la detección efectiva de los casos de incompatibilidad patrón-variedad, especialmente en los del tipo ‘localizada’.

V.4. Bibliografía

- Byrne, D.H., Bassols Raseira, M., Bassi, D., Piagnani, M.C., Gasic, K., Reighard, G.L., Moreno, M.Á., Pérez, S.,** 2012. Peach. En: M.L. Badenes and David H. Byrne. (eds.). Fruit Breeding. 1ed. New York: pp. 505–569.
- Cambra, R.,** 1990. ‘Adafuel’, an almond × peach hybrid hootstock. HortScience 25, 584.
- FAOSTAT,** 2019. <https://www.faostat.org>. (Acceso 09 Mayo 2019).
- Felipe, A., Carrera, M., Gómez-Aparisi, J., Socias, R.,** 1997. “Montizo” and “Monpol”, two new plum rootstocks for peaches. Acta Hort. 451, 273–276.
- Felipe, A.,** 2009. “Felinem”, ‘Garnem’, and “Monegro” almond× peach hybrid rootstocks. HortScience 44, 196–197.
- Font i Forcada, C., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2012. Agronomical and fruit quality traits of two peach cultivars on peach-almond hybrid rootstocks growing on Mediterranean conditions. Sci. Hortic. 140, 157–163.
- Font i Forcada, C., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2013. Fruit sugar profile and antioxidants of peach and nectarine cultivars on almond×peach hybrid rootstocks. Sci. Hortic. 164, 563–572.
- Gainza, F., Opazo, I., Muñoz, C.,** 2015. Graft incompatibility in plants: Metabolic changes during formation and establishment of the rootstock/scion union with emphasis on *Prunus* species. Chil. J. Agric. Res. 75, 28–34.
- García-Torrente, G.,** 2014. La fruticultura en España: Un sector competitivo y en expansión. En: Hueso-Martín, J., Cuevas-González, J. Cajamar-Caja Rural. (Eds.). La Fruticultura del siglo XXI en España. pp. 16–24.
- Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R.,** 2014. Plant propagation. Principles and practices, 8th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: pp. 921.
- Iglesias, I., Alegre, S.,** 2014. Melocotonero. En: Hueso-Martín, J., Cuevas-González, J., Cajamar-Caja Rural (Eds.). La Fruticultura del siglo XXI en España. pp. 125–154.
- Iglesias, I., Carbó, J.,** 2006. Patrones de melocotonero. Situación actual, características y comportamiento agronómico de los portainjertos de melocotonero. Doss. Tècnic. DARP 17, 3–18.
- Iglesias, I., Carbó, J., Bonany, J., Casals, M.,** 2004. Evaluation of agronomical performance of several peach rootstocks in Lleida and Girona (Catalonia, NE-Spain). Acta Hort. 658, 341–348.

- Jiménez, S., Pinochet, J., Abadía, A., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y.,** 2008. Tolerance response to iron chlorosis of *Prunus* selections as rootstocks. HortScience 43, 304–309.
- Layne, R.E.C.,** 1987. Peach rootstocks. En: R.C. Rom and R.F. Carlson (Eds.). Rootstocks for fruit crops. Wiley, New York. pp. 185-216.
- MAPAMA,** 2019. <https://www.mapama.gob.es/es/>. (Acceso 29 Abril 2019).
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Pinochet, J., Moreno, M.Á.,** 2015. Influence of peach-almond hybrids and plum-based rootstocks on mineral nutrition and yield characteristics of ‘Big Top’ nectarine in replant and heavy-calcareous soil conditions. Sci. Hortic. 192, 475–481.
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Moreno, M.Á.,** 2017. Influence of plum rootstocks on agronomic performance, leaf mineral nutrition and fruit quality of ‘Catherina’ peach cultivar in heavy-calcareous soil conditions. Spanish J. Agric. Res. 15, e0901.
- Moing, A., Salesses, G.,** 1988. Peach/plum graft incompatibility: Estructural, physiological and genetics aspects. Acta Hort. 227, 57–62.
- Moreno, M.Á., Gogorcena, Y., Pinochet, J.,** 2008. Mejora y selección de patrones *Prunus* tolerantes a estreses abióticos. En: La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, Sevilla, España. pp. 451–475.
- Moreno, M.Á., Moing, A., Lansac, M., Gaudillère, J.P., Salesses, G.,** 1993. Peach/myrobolan plum graft incompatibility in the nursery. J. Hort. Sci. 68, 705–714.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1994. Performance of Adafuel and Adarcias as peach rootstocks. HortScience 29, 1271–1273.
- Mosse, B.,** 1962. Graft-incompatibility in fruit trees. Tech. Commun. Commonw. Bur. Hortic. Plant Crop. 28, 1–36.
- Mosse, B., Herrero, J.,** 1951. Studies on incompatibility between some pear and quince grafts. J. Hort. Sci. 26, 238–245.
- Nicotra, A., Moser, L.,** 1997. Two new rootstocks for peach and nectarines: Penta and Tetra. Acta Hort. 451, 269–271.
- Pinochet, J., Calvet, C., Hernández-Dorrego, A., Bonet, A., Felipe, A., Moreno, M.,** 1999. Resistance of peach and plum rootstocks from Spain, France, and Italy to root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. HortScience 34, 1259–1262.

- Reig, G., Alegre, S., Cantín, C.M., Gatiús, F., Puy, J.,** 2017. Tree ripening and postharvest firmness loss of eleven commercial nectarine cultivars under Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 219, 335–343.
- Reighard, G.L., Loreti, F.,** 2008. Rootstock development (Peach). En: *The Peach: Botany, Production and uses*. CABI International, Wallingford, U.K. pp. 193–220.
- Reighard, G.L., Newall, W.C., Zehr, E.I., Beckman, T.G., Okie, W.R., Nyczepir, A.P.,** 1997. Field performance of *Prunus* rootstock cultivars and selections on replant soils in South Carolina. *Acta Hort.* 451, 243–249.
- Salesses, G., Alkai, N.,** 1984. L'incompatibilité au greffage du pêcher sur certains pruniers porte-greffes, aspect génétique de l'incompatibilité sur Damas GF 1869. IV Coll. Rech. Fruit., Bordeaux, 28–29 novembre. pp. 31–39.
- Weibel, A., Johnson, R.S., Dejong, T.M.,** 2003. Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128, 463–471.
- Yin, H., Yan, B., Sun, J., Jia, P., Zhang, Z., Yan, X., Chai, J., Ren, Z., Zheng, G., Liu, H.,** 2012. Graft-union development: a delicate process that involves cell-cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. *J. Exp. Bot.* 63, 4219–4232.
- Zarrouk, O.,** 2006. Compatibilidad patrón-variedad en *Prunus*. Métodos precoces de detección de la incompatibilidad de injerto. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, 240 pp.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gómez-Aparisi, J., Betrán, J.A., Moreno, M.Á.,** 2005. Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. *Sci. Hortic.* 106, 502–514.
- Zarrouk, O., Aparicio, J., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2006a. Graft compatibility for new peach rootstocks in nursery. *Acta Hort.* 713, 327–329.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á., Pinochet, J.,** 2006b. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. *HortScience* 41, 1389–1394.
- Zarrouk, O., Testillano, P.S., Risueño, M.C., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y.,** 2010. Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 135, 9–17.

VI. Compatibilidad de variedades de almendro injertadas sobre distintos patrones *Prunus*

Resumen

Entre los patrones para el cultivo del almendro, pueden destacarse las selecciones de francos de almendro, tolerantes a salinidad o a sequía; los ciruelos *P. insititia*, con buena adaptación a suelos compactos y calizos e inmunes a ciertos nematodos, y los híbridos inter-específicos, para condiciones de secano o de regadío. Sin embargo, la nueva tendencia de cultivo más intensivo, requiere la selección de nuevos patrones mejor adaptados a los sistemas de producción modernos en regadío. Los híbridos con base genética de ciruelo son de interés ya que presentan mejor adaptación a condiciones de regadío en suelos pesados y a la replantación. Sin embargo, requieren ser evaluados previamente, debido a la posible incompatibilidad patrón-variedad. Este trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza, España) con el objetivo de evaluar la compatibilidad para tres variedades de almendro (*Prunus dulcis* L.) injertadas sobre 27 patrones de distintas especies y grupos del género *Prunus* (híbridos almendro x melocotonero, ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido, e híbridos inter-específicos de ciruelo). Algunos de estos patrones están en proceso de selección y otros son comerciales de reciente introducción en los mercados europeos. Injertados con las variedades ‘Lauranne’, ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’, se evaluaron en condiciones de vivero durante varios años. Se observaron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ en algunos patrones *P. domestica*, *P. cerasifera* e híbridos inter-específicos. También, se observaron algunos casos de incompatibilidad ‘localizada’ en algunos patrones *P. insititia* y *P. cerasifera*. No obstante, se evidencia el potencial de los patrones híbridos almendro x melocotonero y el interés de la especie *P. insititia* e híbridos inter-específicos de ciruelo como fuente de patrones para la producción de almendro.

Palabras clave: *P. dulcis*, *P. domestica*, *P. insititia*, *P. cerasifera*, *P. dulcis* x *P. persica*, incompatibilidad ‘traslocada’, incompatibilidad ‘localizada’

VI. 1. Introducción

La producción de almendro se concentra en muy pocos países. Hay que destacar que EEUU produce ya el 85% de almendra en el mundo, seguido por Australia (8,5%) y España (4,2%) (FAOSTAT, 2019). No obstante, España es el país con mayor superficie de cultivo (36.682 hectáreas), con una producción de 184.765 toneladas en 2018 (MAPAMA, 2019). Sin embargo, su productividad es muy inferior a la del primer productor mundial, debido a que el cultivo se concentra en zonas de secano.

El almendro se ha cultivado tradicionalmente utilizando los patrones francos de almendro, debido a su rusticidad y a su buen comportamiento en condiciones de secano y en suelos con escasa fertilidad (Felipe, 1989). En España, los patrones francos de semilla comúnmente usados han sido los procedentes de las variedades ‘Atocha’, ‘Desmayo’, ‘Garrigues’, ‘Largueta’, ‘Marcona’ y ‘Ramillete’, siendo ‘Garrigues’ el franco más utilizado, generando plantas homogéneas con un sistema radicular fuerte y bastante ramificado. Sin embargo, estos patrones producen gran cantidad de anticipados en la zona de injerto, lo que encarece las labores de mantenimiento (Rubio-Cabetas, 2010). Además, en general, son sensibles a nematodos, hongos del suelo y al ataque de gusano cabezudo. Son poco aptos para el cultivo en regadío, ya que requieren suelos bien drenados y sin problemas de asfixia de raíces. Por esta razón, el uso de los patrones francos de almendro se restringe para el cultivo en condiciones de secano (Felipe, 1989).

También se han usado algunos patrones francos de melocotonero. Entre ellos, los de origen francés: ‘INRA GF 305’, ‘Montclar’ e ‘Higama’, y los de origen americano: ‘Lovell’, ‘Nemaguard’ y ‘Nemared’ (Duval, 2015). Aunque se adaptan mejor a condiciones de regadío que los francos de almendro, también ha ido disminuyendo su uso debido a su mal comportamiento en condiciones de secano y en suelos calizos, la susceptibilidad al ataque de nematodos y corta longevidad (Felipe, 1989). Los patrones ‘Nemared’ y ‘Nemaguard’ han mostrado mayor resistencia a ciertos nematodos, especialmente a los agalladores (*Meloidogyne* spp), y mejor adaptación a suelos pesados, por lo que han tenido mayor difusión que otros francos de melocotonero (Llácer et al., 2009; Rubio-Cabetas et al., 2017). No obstante, los patrones francos de melocotonero no son recomendables para el cultivo en secano. Además, algunos de ellos son muy susceptibles al ataque de nematodos y hongos del suelo, como *Agrobacterium*, *Armillaria* y otros patógenos del suelo (Socias i Company et al., 2009).

Debido a las características más frecuentes de los suelos mediterráneos, con alto contenido de caliza, el patrón híbrido almendro x melocotonero ‘GF 677’ se ha usado desde hace varias décadas (Bielsa et al., 2016; Moreno, 2004). Es de origen francés, con buen comportamiento en suelos calizos y mayor tolerancia a la clorosis férrica que los francos de melocotonero (Reighard y Loreti, 2008). Sin embargo, muestra un excesivo vigor para las necesidades actuales de cultivo más intensivo, por lo que resulta poco conveniente. Además, es sensible a nematodos y se adapta peor en situaciones de replantación (Bielsa et al., 2016).

El patrón ‘GF 677’ ha sido sustituido, en algunos casos, por otros híbridos almendro x melocotonero, también tolerantes a condiciones clorosantes del suelo, como ‘Adafuel’ (Cambra, 1990; Moreno et al., 1994), ‘Felinem’ y ‘Garnem’ (Felipe, 2009), los dos últimos muy usados por su resistencia a nematodos agalladores (Rubio-Cabetas et al., 2017; Zarrouk et al., 2005). Una de las grandes ventajas de estos patrones es que presentan buena compatibilidad con variedades de almendro (Felipe, 2009) y responden bien en condiciones de secano. Tienen facilidad de propagación por estaquillado leñoso, poca presencia de anticipados y/o sierpes, y elevado porcentaje de prendimiento del injerto para variedades de almendro (Rubio-Cabetas et al., 2017). Sin embargo, presentan susceptibilidad a *Agrobacterium*, *Armillaria* y son muy sensibles a la asfixia de raíces en suelos pesados (Mestre et al., 2015; Zarrouk et al., 2005).

Debido a la mayor tolerancia de los patrones ciruelo frente a la asfixia de raíces y resistencia a algunas enfermedades del suelo, también se han seleccionado algunos patrones de las especies *P. insititia* y *P. domestica* como patrones para almendro. Entre los ciruelos *P. insititia*, destacan ‘Adesoto 101’ (Moreno et al., 1995a), ‘Monpol’ y ‘Montizo’ (Felipe et al., 1997), que son recomendables para suelos pesados con alto contenido de caliza y condiciones clorosantes (Mestre et al., 2017). Sin embargo, no se recomiendan para cultivo sin riego, y tienden a emitir sierpes que encarecen las labores de cultivo (Rubio-Cabetas, 2010).

Por otra parte, las nuevas tendencias de cultivo más intensivo requieren la selección de nuevos patrones. Los ciruelos del grupo denominado de crecimiento rápido, como los de la especie *P. cerasifera* (mirobolanes) y los híbridos Mariana (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*) son muy interesantes debido a su mayor tolerancia a la asfixia de raíces en suelos pesados, resistencia a enfermedades (*Agrobacterium*) y hongos del suelo (*Phytophthora*), así como frente a nematodos. Sin embargo, presentan frecuentes casos de incompatibilidad con variedades de almendro (Moreno et al., 1995a), por lo que se

hace necesaria una evaluación previa a su utilización en plantaciones comerciales. A pesar de sus problemas de compatibilidad, son de gran importancia debido a su buen comportamiento en suelos calizos, su mayor resistencia a enfermedades y menor vigor que los patrones híbridos almendro x melocotonero (Duval, 2015).

Hoy en día, un buen patrón para almendro debe cumplir numerosos requisitos. Entre ellos, debe tener un vigor adecuado, que se adapte bien en plantaciones intensivas a determinadas condiciones de cultivo en suelos pesados o secos, y que sea tolerante a ciertos patógenos del suelo (Dicenta et al., 2016; Gradziel et al., 2017). Sin embargo, no hay un patrón que reúna todas las características requeridas en las diversas condiciones edafo-climáticas (Rubio-Cabetas et al., 2017). A pesar de las nuevas selecciones de patrones, tanto las del grupo de los patrones francos de almendro, tolerantes a salinidad o a sequía, como las de los ciruelos *P. insititia*, con buena adaptación a suelos pesados y calizos e inmunes a ciertos nematodos y con menor vigor; o de los distintos híbridos inter-específicos, para condiciones específicas de secano o de regadío, persisten limitaciones como la incidencia del gusano cabezudo (Rubio-Cabetas et al., 2017).

La buena compatibilidad patrón-variedad puede ser definida como el establecimiento exitoso de la unión de injerto, con una larga supervivencia y adecuado funcionamiento de la unidad formada por los dos componentes, la variedad y el patrón (Goldschmidt, 2014). Aunque la compatibilidad entre patrón y variedad depende de factores bioquímicos y estructurales en las diferentes etapas de formación de la unión de injerto (Reig et al., 2019; Zarrouk et al., 2010), la incompatibilidad es más frecuente cuando aumenta la distancia genética entre los componentes de la unión. En estos casos, existen mayores diferencias anatómicas, morfológicas y fisiológicas entre los componentes de la unión (Darikova et al., 2011).

Como ya se ha mencionado en otros capítulos, los tipos principales de incompatibilidad observada en frutales de hueso han sido la ‘traslocada’ y la ‘localizada’. La incompatibilidad ‘traslocada’ se caracteriza por la presencia de síntomas visuales tempranos como el amarilleamiento de las hojas, defoliación prematura y una parada drástica del crecimiento (Reig et al., 2019; Zarrouk et al., 2006b). Algunas veces se puede presentar un abultamiento en la zona de la unión y, generalmente, las plantas mueren durante el primer o segundo año después de realizado el injerto. Contrariamente, la incompatibilidad ‘localizada’ no presenta síntomas visuales, y aparentemente las plantas se presentan sanas durante los primeros años después del injerto. A veces, tarda hasta cinco o más años después de realizado el injerto, como ocurre en variedades de ciruelo

sobre distintos patrones (Reig et al., 2019), pudiendo generar la rotura de las uniones de injerto en árboles en plena producción (Ciobotari et al., 2010; Hartman et al., 2014). En almendro, la incompatibilidad ‘traslocada’ también es común y depende de la variedad injertada. Con la variedad ‘Desmayo’, el patrón ciruelo ‘Adara’ mostró claros síntomas de incompatibilidad, a diferencia de la variedad ‘Marcona’, que presentó buena compatibilidad (Tabuenca y Moreno, 1988).

Los patrones híbridos con base genética de ciruelo presentan, en general, buena adaptación a condiciones de regadío y tolerancia frente a clorosis férrica, por tanto, son de interés para la producción de almendro (Pinochet, 2010; Socias i Company et al., 2010). El patrón ‘Replantpac’ (*P. dulcis* x *P. cerasifera*) muestra buena compatibilidad con variedades de almendro y se comporta bien en condiciones de replantación, dada su resistencia a nematodos y a enfermedades del suelo (Pinochet, 2010).

La incompatibilidad con variedades de almendro es muy variable según distintos patrones y variedades (Felipe, 1989). Aunque se han realizado algunos estudios de compatibilidad en almendro (Tabuenca y Moreno, 1988; Moreno et al., 1995b), pocos de ellos han evaluado gran número de patrones. Los nuevos patrones híbridos, por sus buenas características de adaptación a las condiciones mediterráneas (Font i Forcada et al., 2019; Pinochet, 2010), podrían ser de especial interés para la producción de almendro y solucionar problemas de replantación (Rubio-Cabets et al., 2017). Sin embargo, estos patrones de nueva generación requieren ser evaluados previamente antes de ser lanzados al mercado (Salazar et al., 2018).

Por todo ello, el objetivo de este trabajo fue el de evaluar 27 patrones *Prunus* con diferente base genética, injertados con las variedades de almendro ‘Lauranne’, ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ en condiciones de viveros experimentales, establecidos en la finca de la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC). También se estudió el vigor y contenido foliar de clorofila (medidas SPAD), en los árboles evaluados, por su posible relación con la expresión de la incompatibilidad patrón-variedad.

VI.2. Materiales y métodos

VI.2.1. Material vegetal

En el presente trabajo, las variedades de almendro ‘Lauranne’, ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ fueron injertadas sobre diferentes patrones *Prunus*, pertenecientes a los grupos denominados: híbridos almendro x melocotonero, ciruelos de crecimiento lento, ciruelos de crecimiento rápido e híbridos inter-específicos de ciruelo (Tabla VI-1). Estos patrones

fueron plantados en los inviernos de 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015, e injertados en los veranos de 2013, 2014 y 2016 respectivamente.

Tabla VI-1. Patrones usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de almendro.

Patrón	Especie	Origen
Híbridos almendro x melocotonero		
Adafuel	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	CSIC, España
Adarcias	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	CSIC, España
Nanopac R 40	<i>P. dulcis</i> × <i>P. persica</i>	AI, España
Ciruelos de crecimiento lento		
Adesoto 101	<i>P. insititia</i>	CSIC, España
‘Pollizo de Murcia’: PM 44 AD, PM 95 AD, PM 101 AD, PM 105 AD, PM 137 AD, PM 150 AD	<i>P. insititia</i>	CSIC, España
San Julián A	<i>P. insititia</i>	INRA, Francia
Constantí 1	<i>P. domestica</i>	CSIC, España
Penta	<i>P. domestica</i>	ISF, Italia
Torinel	<i>P. domestica</i>	INRA, Francia
Ciruelos de crecimiento rápido		
Adara	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Ademir	<i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
Mirobolán B	<i>P. cerasifera</i>	U.K.
Otros híbridos inter-específicos		
AP 45	(<i>P. besseyi</i> × <i>P. salicina</i>) × <i>P. armeniaca</i>	AI, España
Aprimed (AP-65)	(<i>P. armeniaca</i> L. × <i>P. cerasifera</i> Ehrh.) × <i>P. pumila</i> L. var. <i>besseyi</i>	AI, España
Cadaman	<i>P. persica</i> × <i>P. davidiana</i>	Francia-Hungría
Damas GF 1869	<i>P. domestica</i> × <i>P. spinosa</i>	INRA, Francia
Densipac R 20	<i>P. besseyi</i> × <i>P. cerasifera</i>	AI, España
Isthara	(<i>P. cerasifera</i> × <i>P. salicina</i>) × (<i>P. domestica</i> × <i>P. persica</i>)	INRA, Francia
Miral 3278 AD	<i>P. dulcis</i> × <i>P. cerasifera</i>	CSIC, España
PADAC 99-05	<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)	CSIC, España
PADAC 04-01	<i>P. cerasifera</i> × (<i>P. persica</i> × <i>P. dulcis</i>)	CSIC, España
Replantpac RR	<i>P. cerasifera</i> × <i>P. dulcis</i>	AI, España

AI= Agromillora Iberia S.A. Vivero comercial; CSIC= Consejo Superior de Investigaciones Científicas; INRA= Institut National de la Recherche Agronomique; ISF= Instituto Sperimentale per la Fruticultura.

En EEUU y Australia, la variedad ‘Nonpareil’ representa entre el 40% y 50% de la producción, seguida por otras variedades como ‘Monterey’, ‘Carmel’, ‘Fritz’, ‘Mission’ y ‘Price’ (Dicenta et al., 2016). En Chile, la variedad ‘Nonpareil’ junto a ‘Price’, ‘Solano’ y ‘Fritz’ constituyen el 80% de la producción de almendra. En Argentina destaca también la variedad ‘Nonpareil’, junto a ‘Guara’ y ‘Felisia’. En España, predomina el cultivo de las variedades ‘Guara’, ‘Felisia’ y ‘Soleta’, entre otras (Gradziel et al., 2017). ‘Nonpareil’ es una variedad de floración temprana, auto incompatible por lo que requiere de polinizadores (Gradziel, 2017; Espada et al., 2010) y es susceptible a heladas. Contrariamente, las variedades ‘Lauranne’ y ‘Soleta’ son de floración tardía, más

tolerantes a heladas y no requieren polinizadores por su ser auto-compatibles (Dicenta et al., 2017; Gradziel et al., 2017).

En el presente trabajo, las combinaciones estudiadas fueron observadas durante los dos y tres años posteriores al injerto, en condiciones de vivero, para detectar la posible incidencia de síntomas visuales de incompatibilidad patrón-variedad. Algunos árboles, de dos y tres años de injerto, fueron serrados en la zona de la unión patrón-variedad y analizados según las categorías de compatibilidad descritas por Mosse y Herrero (1951). Los ensayos objeto de este estudio se establecieron en viveros experimentales con suelos calizos, con un elevado contenido de carbonato cálcico (en torno al 30%) y de caliza activa (7,5%), pH=8,0 y una textura franco-arcillo-limosa (Reig et al., 2019).

VI.2.2. Estudio de compatibilidad

Los árboles injertados se observaron para determinar los posibles síntomas visuales de la incompatibilidad ‘traslocada’, desde el primer periodo vegetativo del injerto y segundo año de crecimiento en vivero. Como ya se ha mencionado, la amarillez y ‘abarquillamiento’ de hojas, una reducción drástica o ‘parada’ del crecimiento, la defoliación prematura y, eventualmente, un abultamiento del injerto en la zona de la unión, caracterizan este tipo de incompatibilidad de injerto (Hartman et al., 2014). También se puede presentar una gran diferencia de vigor entre la variedad injertada y el patrón (Zarrouk, 2006).

El examen macroscópico de las uniones patrón-variedad se llevó a cabo observando las uniones de árboles de dos y tres años de injerto. Para la evaluación visual, las uniones fueron serradas por el plano radial-longitudinal y clasificadas de acuerdo a las categorías definidas por Mosse y Herrero (1951). Se establecieron las siguientes categorías (Figura VI-1):

Categoría A = Uniones perfectas. La línea de unión en corteza y madera no es visible o puede ser ligeramente visible.

Categoría B = Buenas uniones. La corteza y madera es continua, aunque la línea de unión en la madera puede ser distinguible debido a una leve involución del cambium en la línea de unión.

Categoría C = Uniones con discontinuidades en corteza. El tejido de corteza entre el patrón y la variedad está separado por una línea marrón oscura con apariencia de corcho.

Categoría D = Las uniones tienen discontinuidad en madera. El tejido de madera de patrón y variedad está separado en varios puntos de la unión, por espacios o lagunas de

parénquima no lignificado. El tejido de la corteza generalmente es clasificado como categoría C.

Categoría E = Rupturas en la zona de unión. Observación en campo de árboles rotos o saltados en la zona de la unión.



Figura VI-1. Uniones serradas para el análisis macroscópico. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951): A, B, C, D y E.

Durante el examen interno de las uniones de injerto, se midió el perímetro de la unión, por encima y debajo (~5 cm) y en la misma línea de unión. Este método permitió buscar correlaciones entre el crecimiento del árbol y los síntomas de incompatibilidad.

Por su posible relación con la expresión de la incompatibilidad patrón-variedad, también se estudió la concentración foliar de clorofila, estimada mediante medidas SPAD, usando un medidor SPAD 502 m (Minolta Co., Osaka, Japan). Se midieron en hojas de los árboles evaluados, en los meses de Junio y Julio, en el primer periodo vegetativo a partir del injerto.

VI.2.3. Análisis estadístico

Los datos de vigor de los árboles fueron evaluados mediante un análisis de varianza con el programa SPSS 21.0 (SPSS Inc. Chicago, USA). El análisis de varianza se realizó mediante un ANOVA, usado para determinar diferencias significativas entre combinaciones, y establecer posibles correlaciones entre el área de la sección de tronco, valores de SPAD y síntomas de incompatibilidad. La comparación de medias fue realizada mediante el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

VI.3. Resultados y discusión

En la Tabla VI-2 se presentan los resultados del comportamiento en vivero, análisis macroscópico de uniones de injerto y valores de SPAD en hojas, de las variedades de almendro ‘Lauranne’, ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’, injertadas sobre los distintos patrones *Prunus* estudiados.

La compatibilidad de los patrones del grupo de los denominados ‘ciruelos de crecimiento lento’ fue buena, en general, con las tres variedades. Los patrones ‘Pollizo de Murcia’ no mostraron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’, durante los dos primeros años después del injerto. No obstante, durante el segundo año, se pudo observar, en algunas combinaciones, la presencia de ciertas anomalías, como un vigor reducido de los árboles injertados. Este fue el caso de los patrones ‘PM 44 AD’ y ‘PM 150 AD’ injertados con la variedad ‘Lauranne’; del patrón ‘PM 105 AD’ con la variedad ‘Nonpareil’ y de los patrones ‘PM 44 AD’ y ‘PM 105 AD’ con la variedad ‘Soleta’. Sin embargo, en la mayoría de las combinaciones, ese menor vigor no tuvo relación con la incompatibilidad ‘traslocada’.

A los dos años del injerto, algunas uniones fueron serradas y analizadas macroscópicamente, detectándose casos de discontinuidad en la unión (Tabla VI-2). Este fue el caso de los patrones ‘PM 44 AD’ y ‘PM 101 AD’ que presentaron algunas uniones con discontinuidad en corteza (categoría C) pero sin llegar a categoría D, por lo que podrían considerarse compatibles en la práctica. No obstante, el patrón ‘PM 105 AD’ podría considerarse incompatible injertado con ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ (Fig. VI-2), al observarse uniones de categoría D.



Figura VI-2. Uniones incompatibles de árboles de la combinación ‘Nonpareil’ / ‘PM 105 AD’ (izquierda) y ‘Soleta’ / ‘PM 105 AD’ (derecha), dos años después del injerto.

Al igual que los Pollizos de Murcia (*P. insititia*), los patrones ciruelo *P. domestica* (‘Constantí 1’, Penta’ y ‘Torinel’) tampoco mostraron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ con la variedad ‘Lauranne’ en el segundo año de injerto. Sin embargo, las variedades ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ presentaron rotura de la unión a partir del primer año

del injerto y gran porcentaje de fallos de injerto (incompatibilidad total) sobre el patrón ‘Torinel’. La incompatibilidad total ha sido descrita como la falta de prendimiento del injerto causada por incompatibilidad, aunque también puede ser causada por factores ambientales como las altas temperaturas y el déficit hídrico que constituye un estrés fisiológico. Sumados al propio estrés del injerto, han sido asociados a un incremento de la concentración de ciertos flavonoles como la Catequina y la Proantocianidina en *Eucalyptus gunnii* y en albaricoquero injertado sobre patrones *Prunus* (Cooman et al., 1996; Errea, 1998; Errea et al., 1994), y muerte del tejido injertado o una deficiente capacidad de adhesión de los tejidos después del injerto (Hartman et al., 2014).

El patrón ‘Penta’ no mostró síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’ con las variedades ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ a los dos años después del injerto. Además, sus uniones de injerto, tras el análisis macroscópico, fueron clasificadas en la categoría A (compatibles). La importancia de estos resultados concuerda con el valor agronómico de este patrón, usado en Italia con algunas variedades de floración tardía (Massai y Loreti, 2004), debido a su mayor tolerancia o resistencia a la asfixia de raíces, nematodos y enfermedades (*Phytophthora*, *Armillaria*, *Agrobacterium*) del suelo. No obstante, la buena compatibilidad de los patrones ciruelo no es general y pueden presentar incompatibilidad ‘localizada’ con algunas variedades de almendro (Rubio-Cabetas et al., 2017).



Figura VI-3. Uniones compatibles de árboles de la combinación ‘Soleta’ / ‘Constantí 1’, un año después del injerto.

Tabla VI-2. Comportamiento en vivero, análisis macroscópico de uniones de injerto y valores de SPAD en hojas, de tres variedades de almendro injertadas sobre distintos patrones *Prunus*.

Variedad	Patrón	Evaluación de sintomatología		Icompatibilidad localizada		SPAD (1 año)
		1 año	2 años	2 años	3 años	
		número de árboles				
Lauranne	Adesoto 101	8 N	8 N	4 A	4 A	-
	PM 44 AD	16 N	15 rv	2 B; 2 C	4 A; 2 B	28,8
	PM 95 AD	-	-	-	9 A	-
	PM 101 AD	9 N	9 N	3 B	5 A; 4 B	-
	PM 105 AD	9 N	8 N	4 A	-	31,3
	PM 137 AD	16 N	16 N	3 B; 1 C	6 A	-
	PM 150 AD	16 N	16 rv	4 A	-	30,6
	San Julián A	16 np	-	-	3 A	-
	Constatí 1	17 np	1 rv	-	-	-
	Penta	16, 2 rv	2	-	-	-
	Torinel	1 N; 9 np	0	-	-	-
	Adara	28 N	28 N	5 A	-	31,6
	Ademir	9 N	9 N	3 B	9 A	35,8
	Mirobolán B	1 N T 9 np	1 T	-	-	-
	Damas GF 1869	18 N	17 N	5 A	6 A	31,7
	Isthara	14 N	13 rv	4 A	-	39,9
	Miral 3278 AD	-	-	-	4 A	-
	Replantpac RR	-	-	-	4 A; 3 B	-
Nonpareil	Adafuel	9 N	9 N	-	4 B	-
	Adarcias	9 N	9 N	-	4 A	-
	Nanopac R 40	18 N	18 N	-	9 A; 8 B	-
	Penta	7 N	7 N	4 A	-	33,3
	PM 105 AD	31 N	26 rv	2 C; 4 D	-	31,1
	San Julián A	2 rv; 8 np	2 rv	-	-	-
	Torinel	11 T	-	-	-	18,2 ^T
	Adara	23 N	19 rv	4 A	-	32,5
	Ademir	17 N	8 T	-	-	19,2 ^T
	Mirobolán B	3 T; 7 np	2 T	-	-	22,2 ^T
	AP 45	10 T	8 T	-	T ^M	-
	Aprimed (AP 65)	8 N	8 N	-	6 C; 2 D	27,8
	Damas GF 1869	14 N	14 N	4 A	-	30,6
	Densipac R 20	20 N	20 N	-	20 A	32,6
	Isthara	10 N	6 N	3 A; 2 B	-	33,9
	PADAC 99-05	15 N	15 N	-	3 A	-
	PADAC 04-01	20 N	20 N	4 A	2 A; 13 B; 5 C	33,6
	Replantpac RR	18 N	17 N	-	17 A	27,7
Soleta	Nanopac R 40	10 N	10 N	-	10 A	23,2
	Adesoto 101	9 N	8 N	3 A	-	33,6
	PM 44 AD	10 N	10 rv	2 B; 2 C	-	33,0
	PM 101 AD	10 N	9 N	4 C	-	33,6
	PM 105 AD	21 N	18 rv	3 C; 1 D	-	33,1
	PM 137 AD	10 N	7 N	-	-	32,8
	San Julián A	10 N	9 N	2 B; 2 C	-	37,4

Tabla VI-2. (continuación)

Constantí 1	30 N	30 N	6 A	-	36,5
Penta	9 N	9 rv	5 A	-	33,7
Torinel	20 np	-	-	-	-
Adara	28 N	26 N	6 A	-	35,1
Ademir	18 N	13 rv	3 C; 2 D	-	34,8
Mirobolán B	18 N	14 N	6 A	-	35,2
AP 45	10 T	8 T	-	-	22,6
Aprimed (AP 65)	9 N	9 N	-	4 A; 4 B	25,4
Cadaman	10 N	10 N	4 A	-	33,0
Damas GF 1869	12 N	12 N	5 A	-	37,6
Densipac R 20	9 N	9 N	-	5 A; 4 B	25,4
Isthara	15 N	14 N	4 A	-	37,3
PADAC 04-01	10 N	10 N	-	10 A	26,2
Replantpac RR	8 N	8 N	-	7 A	27,7

Categorías A, B, C, D, y E: clasificación del grado de incompatibilidad ‘localizada’ de acuerdo a Mosse y Herrero (1951), (T)= Incompatibilidad translocada, (np)= Injertos no prendidos, (rv)= Reducción de vigor.

El patrón ‘Constantí 1’ no mostró síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ injertado con ‘Soleta’ y sus uniones fueron clasificadas en la categoría A al segundo año del injerto (Fig. VI-3), es decir, compatibles. Contrariamente, cuando este patrón fue injertado con la variedad ‘Lauranne’, no prendieron los injertos. Esto demuestra, un comportamiento variable de los patrones *P. domestica*, en cuanto a su compatibilidad con almendro (Rubio-Cabetas et al., 2017).

Entre los ‘Pollizos de Murcia’, destacó el patrón ‘Adesoto 101’, al no mostrar síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ para las dos variedades injertadas (‘Lauranne’ y ‘Soleta’), dando árboles con un crecimiento normal en condiciones de vivero y sin problemas de mortalidad. El vigor de la variedad ‘Lauranne’ (expresado como AST) sobre ‘Adesoto 101’, ‘PM 44 AD’ y ‘PM 95 AD, fue significativamente superior al del resto de ‘Pollizos’ (Tabla VI-3).

Aunque los patrones *P. insititia*, en general, tienen buena compatibilidad con variedades de almendro (Rubio-Cabetas et al. 2017), en el caso del patrón ‘San Julián A’, los resultados fueron muy diferentes según la variedad injertada. Por una parte, se observó la manifestación de la incompatibilidad ‘traslocada’, con las variedades ‘Lauranne’ y ‘Nonpareil’ a partir del primer año del injerto, y también incompatibilidad de tipo ‘total’, es decir, que gran cantidad de injertos no prendieron con estas dos variedades. Contrariamente, para la variedad ‘Soleta’, no se observaron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’. Al ser analizadas macroscópicamente las uniones de injerto del patrón ‘San Julián A’ con la variedad ‘Soleta’ se clasificaron en las categorías B y C, es decir, con

ciertas irregularidades anatómicas en corteza, pero sin profundizar en madera (Tabla VI-2).

En el caso de los patrones ciruelo denominados ‘de crecimiento rápido’, el patrón ‘Adara’ no presentó síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ con ninguna de las tres variedades injertadas, durante los dos primeros años del injerto. No obstante, con la variedad ‘Lauranne’, mostró un abultamiento anormal en la zona de la unión, al segundo año del injerto. Sin embargo, sus uniones fueron clasificadas en la categoría A, para las tres variedades estudiadas.

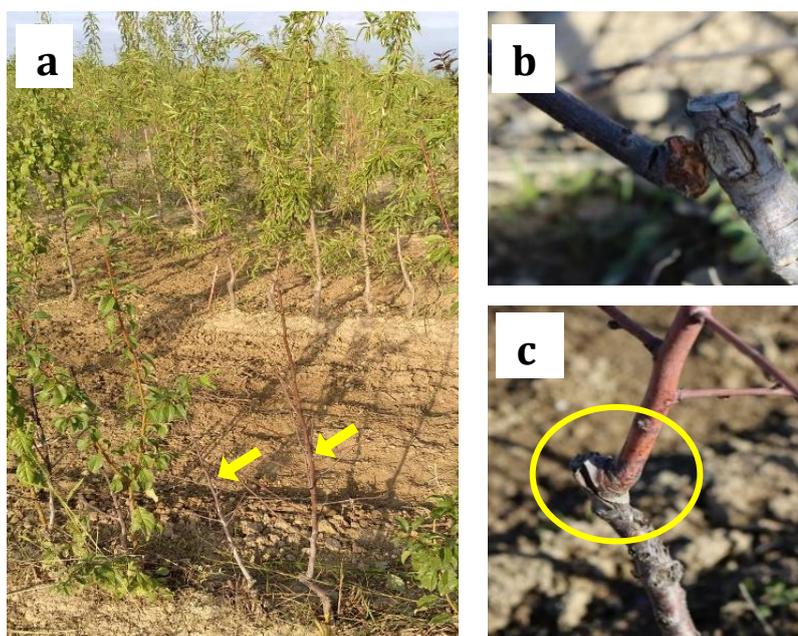


Figura VI-4. Árboles en vivero de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ injertada sobre el patrón ‘Ademir’, dos años después del injerto. Síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ (a) y anomalías de la unión de injerto (b y c).

El patrón ‘Ademir’, fue seleccionado como patrón para variedades de ciruelo (Moreno et al., 1995c). En este trabajo, no presentó síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ de manera clara durante el primer año del injerto con las variedades de almendro estudiadas. Sin embargo, los síntomas fueron visibles durante el segundo año tras el injerto con la variedad ‘Nonpareil’. Sus hojas mostraron amarilleamiento y abarquillamiento propio de este tipo de incompatibilidad (Fig. VI-4). Además, tuvieron una mortalidad del 50% y una reducción de vigor en los árboles restantes. En el segundo año, la manifestación de síntomas visuales de incompatibilidad de tipo ‘traslocada’ se vio más acentuada (Fig. VI-4a). Además, se presentaron roturas de árboles en vivero por la zona de la unión, como consecuencia de las anomalías de la unión de injerto (Fig. VI-4b). Por el contrario, con la variedad ‘Lauranne’, al finalizar el segundo año del injerto y tras

el serrado y análisis macroscópico de las uniones de injerto, se pudo confirmar su buena compatibilidad mostrando uniones en las categorías A y B (Fig. VI-5).



Figura VI-5. Uniones de árboles de la combinación ‘Lauranne’ / ‘Ademir’, con dos años (izquierda) y tres años tras el injerto (derecha), clasificadas en la categoría A (compatible).

Con la variedad ‘Soleta’, los árboles del patrón ‘Ademir’ no mostraron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ durante los dos años posteriores al injerto, aunque sí presentó una mortalidad del 28% de los árboles, acompañado de una reducción de vigor frente a otros patrones. A los dos años del injerto, se hizo el análisis macroscópico de sus uniones, que permitió detectar la incompatibilidad ‘localizada’, con uniones de categoría D (Fig. VI-6).



Figura VI-6. Uniones de árboles de la combinación ‘Soleta’ / ‘Ademir’ dos años tras el injerto, clasificadas en la categoría D (incompatible).

En el grupo de patrones ciruelo de crecimiento rápido, también se observó la incompatibilidad ‘traslocada’ de las variedades ‘Lauranne’ y ‘Nonpareil’ sobre el patrón ‘Mirobolán B’, durante el primer año del injerto, caracterizado además por un gran número de fallos de prendimiento del injerto. Sin embargo, para la variedad ‘Soleta’, no se observaron síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’ y al realizar el análisis

macroscópico de las uniones de dos años de injerto, fueron clasificadas en la categoría A, compatibles (Tabla VI-2). Debido a la incompatibilidad del patrón ‘Mirobolán B’ con las otras dos variedades evaluadas, se aconseja más tiempo de evaluación también para la variedad ‘Soleta’. Además, el serrado y análisis macroscópico de un número mayor de uniones de injerto será imprescindible para obtener resultados más fiables para esta combinación.

Para este tipo de patrones, las diferencias en la manifestación de la incompatibilidad en función de la variedad injertada, ha sido descrita en estudios previos. Por ejemplo, el patrón ‘Adara’ fue descrito como compatible con la variedad ‘Marcona’ e incompatible con la variedad ‘Desmayo’ (Moreno et al., 1995b). Por ello, se hace muy necesaria la evaluación previa antes de recomendar un patrón para fines productivos, especialmente si son muy diferentes genéticamente de la variedad injertada.

Aunque, la incompatibilidad ‘traslocada’ es frecuente en patrones *P. cerasifera* (Mirobolán) con variedades de almendro (Felipe, 1989; Moreno et al., 1995b; Rubio-Cabetas et al., 2017), otro patrón de este grupo, el Myrotop®, mostró buena compatibilidad injertado con ‘Lauranne’ y ‘Nonpareil’ (Duval y Masse, 2013).

En el caso de los patrones híbridos ‘inter-específicos’ considerados, la compatibilidad de injerto fue, en general, mejor que para los patrones *P. cerasifera*. Destacaron los patrones ‘Damas GF 1869’ e ‘Isthara’, los cuales tuvieron un buen comportamiento en vivero, con árboles de buen desarrollo y ausencia de síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ injertados con las variedades ‘Lauranne’, ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ (Fig. VI-7).



Figura VI-7. Árboles en vivero con dos años después del injerto de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ injertada sobre los patrones híbridos inter-específicos ‘Isthara’ (izquierda) y ‘Damas GF 1869’ (derecha).

De igual manera, algunos patrones de nueva generación y mas recientemente seleccionados, incluidos en este estudio, mostraron una buena compatibilidad de injerto con las variedades ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’. Entre estos patrones destacaron los híbridos ‘Aprimed AP-65’, ‘Densipac R-20’ (Fig. VI-8), ‘Replantpac RR’ y ‘PADAC 04-01’, que no mostraron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ durante los tres primeros años del injerto. Además, se destaca el hecho de que no se observó mortalidad de árboles para dichos patrones, con la excepción de ‘Replantpac RR’ (sólo un árbol muerto en el segundo año). Esto evidencia el buen comportamiento en vivero y el gran potencial de adaptación de estos patrones a las condiciones de cultivo en suelos pesados y calizos (Felipe, 1989; Font i Forcada et al., 2019; Mestre et al., 2015; Rubio-Cabetas et al., 2017).



Figura VI-8. Árboles en vivero de dos años tras el injerto de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ sobre el patrón ‘Densipac R-20’.

Además, al tercer año del injerto, algunas uniones de dichas combinaciones fueron analizadas macroscópicamente de acuerdo a Mosse y Herrero (1951). Así, las uniones de ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ sobre los patrones ‘Densipac R-20’ y ‘Replantpac RR’, fueron en su gran mayoría clasificadas en las categorías A y B, es decir uniones perfectas sin discontinuidades en corteza y madera. Aunque algunas uniones de ‘Nonpareil’ con ‘PADAC 04-01’ fueron clasificadas en categorías consideradas compatibles en la práctica, su compatibilidad deberá confirmarse en años posteriores, en virtud de varias uniones clasificadas en la categoría C.



Figura VI-9. Árboles en vivero, de dos años tras el injerto, de la variedad de almendro ‘Nonpareil’ sobre el patrón ‘Densipac R-20’.

Las uniones del patrón ‘Densipac R-20’ con ‘Nonpareil’ fueron clasificadas en la categoría A, mientras que con ‘Soleta’ fueron de categoría B. Contrariamente, el patrón ‘Aprimed AP-65’ injertado con la variedad ‘Nonpareil’ mostró uniones C y algunas D, mientras que con la variedad ‘Soleta’, todas ellas fueron de categorías A y B (Fig. VI-9).

Hay que destacar que el híbrido ‘AP 45’, injertado con ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’, mostró síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ ya en el primer año del injerto, con amarilleamiento de las hojas, defoliación precoz y una reducción drástica del crecimiento. En el segundo año del injerto, estos árboles acentuaron la marchitez de brotes, defoliación y finalmente necrosis y muerte de toda la planta (Fig. VI-10).

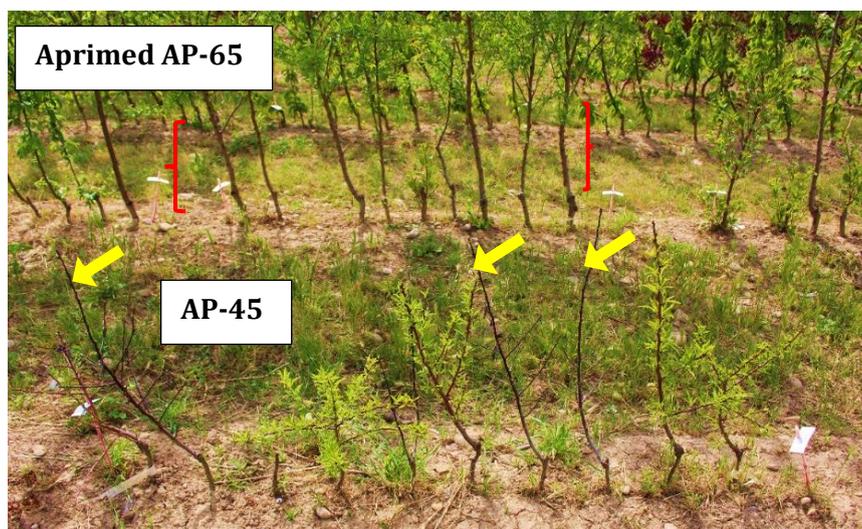


Figura VI-10. Árboles en vivero, de dos años tras el injerto, de la variedad de almendro ‘Soleta’ injertada sobre los híbridos ‘Aprimed AP-65’ y ‘AP-45’.

En el caso de los patrones híbridos almendro x melocotonero ‘Adafuel’ y ‘Adarcias’, injertados con la variedad ‘Nonpareil,’ no se observó ningún síntoma de

incompatibilidad ‘traslocada’ durante los tres años en los que fueron estudiados. De igual manera, los árboles del patrón ‘Nanopac R-40’ injertado con ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ tampoco mostraron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ durante los tres años del injerto. Al tercer año, las uniones del patrón ‘Nanopac R-40’ injertado con las variedades ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ fueron serradas y clasificadas en las categorías A y B (compatibles) (Fig. VI-11).

Como era previsible, en el grupo de patrones híbridos almendro x melocotonero, no se encontraron casos de incompatibilidad ni ‘traslocada’ ni ‘localizada’. Su buena compatibilidad con variedades de almendro concuerda con estudios previos (Cambra, 1990; Felipe, 1989; Moreno et al., 1995a; Rubio-Cabetas et al., 2017).



Figura VI-11. Uniones de la variedad de almendro ‘Soleta’ injertada sobre el patrón ‘Nanopac R-40, dos años tras el injerto.

En la Tabla VI-3, se refieren las medidas de vigor de las uniones de injerto de árboles de tres años de algunas de las combinaciones estudiadas. Se observaron diferencias de vigor dentro de un mismo o distinto grupo de patrones. Los híbridos almendro x melocotonero ‘Adafuel’ y ‘Nanopac R-40’ indujeron un vigor intermedio, similar al de algunos híbridos inter-específicos de ciruelo como ‘PADAC 04-01’ y ‘PADAC 99-05’. Valores superiores, aunque estadísticamente no significativos, correspondieron a algunos patrones híbridos inter-específicos de ciruelo como ‘Aprimed AP-65’, ‘Densipac R-20’ y ‘Replantpac RR’. El patrón ‘Nanopac R 40’ destacó por inducir un vigor inferior al de otros híbridos almendro x melocotonero como ‘Adafuel’ y ‘Adarcias’, y al del híbrido ‘Replantpac RR’, injertados con la variedad ‘Nonpareil’. El menor vigor de ‘Nanopac R 40’ con las variedades ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’, es un resultado interesante para fines productivos, puesto que uno de los mayores problemas de los patrones híbridos almendro x melocotonero es el excesivo vigor que transmiten a la variedad injertada (Loreti y Massai, 1990; Iglesias y Carbó, 2006).

Tabla VI-3. Área de la sección del tronco (AST) por encima (~5 cm), debajo (~5 cm) y en la unión de injerto de tres variedades de almendro injertadas sobre diferentes patrones *Prunus*, a los 3 años después del injerto.

Variedad	Patrón	AST (cm ²)			Ratio	Compatibilidad
		arriba	unión	abajo		
Lauranne	Adesoto 101	0,93 cd	1,51 c	1,08 bc	0,60	C
	PM 44 AD	0,87 cd	1,70 cd	0,89 b	0,51	I
	PM 95 AD	1,12 d	1,89 d	1,24 c	0,56	C
	PM 101 AD	0,40 b	0,98 b	0,67 b	0,39	C
	PM 137 AD	0,22 a	0,57 a	0,36 a	0,37	C
	San Julián A	0,43 b	1,03 b	0,47 a	0,42	C
	Ademir	1,00 d	1,83 d	1,02 bc	0,53	C
	Damas GF 1869	1,12 d	1,90 d	0,89 b	0,56	C
	Miral 3278 AD	0,74 c	1,64 c	1,03 bc	0,46	C
	Replantpac (RR)	0,81 c	1,47 c	0,90 b	0,56	C
Nonpareil	Adafuel	0,77 c	1,60 c	0,73 cd	0,69	C
	Adarcias	0,93 cd	1,82 cd	0,90 d	0,72	C
	Nanopac (R 40)	0,55 b	1,16 b	0,68 bc	0,47	C
	AP 45	0,12 a	0,33 a	0,09 a	0,33	I
	Aprimed (AP 65)	1,00 d	2,42 e	0,74 cd	0,41	C
	Densipac (R 20)	1,10 de	2,05 d	0,92 d	0,49	C
	PADAC 99-05	0,65 bc	1,44 c	0,78 cd	0,67	C
	PADAC 04-01	0,49 b	0,90 b	0,53 b	0,54	C
Replantpac (RR)	1,22 e	2,30 e	1,38 e	0,53	C	
Soleta	Nanopac (R 40)	0,61 b	1,22 b	0,85 b	0,50	C
	AP 45	0,10 a	0,31 a	0,11 a	0,34	I
	Aprimed (AP 65)	1,20 c	2,28 c	1,05 b	0,52	C
	Densipac (R 20)	0,68 b	1,56 b	0,87 b	0,44	C
	PADAC 04-01	0,57 b	1,19 b	0,80 b	0,49	C
	Replantpac (RR)	0,98 c	2,21 c	1,19 b	0,44	C

Para cada columna, la comparación de medias se ha realizado con el test de Tukey ($P \leq 0,05$).
C = Compatible. I= Incompatible.

Por otro lado, se puede observar que los valores de la relación de vigor por encima de la unión y en la propia unión (arriba de la unión / unión de injerto), no tuvieron, en general, relación directa con la ocurrencia de la incompatibilidad. Estos resultados concuerdan con lo observado en melocotonero, donde patrones híbridos inter-específicos de ciruelo ('Isthara' y 'Jaspi') compatibles, también mostraron valores similares a patrones incompatibles ('Mariana 4001') (Zarrouk et al., 2006a).

No obstante, el patrón incompatible 'AP-45' con 'Nonpareil' mostró un valor inferior a 0,50 ya en el primer año tras el injerto, antes de que los árboles finalmente murieran debido a la incompatibilidad 'traslocada' en el segundo año. Sin embargo, otros patrones compatibles también tuvieron valores bajos, lo que indica que esta relación de vigor no siempre corresponde a la incompatibilidad y podría responder a una

característica de los patrones, con efecto en el vigor de la variedad injertada (Iglesias y Carbó, 2006; Loreti y Massai, 1990; Moreno et al., 2001).

Los valores de SPAD, analizados para algunas combinaciones, no mostraron diferencias significativas entre patrones (Tabla VI-2). Sin embargo, en algunos casos, sobre todo para la variedad ‘Soleta’, los patrones ‘Aprimed AP-65’ y ‘Densipac R-20’, presentaron la tendencia a valores de SPAD más bajos, aunque sin diferencias significativas respecto al patrón incompatible ‘AP-45’ (incompatibilidad ‘traslocada’).

En los patrones ‘Torinel’ y ‘Ademir’ también se presentaron valores bajos de SPAD con la variedad ‘Nonpareil’. Sin embargo, ‘Ademir’ injertado con ‘Soleta’ tuvo valores normales, similares a los de las combinaciones compatibles. Bajos valores de SPAD han sido asociados con una sensibilidad frente a la clorosis férrica en suelos calizos (Jiménez et al., 2008; Pinochet, 2010). En algunas combinaciones clasificadas como compatibles, también se obtuvieron valores bajos de SPAD, no asociados a la incompatibilidad patrón-variedad. En general, esto podría estar relacionado con la adaptación de los árboles a las condiciones de cultivo (suelos pesados y calizos). Una mejor adaptación podría favorecer un mayor vigor y mayores valores de SPAD de los árboles (Ben Yahmed et al., 2016; Mestre et al., 2015; Pereira et al., 2014).

Estos datos concuerdan con otros trabajos en los que no se observó relación entre los valores de SPAD y la incompatibilidad ‘traslocada’ (Neves y Meyer, 2017). En general, los bajos valores de SPAD coinciden con síntomas visuales, pero no siempre es un indicador de incompatibilidad (Picolotto et al., 2012; Zarrouk et al., 2006a).

En este trabajo, todos los híbridos almendro x melocotonero, ‘Adafuel’, ‘Adarcias’ y ‘Nanopac (R-40)’, mostraron buena compatibilidad con las dos variedades injertadas (‘Nonpareil’ y ‘Soleta’), siendo el grupo de patrones que mejor compatibilidad presentan con las variedades de almendro consideradas. En trabajos anteriores también se refiere la buena compatibilidad de los patrones híbridos almendro x melocotonero injertados con almendro (Cambra, 1990; Felipe, 2009; Moreno et al., 1994).

Al igual que para albaricoquero (Capítulo 4), la compatibilidad - incompatibilidad de los patrones ‘Mirobolán’ fue frecuente. Con almendro, en general, la relación es compleja, presentándose casos de incompatibilidad de tres tipos: ‘total’, ‘traslocada’ y ‘localizada’.

En los patrones ciruelo de crecimiento lento, se observaron muy pocos casos de incompatibilidad, siendo los ‘Pollizos de Murcia’ los que presentaron mejor compatibilidad, en general, con las tres variedades estudiadas. Contrariamente, se observó

una peor compatibilidad de los patrones Mirobolán, aunque también algunas combinaciones fueron compatibles, como por ejemplo: ‘Lauranne’ / ‘Ademir’, ‘Soleta’ / ‘Mirobolán B’, y el patrón ‘Adara’ con las tres variedades estudiadas.

También se puede apreciar una buena compatibilidad de los híbridos interespecíficos de ciruelo (‘Damas GF 1869’), otros híbridos con ciruelo (‘Isthara’, ‘PADAC 04-01’, ‘PADAC 99-05’) y de nueva generación (‘Densipac R 20’, ‘Replantpac RR’), con algunas excepciones, como la del patrón híbrido ‘AP-45’ que mostró incompatibilidad ‘traslocada’ con las variedades ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’, y de ‘Aprimed AP-65’ que mostró incompatibilidad ‘localizada’ con la variedad ‘Nonpareil’. Esto confirma la necesidad de evaluar la compatibilidad durante varios años, ya que la incompatibilidad ‘localizada’ del patrón ‘Aprimed AP-65’ fue detectada al tercer año del injerto (análisis macroscópico de sus uniones) a pesar del buen desarrollo en vivero de sus árboles.

VI.4. Bibliografía

- Ben Yahmed, J., Ghrab, M., Ben Mimoun, M.,** 2016. Eco-physiological evaluation of different scion-rootstock combinations of almond grown in Mediterranean conditions. *Fruits* 71, 185–193.
- Bielsa, B., Felipe, A.J., Rubio-Cabetas, M.J., Felipe, A.J., Gómez-Aparisi, J.,** 2016. Rootstock trial of eight GxN interespecific hybrids in almond. *Options Mediterr.* 119, 183–186.
- Cambra, R.,** 1990. ‘Adafuel’, an Almond × Peach hybrid rootstock. *HortScience* 25, 584.
- Ciobotari, G., Brinza, M., Morariu, A., Gradinariu, G.,** 2010. Graft incompatibility influence on assimilating pigments and soluble sugars amount of some pear (*Pyrus sativa*) cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 38, 187–192.
- Cooman, L.D., Everaert, E., Curir, P., Dolci, M.,** 1996. The possible role of phenolics in incompatibility expression in *Eucalyptus gunnii* micrografts. *Phytochem. Anal.* 7, 92-96.
- Darikova, J.A., Savva, Y.A., Vaganov, E.A., Grachev, A.M., Kuznetsova, G.V.,** 2011. Grafts of woody plants and the problem of incompatibility between scion and rootstock. *J. Sib. Fed. Univ.* 1, 54–63.
- Dicenta, F., Egea, J., Martínez-Gómez, P., Sánchez-Pérez, R.,** 2016. Almond Breeding: important issues and challenges for research. *Options Mediterr.* 119, 23–28.
- Dicenta, F., Sánchez-Pérez, P., Batlle, I., Martínez-Gómez, P.,** 2017. Late-blooming cultivar development. En: *Socias i Company, R., Gradizel, T.M. (Eds.), Almond: Botany, Production and Uses.* Editorial CABI. Boston (EEUU), pp. 168–187.
- Duval, H.,** 2015. Use of *Prunus* genetic diversity for peach rootstocks. *Acta Hort.* 277–282.
- Duval, H., Masse, M.,** 2013. Myrotop®, a new almond rootstock tolerant to waterlogging, to *Armillaria* root rot and resistant to root-knot nematodes. VI Int. Symp. Almonds Murcia, Spain, May 27–31, Abstr., Spain, p. 135.
- Errea, P.,** 1998. Implications of phenolic compounds in graft incompatibility in fruit tree species. *Sci. Hortic.* 74, 195–205.
- Errea, P., Treutter, D., Feucht, W.,** 1994. Characterization of flavanol-type polyphenols in apricot cultivars and rootstocks. *Adv. Hort. Sci.* 3, 165–169.
- Espada, J.L., Alonso, J.M., Socías, R.,** 2010. Eficiencia productiva en el almendro. *Rev.*

Frutic. 6, 26–29.

FAOSTAT, 2019. <https://www.faostat.org>. (Acceso 09 Mayo 2019).

Felipe, A.J., 1989. Patrones para frutales de pepita y hueso. Edic. Téc. Eur. Barcelona. pp 181.

Felipe, A., 2009. 'Felinem', 'Garnem', and 'Monegro' almond x peach hybrid rootstocks. HortScience 44, 196–197.

Felipe, A., Carrera, M., Gómez-Aparisi, J., Socias, R., 1997. “Montizo” and “Monpol”, two new plum rootstocks for peaches. Acta Hort. 451, 273–276.

Font i Forcada, C., Reig, G., Giménez, R., Mignard, P., Mestre, L., Moreno, M.Á., 2019. Sugars and organic acids profile and antioxidant compounds of nectarine fruits influenced by different rootstocks. Sci. Hortic. 248, 145–153.

Goldschmidt, E.E., 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. Front. Plant Sci. 5, 727.

Gradziel, T.M., Curtis, R., Socias i Company, R., 2017. Production and growing regions. En: Almond: Botany, Production and Uses (Eds. R Socias i Company y TM Gradziel). 70-86.

Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R., 2014. Plant propagation. Principles and practices, 8th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 921 pp.

Herrero, J., 1951. Studies of compatible and incompatible graft combinations with special reference to hardy fruit trees. J. Hortic. Sci. 26, 186-237.

Iglesias, I., Carbó, J., 2006. Patrones de melocotonero. Situación actual, características y comportamiento agronómico de los portainjertos de melocotonero. Doss. Tècnic. DARP 17, 3-18.

Jiménez, S., Pinochet, J., Abadía, A., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y., 2008. Tolerance response to iron chlorosis of *Prunus* selections as rootstocks. HortScience 43, 304–309.

Llácer, G., Alonso, J.M., Rubio, M.J., Batlle, I., Iglesias, I., Vargas, F.J., Badenes, M.L., Vargas, F.J., Badenes, M.L., 2009. Situación del material vegetal de melocotonero utilizado en España. ITEA 105, 67-83.

Loreti, F., Massai, R., 1990. Los patrones del melocotonero y del almendro: situación actual, problemas y perspectivas. ITEA 9, 73-116.

MAPAMA, 2019. <https://www.mapama.gob.es/es>. (Acceso 10 Mayo 2019).

Massai, R., Loreti, F., 2004. Preliminary observations on nine peach rootstocks grown in a replant soil. Acta Hort. 658, 185–192.

- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Pinochet, J., Moreno, M.Á.,** 2015. Influence of peach-almond hybrids and plum-based rootstocks on mineral nutrition and yield characteristics of “Big Top” nectarine in replant and heavy-calcareous soil conditions. *Sci. Hortic* 192, 475–481.
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Moreno, M.Á.,** 2017. Influence of plum rootstocks on agronomic performance, leaf mineral nutrition and fruit quality of ‘Catherina’ peach cultivar in heavy-calcareous soil conditions. *Spanish J. Agric.* 15 (1), e0901.
- Moreno, M.Á.,** 2004. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the Aula Dei Experimental Station, Zaragoza, Spain. *Acta Hort.* 658, 519–528.
- Moreno, M.Á., Adrada, R., Aparicio, J., Betrán, J.,** 2001. Performance of Sunburst sweet cherry grafted on different rootstocks. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76, 167–173.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1994. Performance of Adafuel and Adarcias as peach rootstocks. *HortScience* 29, 1271–1273.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995a. Adesoto 101, a plum rootstock for peaches and other stone fruit. *HortScience* 30, 1314–1315.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995b. Adara, a plum rootstock for cherries and other stone fruit species. *HortScience* 30, 1316–1317.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995c. Ademir, a myrobalan rootstock for plums. *HortScience* 30, 1475–1476.
- Mosse, B., Herrero, J.,** 1951. Studies on incompatibility between some pear and quince grafts. *J. Hort. Sci.* 26, 238–245.
- Neves, T.R., Meyer, N.A.,** 2017. Graft incompatibility in *Prunus* spp. preceded by SPAD index reduction. *Semin. Ciencias Agrarias* 38, 635–648.
- Pereira, P.S., Fachinello, J.C., Antunes, L.E.C., Campos, Â.D., Pina, A.,** 2014. Graft incompatibility in *Prunus*. *Ciencia Rural* 44, 1519-1526
- Picolotto, L., Schmitz, J.D., Pasa, M.D.S., Bianchi, V.J., Fachinello, J.C.,** 2012. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da cultivar “Maciel” em diferentes porta-enxertos. *Ciencia Rural* 42, 969–974.
- Pinochet, J.,** 2010. Replantpac (Rootpac® R), a Plum–almond hybrid rootstock for replant situations. *HortScience* 45, 299–301.
- Reig, G., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Moreno, M.Á.,** 2018. Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. *Sci. Hortic.* 237, 67–73.

- Reig, G., Salazar, A., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Val, J., Moreno, M.Á.,** 2019. Long-term graft compatibility study of peach-almond hybrid and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums. *Sci. Hortic.* 243, 1–7.
- Reighard, G. and Loreti, F.,** 2008. Rootstock development. En: Layne, D.R. and Bassi, D. (eds) *The Peach: Botany, Production and Uses*. CABI, Wallingford, UK, 193–220.
- Rubio-Cabetas, M.J.,** 2010. Patrones para el cultivo del almendro. *Revista de Fruticultura* 10, 44–55.
- Rubio-Cabetas, M.J., Felipe, A.J., Reighard, G.L.,** 2017. Rootstocks development. En: *Almonds: Botany, Production and Uses*. R. Socias i Company and T.M. Gradziel (Ed.). 209-227.
- Salazar, A.E., Torrents, J., Bordas, M., Val, J., Moreno, M.Á.,** 2018. Graft compatibility for new released *Prunus* rootstocks. *Acta Hort.* 1228, 175–180.
- Socias i Company, R., Gómez-Aparisi, J., Alonso, J.M., Rubio-Cabetas, M.J., Kodad, O.,** 2009. Retos y perspectivas de los nuevos cultivares y patrones de almendro. *ITEA* 105, 99–116.
- Socias i Company, R., Rubio-Cabetas, M.J., Alonso, J.M., Kodad, O., Gómez Aparisi, J.,** 2010. An overview of almond cultivars and rootstocks: Challenges and perspectives. *Options Mediterr.* 214, 205–214.
- Tabuenca, M.C., Moreno, M.Á.,** 1988. Incompatibilidad entre patrón injerto. Comptomamiento de un ciruelo como patrón de distintas especies frutales. *An. Aula Dei* 19, 251–263.
- Zarrouk, O.,** 2006. Compatibilidad patrón-variedad en *Prunus*. Métodos precoces de detección de la incompatibilidad de injerto. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, 240 pp.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gómez-Aparisi, J., Betrán, J.A., Moreno, M.Á.** 2005. Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. *Sci. Hortic.* 106, 502–514.
- Zarrouk, O., Aparicio, J., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2006a. Graft compatibility for new peach rootstocks in nursery. *Acta Hort.* 713, 327–329.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á., Pinochet, J.,** 2006b. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. *HortScience* 41, 1389–1394.
- Zarrouk, O., Testillano, P.S., Risueño, M.C., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y.,** 2010. Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early

detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135, 9–17.

VII. Compatibilidad de variedades de cerezo injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’

Resumen

Las buenas características productivas del patrón ciruelo ‘Adara’ (*P. cerasifera* L.), por su adaptación a suelos pesados y calizos, resistencia a nematodos y a otros problemas del suelo, así como el posible interés del patrón ‘LC-52’ (*P. cerasus* × *P. maackii*) en el área mediterránea, motivó la evaluación de su comportamiento con variedades de cerezo. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el grado de compatibilidad de estos patrones con las variedades de cerezo ‘Aida’, ‘Carmen’, ‘Kordia’, ‘Kovics’, ‘Krupnoplodnaja’, ‘Rita’, ‘Sandor’ y ‘Vera’. Este estudio se desarrolló sobre árboles injertados en viveros experimentales establecidos en la Estación Experimental de Aula Dei (Zaragoza, España). Para determinar los posibles casos de incompatibilidad del tipo ‘traslocada’ se realizaron observaciones visuales en campo durante los primeros períodos vegetativos del árbol, no observándose síntomas para las combinaciones evaluadas. El diagnóstico de la incompatibilidad ‘localizada’ se realizó al tercer año mediante el examen macroscópico de las uniones de injerto y la determinación del posible grado de discontinuidad encontrado en corteza y madera. Se detectó incompatibilidad de tipo ‘localizada’ solo en el caso de la variedad ‘Kordia’ y fallo total del prendimiento de injerto en la variedad ‘Rita’. La buena compatibilidad observada para el conjunto de variedades, confirma el potencial de los dos patrones evaluados y bien adaptados a las condiciones de cultivo del área mediterránea.

Palabras clave: *P. avium*, *P. cerasifera*, *P. cerasus* × *P. maackii*, incompatibilidad ‘localizada’

VII.1. Introducción

El cultivo de cerezo (*P. avium* L.) es de gran importancia en la actualidad, debido a su interés comercial y crecimiento en producción a nivel mundial, pasando de 1,3 millones de toneladas en 1962 a 2,1 millones en 2012 (Bujdoso y Hrotko, 2017; Manzano et al., 2014). En 2016, los países con mayor producción a nivel mundial (en miles de toneladas) fueron Turquía (494), EEUU (301), Irán (200), Italia (131), España (97), Chile (91), Ucrania (81) y Rusia (78) (Bujdoso y Hrotko, 2017). En 2017 se exportaron desde España alrededor de 29.000 toneladas de cereza, lo que supuso un ingreso en torno a los 75 M €. Los destinos más importantes de cereza española fueron Reino Unido (21%), Alemania (14%), Italia (13%), Francia (12%) y Holanda (10%) (MAPAMA, 2019).

En España, la producción de cereza ha experimentado notables subidas y bajadas en producción. En 2018 la producción fue de 94.000 t en 25.000 ha cultivadas. La producción se distribuyó en las comunidades de Aragón (39%), Extremadura (26%), Andalucía (13%) y Cataluña (11%) principalmente, siendo Zaragoza y Cáceres las principales provincias productoras (Rodrigo, 2018; MAPAMA, 2019). El cerezo ocupa el tercer lugar de la superficie cultivada en frutales de hueso y pepita, después del melocotonero y del manzano (Iglesias et al., 2016). Sin embargo, en la actualidad es una alternativa de producción ante la fluctuación del precio de otras frutas. Además, es un cultivo con altas necesidades de horas frío, adaptándose bien a distintas zonas de España. Adicionalmente, es resistente al virus de la sharka (Plum Pox Virus) y se adapta a la economía de pequeñas explotaciones familiares, que se complementan en sus necesidades de recolección con otras especies frutales (Rodrigo y Guerra, 2014).

Entre los problemas que limitan la producción mundial, hay que mencionar enfermedades como el cáncer causado por *Cytospora*, en zonas húmedas y frías, la mancha de la hoja o ‘Cherry leaf spot’ (CLS) causada por *Blumeriella jaapi* (Iezzoni, 2008; Proffer et al., 1988), la mancha gris de la raíz y la podredumbre del fruto o ‘American Brown root’ (*Monilinia fructicola*) en EEUU. En Europa, destaca la podredumbre del fruto o ‘Europe Brown root’ [(*Monilinia laxa* (Aderh. & Ruhl.)], junto a patógenos del suelo como *Phytophthora* y *Armillaria* (Proffer et al., 1988). Hibridaciones inter-específicas con especies tetraploides de *Prunus maackii* en Rusia originaron el cultivar ‘Almaz’ resistente a CLS. Posteriormente, cultivares obtenidos a partir de la hibridación denominada ‘Almaz’ o.p. R1(1) y ‘Gisela 6’ (*P. cerasus* x *P.*

canescens) mostraron también gran resistencia a CLS frente a un amplio rango de cepas de *Coccomyces hiemalis* (Wharton et al., 2003).

En España, entre los factores abióticos de estrés más importantes, se encuentra la susceptibilidad a la clorosis férrica, en suelos calizos con elevado pH. Por ello, tradicionalmente se ha utilizado el patrón ‘Santa Lucía’ (*P. mahaleb* L.), muy tolerante a problemas de clorosis en suelos calizos del área mediterránea. El clon ‘SL 64’ fue seleccionado en la Estación ‘La Grand Ferrade’ de Burdeos (Francia) (Moreno, 2004; Moreno et al., 1996). Posteriormente, se seleccionaron nuevos patrones debido a la necesidad de reducir el vigor de los árboles y disminuir las labores de mantenimiento de las plantaciones, así como mejorar la adaptación a suelos pesados (Bujdoso y Hrotko, 2017; Cantín et al., 2010; Moreno et al., 2001). El patrón ‘MM 9’ seleccionado a partir del cerezo local ‘Masto de Montañana’ (*P. cerasus*) en Aragón y ‘MaxMa 14’ (*P. mahaleb* x *P. avium*) en Estados Unidos, inducen menor vigor que ‘SL 64’ a las variedades injertadas en algunos casos (Espada et al., 2005). El patrón ‘MaxMa 14’ además de inducir un vigor intermedio entre ‘SL 64’ y ‘MM 9’ tiene buena adaptación a suelos calizos (Moreno et al., 2001).

En la actualidad, la selección de patrones ‘enanizantes’ es de gran interés para el cultivo de cerezo. Sin embargo, las características de los suelos del área mediterránea, pueden limitar el uso de estos patrones. Por ejemplo, los patrones Santa Lucía ‘SL 64’ y ‘SL 405’ presentan una elevada mortalidad en suelos pesados, con problemas de drenaje y encharcamiento (Jiménez et al., 2007). En algunos trabajos, el patrón ‘SL 64’ mostró una concentración de nutrientes en hoja por debajo de la óptima, debido a una mala adaptación a suelos pesados y problemas de asfixia de raíces (Hrotkó y Rozpara, 2017; Moreno et al., 1996).

Más recientemente, se han seleccionado nuevos patrones para cerezo. Es el caso del ‘LC-52’ [*P. cerasus* x (*P. cerasus* × *P. maackii*)], conocido como ‘Krymsk 6’, originario de Rusia, y posiblemente más tolerante a condiciones de suelos húmedos que ‘SL 64’ (Maas et al., 2014). Aunque se considera semi-enanizante, no se conoce su comportamiento en plantaciones comerciales en el área mediterránea.

El ciruelo ‘Adara’ (*P. cerasifera*) es un patrón polivalente para distintas especies frutales de hueso, aunque particularmente para cerezo en condiciones de suelos pesados y calizos, con problemas de clorosis y asfixia de raíces (Moreno et al., 1995; Moreno y Tabuenca, 1991). Muestra mejor comportamiento en suelos pesados y con gran contenido de caliza que ‘SL 64’ y ‘Colt’ (Moreno et al., 1996). ‘Adara’ fue seleccionado a partir de

una población de ciruelo Mirobolán (*P. cerasifera* Ehrh.), de polinización libre. Este patrón fue obtenido en la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC), tras los estudios de propagación vegetativa y buena compatibilidad con cerezo y otras especies frutales (Moreno et al., 1995; Moreno et al., 1996). Destaca por su elevada tolerancia a la clorosis férrica, es un patrón vigoroso que induce mayor productividad que ‘SL 64’ y ‘Colt’ (Moreno et al., 1996) y buena calidad al fruto de la variedad injertada (Cantín et al., 2010; Font i Forcada et al., 2017). Debido a las buenas características del patrón ciruelo ‘Adara’, se determinó su compatibilidad con variedades de cerezo húngaras de potencial interés en España (Moreno et al., 2012). Así, las variedades ‘Aida’, ‘Alex’, ‘Carmen’, ‘Kovics’, ‘Krupnoplodnaja’, ‘Rita’, ‘Sandor’ y ‘Vera’ no mostraron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ sobre ‘Adara’ en viveros experimentales.

La compatibilidad patrón-variedad ha sido definida como la formación exitosa de la unión entre ambos componentes de injerto y la supervivencia y desarrollo funcional a largo plazo (Goldschmidt, 2014). La compatibilidad depende de varios procesos bioquímicos y estructurales, como la formación de callo y de un activo sistema vascular (Baron et al., 2019; Martínez-Ballesta et al., 2010; Pina et al., 2012). Por el contrario, la incompatibilidad de injerto es el resultado de una mala formación a nivel de tejidos de la unión y una mala conexión vascular (Errea et al., 2001), lo cual conlleva un deficiente transporte de agua y nutrientes (Zarrouk et al., 2006). Se han definido dos tipos principales de incompatibilidad, la ‘traslocada’ y la ‘localizada’. La incompatibilidad ‘traslocada’ puede ser detectada durante los primeros años tras el injerto. Se caracteriza por la presencia de síntomas visuales como amarilleamiento de hojas y un reducido vigor de los árboles (Moreno et al., 1993; Reig et al., 2019). La incompatibilidad ‘localizada’, es asintomática y puede presentarse varios años después del injerto. Se caracteriza por la presencia de discontinuidad en la madera de la unión, la presencia de lagunas de parénquima no lignificado, dando como resultado la rotura, en ocasiones, de las uniones de injerto (Moreno et al., 2012; Pina y Errea, 2005). La incompatibilidad es más frecuente a medida que aumenta la distancia genética entre variedad y patrón (Gainza et al., 2015). Sin embargo, es posible que se presente en combinaciones con taxones muy cercanos y debido a la incidencia de ciertos virus (Oki, 1987; Reig et al., 2019). Además, un patrón determinado no siempre es compatible con todas las variedades de una misma especie (Dogra et al., 2018). Por lo tanto, el uso de combinaciones entre especies distintas, entre patrón y variedad, aumenta el riesgo de incompatibilidad (Darikova et al., 2011). Debido a que existe un creciente número de selecciones, tanto de patrones como de variedades,

es imprescindible una evaluación en campo, previa al uso comercial de los nuevos patrones.

En este trabajo se han evaluado los síntomas visuales de incompatibilidad de tipo ‘traslocada’, durante los primeros años después del injerto y se ha usado el análisis macroscópico de las uniones, como método de detección de la incompatibilidad ‘localizada’, en variedades de cerezo injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’, en viveros experimentales establecidos en la EEAD-CSIC.

VII.2. Materiales y métodos

VII.2.1. Material vegetal

Las variedades húngaras ‘Aida’, ‘Carmen’, ‘Kavics’, ‘Krupnoplodnaja’ y ‘Sandor’; ‘Kordia’ (República Checa) y ‘Ferrovia’ (Italia), fueron injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’ (Tabla VII-1), en viveros experimentales establecidos en la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) en los inviernos de 2012-2013 y 2014-2015 y 2015-2016. Así, en el presente trabajo, se observaron árboles de dos a cinco años tras el injerto, en condiciones de vivero. Se determinó la presencia o no de síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ durante los 5 años posteriores al injerto. Finalmente, las uniones de injerto fueron serradas y analizadas según las categorías de clasificación (Fig. V-1) descritas por Mosse y Herrero (1951). Los ensayos de este estudio se establecieron en suelos calizos, con un contenido de carbonato cálcico en torno al 30%, caliza activa ~7,5%, pH 8,0 y una textura franco-arcillo-limosa.

Tabla VII-1. Patrones usados en la evaluación de la compatibilidad con variedades de cerezo.

Patrón	Especie	Origen	Referencia
Adara	<i>P. cerasifera</i>	EEAD-CSIC, España	Moreno et al. (1995)
LC-52 (Krymsk® 6)	<i>P. cerasus</i> x (<i>P. cerasus</i> × <i>P. maackii</i>)	KEBS, Rusia	Quero-García et al. (2017)

EEAD= Estación Experimental de Aula Dei; KEBS= Krymsk Experimental Breeding Station.

VII.2.2. Estudio de compatibilidad

Desde el segundo año de crecimiento en vivero, se observaron los árboles injertados para determinar los posibles síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’. La amarillez y ‘abarquillamiento’ de hojas, una reducción drástica o ‘parada’ del crecimiento, y eventualmente, un abultamiento del injerto en la zona de la unión, caracterizan este tipo de incompatibilidad (Hartman et al., 2014). También se puede presentar una gran diferencia de vigor entre la variedad injertada y el patrón (Zarrouk,

2006). Por ello, se midió la altura de los árboles tras el primer año del injerto. El examen macroscópico de las uniones de injerto se llevó a cabo observando uniones de dos y tres años. Para la evaluación de la zona, las uniones fueron serradas en el plano radial-longitudinal y clasificadas de acuerdo a las categorías definidas por Mosse y Herrero (1951). La clasificación de las uniones se hizo según las siguientes categorías (Figura VII-1).

Categoría A = Uniones perfectas. La línea de unión en corteza y madera no es visible o puede ser ligeramente visible.

Categoría B = Buenas uniones. La corteza y madera es continua, aunque la línea de unión en la madera puede ser distinguible debido a una leve involución del cambium en la línea de unión.

Categoría C = Uniones con discontinuidades en corteza. El tejido de corteza entre el patrón y la variedad está separado por una línea marrón oscura con apariencia de corcho.

Categoría D = Las uniones tienen discontinuidades en madera. El tejido de madera de patrón y variedad está separado en varios puntos de la unión, por espacios o lagunas de parénquima no lignificado. El tejido de la corteza generalmente es clasificado como categoría C.

Categoría E = Rupturas en la zona de unión. Observación en campo de árboles rotos o saltados en la zona de la unión.

Durante el examen interno de las uniones de injerto, se midió la circunferencia de la unión, por encima y debajo (~5 cm) de dicha unión y en la misma línea de unión, estimando así el área de la sección del tronco (AST, cm²). Este método permitió buscar relaciones entre el desarrollo del árbol (sección del tronco) y la incompatibilidad.

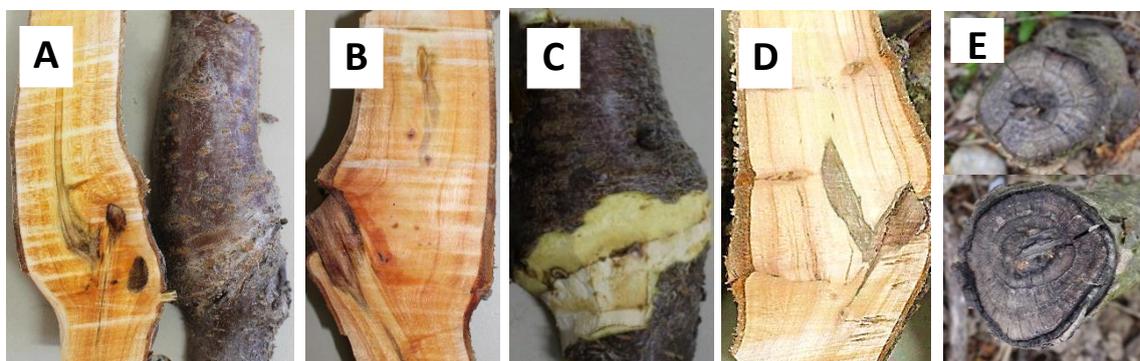


Figura VII-1. Uniones de injerto serradas en el plano radial-longitudinal para su análisis macroscópico. Clasificación en categorías de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).

VII.2.3. Análisis estadístico

Los datos de altura de los árboles, vigor del tronco a 5 cm por encima y debajo de la unión de injerto, y valores de SPAD en hojas de los árboles injertados fueron evaluados mediante un análisis de varianza con el programa SPSS 21.0 (SPSS Inc. Chicago, USA). El análisis de varianza se realizó mediante un ANOVA, usado para determinar diferencias significativas entre combinaciones, y así determinar posibles correlaciones entre altura del árbol, áreas de la sección del tronco, valores de SPAD en hojas y síntomas de incompatibilidad. La comparación de medias fue realizada mediante el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

VII.3. Resultados y discusión

Durante los años de estudio, ninguna de las combinaciones de injerto mostró síntomas de incompatibilidad de tipo ‘traslocada’ (Fig. VII-2).



Figura VII-2. Árboles en vivero de dos años tras el injerto de las variedades de cerezo ‘Kordia’ y ‘Carmen’ injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’, respectivamente.

En el segundo año después del injerto (año 2016), la altura del árbol fue similar para los dos patrones, con la excepción de las variedades ‘Kordia’ y ‘Sandor’ sobre el patrón ‘LC-52’ con árboles más altos que los árboles de las mismas variedades injertadas sobre el patrón ‘Adara’ (Tabla VII-2).

El vigor de los árboles fue estimado a partir del área de la sección del tronco (AST, cm^2) de la variedad injertada a 5 cm por encima de la zona de injerto. Las variedades ‘Kordia’, ‘Ferrovia’, y ‘Krupnoplodnaja’ fueron más vigorosas injertadas sobre el patrón ‘LC-52’ comparado con el patrón ‘Adara’, durante el primer año del injerto.

Al segundo año del injerto, los valores de AST de la variedad injertada fueron superiores en el patrón ‘Adara’, con la excepción de la variedad ‘Krupnoplodnaja’ que lo fue sobre ‘LC-52’. Al tercer año del injerto, el grosor de la variedad injertada (AST, cm²) mostró de manera más clara un mayor efecto del patrón ‘Adara’, frente a ‘LC-52’, con la excepción de la variedad ‘Krupnoplodnaja’ donde no hubo diferencias significativas. De manera general, el efecto sobre el grosor (sección del tronco) de la variedad por parte del patrón ‘Adara’, fue mayor comparado con ‘LC-52’. Ello concuerda con el efecto vigorizante de este patrón cultivado en suelos pesados y calizos (Moreno et al., 1995; Moreno, 2004). Contrariamente, la altura de los árboles a los dos años del injerto, fue significativamente mayor en la mayoría de las variedades sobre el patrón ‘LC-52’, como por ejemplo en las variedades ‘Ferrovia’, ‘Kordia’ y ‘Sandor’, con árboles significativamente más altos respecto al patrón ‘Adara’.

Tabla VII-2. Altura, área de la sección del tronco de la variedad (AST) y valores de SPAD de variedades de cerezo injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’ en condiciones de vivero.

Variedades	Patrón	Altura (m)	AST (cm ²)				SPAD	
			Años				Años	
			2016	2015	2016	2017	2016	2017
Aida	Adara	1,73 a	4,73 a	5,83 a	13,3 b	34,5 a	35,0 a	
	LC-52	1,91 a	4,91 a	6,04 a	10,8 a	32,7 a	36,0 a	
Carmen	Adara	1,49 a	3,64 a	7,24 b	13,7 b	35,4 a	36,7 a	
	LC-52	1,55 a	3,20 a	4,35 a	6,6 a	45,4b	41,8b	
Ferrovia	Adara	1,86 a	3,66 a	8,02b	16,0 b	31,7 a	33,2 a	
	LC-52	2,26 a	5,67 b	7,43 a	10,9 a	37,9b	35,6 a	
Kordia	Adara	1,42 a	3,80 a	7,22 b	15,4 b	32,6 a	34,4 a	
	LC-52	1,97 b	4,37 b	6,83 a	11,5 a	42,8 b	38,6 b	
Kovics	Adara	1,71 a	3,38 a	6,71 a	10,3 b	38,0 b	37,2 a	
	LC-52	2,01 a	2,78 a	5,23 a	7,6 a	33,6 a	36,5 a	
Krupnoplodnaja	Adara	1,54 a	2,67 a	5,93 a	11,5 a	34,6 a	37,7 a	
	LC-52	1,59 a	4,50 b	7,91 b	12,7 a	40,1 b	39,0 a	
Sandor	Adara	1,76 a	5,10 a	9,62 b	19,3 b	34,2 a	35,0 a	
	LC-52	2,21 b	4,73 a	7,20 a	13,4 a	35,8 a	35,7 a	

Para cada variedad, la comparación de medias entre patrones, se ha realizado con el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

Además, los valores de SPAD en todas las combinaciones de injerto estuvieron en rangos normales (Jiménez et al., 2007; Moreno et al., 2012). En algunos casos se observaron diferencias significativas entre patrones. Este fue el caso de las variedades

‘Carmen’, ‘Ferrovía’, ‘Kordia’ y ‘Krupnoplodnaja’, que mostraron valores más elevados sobre ‘LC-52’ que sobre ‘Adara’ durante el segundo año del injerto.

No obstante, en el tercer año del injerto los valores de SPAD fueron similares sobre los dos patrones, excepto ‘Carmen’ y ‘Kordia’ que mostraron valores superiores sobre el patrón ‘LC-52’. Los valores de SPAD, en general, no estuvieron relacionados con la incompatibilidad, aunque en la única combinación incompatible (‘Kordia’ / ‘Adara’), los valores de SPAD fueron inferiores respecto a la misma variedad en la combinación compatible (‘Kordia’ / ‘LC-52’). La escasa correlación entre los valores de SPAD y la incompatibilidad, coincide con otros trabajos en los que dicha relación solo se observó para algunos casos de incompatibilidad de albaricoquero y melocotonero (Reig et al., 2019; Salazar et al., 2018; Zarrouk, 2006).

En la Tabla VII-3 se presenta el desarrollo de las uniones de las combinaciones de tres años de injerto, expresado como área de la sección del tronco en la zona de la unión, por encima (~ 5 cm), en la propia unión y por debajo de la misma (~5 cm), así como también la relación: sección del tronco de la variedad (arriba) / sección del tronco de la unión.

Tabla VII-3. Área de la sección del tronco (AST) por encima y debajo de la unión de injerto (~10 cm) y en la línea de unión de variedades de cerezo injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’, a los 3 años después del injerto.

Variedades	Patrón	AST (cm ²)			Ratio
		arriba	unión	debajo	
Aida	Adara	13,1 b	22,4 a	11,6 a	0,58
	LC-52	10,8 a	21,7 a	10,2 a	0,50
Carmen	Adara	13,7 b	21,8 b	12,6 b	0,63
	LC-52	6,6 a	15,5 a	8,2 a	0,42
Ferrovía	Adara	12,9 b	21,2 b	10,7 b	0,61
	LC-52	10,9 a	17,4 a	8,5 a	0,63
Kordia	Adara	12,8 b	26,6 b	11,9 b	0,48
	LC-52	10,5 a	18,0 a	8,6 a	0,58
Kavics	Adara	10,2 b	19,6 b	13,3 b	0,52
	LC-52	8,4 a	14,2 a	8,0 a	0,59
Krupnoplodnaja	Adara	10,5 a	17,5 a	10,0 a	0,60
	LC-52	12,7 b	21,1 b	10,4 a	0,60
Sandor	Adara	18,5 b	30,5 b	14,9 b	0,60
	LC-52	13,3 a	21,9 a	9,3 a	0,60

Para cada variedad, las medias están separadas por columnas con el test de Tukey al $P \leq 0.05$. Ratio= Relación área de la sección del tronco por encima de la unión / sección del tronco en la unión.

El grosor de la variedad injertada por encima de la unión, en general, fue mayor cuando los árboles estaban injertados sobre el patrón ‘Adara’. No obstante, el AST de la combinación ‘Krupnoplodnaja’ / ‘LC-52’ mostró mayor grosor del tronco que sobre ‘Adara’. Estos resultados coinciden con trabajos anteriores en cuanto al efecto vigorizante del patrón ‘Adara’ (Balducci et al., 2019; Cantín et al., 2010; Moreno et al., 1996). Sin embargo, la altura de árbol entre las combinaciones conformadas por ‘Adara’ y ‘LC-52’, no fue estadísticamente diferente, a excepción de la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’. Sería conveniente confirmar el buen estado sanitario y / o la ausencia de virus en dicha variedad. La variedad ‘Sandor’ sobre ‘Adara’ con buena compatibilidad, también mostró menor grosor de la variedad, frente a ‘LC-52’.

El excesivo grosor de la unión de injerto, algunas veces ha sido descrito como una anomalía relacionada con la incompatibilidad patrón-variedad, debido a una mala formación de la unión de injerto y a un deficiente transporte de agua y nutrientes (Hartman et al., 2014; Reig et al., 2019). Sin embargo, esta anomalía no siempre ha estado asociada a la incompatibilidad de injerto, sino que también podría deberse a una diferencia de vigor de los distintos genotipos componentes del injerto (Moreno et al., 2001).

En general, el grosor de la unión de las variedades injertadas sobre el patrón ‘Adara’ fue mayor frente a los de las variedades injertadas sobre el patrón ‘LC-52’, con la excepción de las variedades ‘Kordia’ y ‘Krupnoplodnaja’, donde los valores fueron superiores para el patrón ‘LC-52’. Además, el grosor de la unión de la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’, fue uno de los valores más bajos de la relación grosor por encima de la unión / sección de la zona unión de injerto, en comparación con el resto de combinaciones.

Las uniones de injerto fueron serradas y clasificadas de acuerdo a las categorías de compatibilidad de Mosse y Herrero (1951). Todas las combinaciones fueron compatibles con la excepción de la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’, donde se observaron uniones clasificadas en la categoría D (incompatibles) y algunas en categoría C (Fig. VII-3). Por el contrario, los resultados de la variedad ‘Kordia’ sobre el patrón ‘LC-52’ coinciden con trabajos previos en los que se menciona su buena compatibilidad (Maas et al., 2014). El resto de variedades evaluadas resultaron compatibles con ambos patrones mostrando uniones de tipo A y B hasta los cinco años después del injerto (Fig. VII-4).



Figura VII-3. Uniones incompatibles de árboles de la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’, tres años después del injerto.

La evaluación de la relación “sección del tronco de la variedad (encima) / sección de la unión” de las distintas combinaciones de injerto coincidió con la incompatibilidad detectada en la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’. Esta combinación mostró el menor valor (0,48) entre todas las combinaciones.



Figura VII-4. Uniones compatibles de árboles de las combinaciones ‘Aida’ / ‘Adara’ (izquierda) y ‘Carmen’ / ‘Adara’, tres años después del injerto.

Aunque el vigor (AST) de la variedad ‘Kordia’, fue similar al de otras variedades injertadas sobre ‘Adara’, durante los tres primeros años del injerto, el bajo valor de la relación: “sección de la variedad / sección de la zona de unión”, pudo estar asociado a la incompatibilidad detectada al serrar sus uniones. Estos datos coinciden con la correlación observada en albaricoquero, donde los valores inferiores a 0,50, se asociaron a casos de incompatibilidad ‘localizada’ (Reig et al., 2018). La diferencia de vigor de dicha combinación sobresale dado que el patrón ‘Adara’ se caracteriza por su tendencia a

mostrar uniones vigorosas. También, ese efecto ha sido mencionado al ser usado como intermediario entre ‘Mayor’ (*P. amygdalus* x *P. persica*) y ‘Mariana 2624’ (*P. cerasifera* x *P. munsoniana*), con la variedad ‘Sweetheart’, siendo esta combinación más vigorosa que la variedad injertada sobre ‘MaxMa 14’ (*P. malaheba* x *P. avium*), P-HL-C’ (*P. avium* x *P. cerasus*) y ‘Gisela 5’ (*P. cerasus* x *P. canescens*) (AST) (Balducci et al., 2019).

Tabla VII-4. Compatibilidad patrón-variedad y examen interno de las uniones de injerto de los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’ injertados con variedades de cerezo.

Variedades	Patrón	Número de árboles			
		Examen macroscópico			
		2 años	3 años	4 años	5 años
Aida	Adara	13 A	5 A; 13 B	6 A	5 A; 5 B
	LC-52	-	9 B	-	-
Carmen	Adara	-	7 A; 9 B	4 A	12 A; 6 B
	LC-52	-	10 B	-	-
Ferrovía	Adara	3 A; 4 B	10 A; 13 B	-	-
	LC-52	-	15 A; 3 B	-	-
Kordia	Adara	4 B; 4 C	13 C; 9 D	-	-
	LC-52	-	2 A; 13 B	-	-
Kovics	Adara	6 A; 4 B	7 A; 2 B	8 A; 3 B	15 A
	LC-52	-	5 A; 5 B	-	-
Krupnoplodnaja	Adara	-	11 A; 4 B	5 A; 3 B	20 A
	LC-52	-	5 A; 3 B	-	-
Rita	Adara	-	12 A; 4 B	9 A	6 A
	LC-52	-	-	-	-
Sandor	Adara	-	15 B	5 A; 4 B	11 A; 2 B
	LC-52	-	9 A	-	-
Vera	Adara	-	-	9 A	18 A; 1 B
	LC-52	-	6 A	-	-

Categorías A, B, C, D y E: clasificación del grado de compatibilidad ‘localizada’ de acuerdo a Mosse y Herrero (1951).

Aunque la diferencia de grosor del tronco entre la variedad y el patrón podría estar asociada a una diferencia muy acusada de vigor entre los dos componentes de la unión de injerto (Moreno et al., 1995; Moreno et al., 2001), también podría estar asociada a una acumulación de carbohidratos en la variedad, debido a una mala conexión vascular (Reig et al., 2018, 2019).

En resumen, el patrón ‘LC-52’ resultó compatible con todas las variedades injertadas, a excepción de ‘Rita’, en la que no prendió del injerto. En la variedad ‘Vera’,

también destacó una elevada mortalidad de árboles sobre dicho patrón frente al resto de variedades.

En la Tabla VII-4 se muestran los resultados del análisis macroscópico de uniones de dos, tres, cuatro y cinco años tras el injerto. La buena compatibilidad de los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’ con las variedades húngaras ‘Aida’, ‘Carmen’, ‘Kavics’, ‘Krupnoplodnaja’, ‘Rita’, ‘Sandor’ y ‘Vera’, así como con la variedad italiana ‘Ferrovia’ coincide con trabajos anteriores en los que se evaluó su comportamiento en vivero. En el caso de Adara (Moreno et al., 2012), dicha compatibilidad ha podido ser confirmada en un mayor periodo de tiempo. Sin embargo, la variedad ‘Kordia’ mostró discontinuidad de la unión (incompatible) injertada sobre ‘Adara’, y la variedad ‘Rita’ fallo del prendimiento de injerto sobre ‘LC-52’. El cultivo de cerezo es muy sensible a virus como Prune Dwarf Virus (PDV) y Prunus Necrotic Ringspots Virus (PNRSV) (Hrotkó y Rozpara, 2017), y los patrones generalmente usados para cerezo tienen distintos grados de susceptibilidad hacia estos virus. De igual manera, los patrones ‘Krymks 5’ (*P. fruticosa* x *P. lannesiana*) y ‘Krymks 6’ [*P. cerasus* x (*P. cerasus* x *P. maackii*)] son hipersensibles a PDV y PMRSV. Sin embargo, son más tolerantes a asfixia de raíces en suelos pesados, que muchos de los patrones tradicionalmente usados como ‘Mazzard’, ‘Mahaleb’ y ‘Colt’ (Long y Kaiser, 2010). La posible incidencia de virus en la manifestación de la incompatibilidad (Oki, 1987), y la susceptibilidad a virus de los patrones cerezo, plantea la necesidad de confirmar el buen estado sanitario de las variedades ‘Kordia’ y ‘Rita’.

VII.4. Bibliografía

- Balducci, F., Capriotti, L., Mazzoni, L., Medori, I., Albanesi, A., Giovanni, B., Giampieri, F., Mezzetti, B., Capocasa, F.,** 2019. The rootstock effects on vigor, production and fruit quality in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *J. Berry Res.* 9, 249-265.
- Baron, D., Esteves Amaro, A.C., Pina, A., Ferreira, G.,** 2019. An overview of grafting re-establishment in woody fruit species. *Sci. Hortic.* 243, 84–91.
- Bujdoso, G., Hrotko, K.,** 2017. Cherry production. En: *Cherries: Botany, Production and Uses*; Quero-García, J., Iezzoni, A., Pulawska, J., Lang, G.A., Eds.; CABI: Boston, MA, USA, pp. 1–13.
- Cantín, C.M., Pinochet, J., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2010. Growth, yield and fruit quality of “Van” and “Stark Hardy Giant” sweet cherry cultivars as influenced by grafting on different rootstocks. *Sci. Hortic.* 123, 329–335.
- Darikova, J.A., Savva, Y.A., Vaganov, E.A., Grachev, A.M., Kuznetsova, G.V.,** 2011. Grafts of woody plants and the problem of incompatibility between scion and rootstock (a review). *J. Sib. Fed. Univ. Biol.* 1, 54–63.
- Dogra, K., Kour, K., Kumar, R., Bakshi, P., Kumar, V.,** 2018. Graft-incompatibility in Horticultural Crops. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 7, 1805–1820.
- Errea, P., Garay, L., Marín, J.A.,** 2001. Early detection of graft incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca*) using in vitro techniques. *Physiol. Plant.* 112, 135–141.
- Espada, J.L., Romero, J., Segura, J.,** 2005. Resultados de un ensayo de variedades y patrones de cerezo. *ITEA* 101, 373–384.
- Font i Forcada, C., Pinochet, J., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2017. Effect of eight different rootstocks on agronomic and fruit quality parameters of two sweet cherry cultivars in Mediterranean conditions. *Acta Hort.* 1161, 315–320.
- Gainza, F., Opazo, I., Muñoz, C.,** 2015. Graft incompatibility in plants: Metabolic changes during formation and establishment of the rootstock/scion union with emphasis on *Prunus* species. *Chil. J. Agric. Res.* 75, 28–34.
- Goldschmidt, E.E.,** 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Front. Plant Sci.* 5, 727.
- Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R.,** 2014. *Plant propagation. Principles and practices*, 8th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 921 pp.

- Herrero, J.**, 1951. Studies of compatible and incompatible graft combinations with special reference to hardy fruit trees. *J. Hortic.Sci.* 26 (3),186–237.
- Hrotkó, K., Rozpara, E.**, 2017. Rootstocks and improvement, En: Quero-García, J., Lezzoni, A., Puławska, J., Lang, G. (Eds.), *Cherries: Botany, Production and Uses*. Emma McCann, Boston, USA, pp. 119–125.
- Iezzoni, A.F.**, 2008. Cherries. En: Hancock JF (Ed). *Temperate fruit crop breeding*. Springer, Berlin. pp. 151–175.
- Iglesias, I., Bonany, J., Vilardell, P., Ruíz, S.**, 2016. El cultivo de cereza en España: tecnología de producción, consumo e intercambios comerciales. *Rev. Frutic.* 45, 7-39.
- Jiménez, S., Pinochet, J., Gogorcena, Y., Betrán, J.A., Moreno, M.A.**, 2007. Influence of different vigour cherry rootstocks on leaves and shoots mineral composition. *Sci. Hortic.* 112, 73–79.
- Long, L.E., Kaiser, C.**, 2010. Sweet cherry rootstocks for the Pacific Northwest. A Pacific Northwest Publication, PNW 619, 1–8.
- Maas, F.M., Steeg, P.A., Van Der, H.**, 2014. Evaluation of Krymsk®5 (VSL-2) and Krymsk®6 (LC-52) as rootstocks for sweet cherry ‘Kordia.’ *Acta Bot. Bras.* 5, 531–536.
- Manzano, M.A., Bañuls, P., Sánchez, M.J.S., Gragera, F.P., y Corrales, M.L.**, 2014. Programa de mejora genética de cerezas en el Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX-La Orden). *Rev. Frutic.* 38, 42-55.
- Martínez-Ballesta, M.C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M.**, 2010. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Sci. Hortic.* 127, 112-118.
- Moreno, M.Á.**, 2004. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the Aula Dei Experimental Station, Zaragoza, Spain. *Acta Hort.* 658, 519–528.
- Moreno, M.Á., Adrada, R., Aparicio, J., Betrán, A.**, 2001. Performance of “Sunburst” sweet cherry grafted on different rootstocks. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 76, 167–173.
- Moreno, M.Á., Jiménez, S., Gogorcena, Y., Lasarte, L., Gil, C.M., Szügyi, S.**, 2012. Compatibilidad de variedades de cerezo húngaras sobre Adara y otros patrones *Prunus*. *Actas de Horticultura* 60, 480–482.

- Moreno, M.Á., Moing, A., Lansac, M., Gaudillere, J.P., Salesses, G.,** 1993. Peach/myrobolan plum graft incompatibility in the nursery. *J. Hortic. Sci.* 68, 705–714.
- Moreno, M.Á., Montañés, L., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1996. The performance of Adara as a cherry rootstock. *Sci. Hortic.* 65, 85–91.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C.,** 1991. El patrón ciruelo ‘Adara’: su comportamiento con variedades de cerezo y de otras especies frutales. *ITEA* 87, 25–35.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995. Adara, a plum rootstock for cherries and other stone fruit species. *HortScience* 30, 1316–1317.
- Mosse, B., Herrero, J.,** 1951. Studies on incompatibility between some pear and quince grafts. *J. Hort. Sci.* 26, 238–245.
- Oki, W.R.,** 1987. Plum rootstocks. En: R.F. Carlson (ed.) *Rootstocks for fruit crops*. Wiley, New York, USA. pp. 321-360.
- Pina, A., Errea, P.,** 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. *Sci. Hortic.* 106, 1–11.
- Pina, A., Errea, P., Martens, H.J.,** 2012. Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. *Sci. Hortic.* 143, 144–150.
- Proffer, T.J., Jones, A.L., Perry, R.L.,** 1988. Testing of cherry rootstocks for resistance to infection by species of *Armillaria*. *Plant Dis.* 72, 488–490.
- Quero-Garcia, J., Schuster, M., López-Ortega, G., Charlot, G.,** 2017. Sweet Cherry varieties and Improvement. En: Quero-Garcia, J. (Editeur), Lezzoni, A. (Editeur), Pulawska, J. (Editeur), Lang, G. (Editeur), dir., *Cherries: Botany, Production and Uses* (p. 60-94). Boston, USA: CABI. 551 p.
- Reig, G., Salazar, A., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Val, J., Moreno, M.Á.,** 2019. Long-term graft compatibility study of peach-almond hybrid and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums. *Sci. Hortic.* 243, 392–400.
- Reig, G., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Moreno, M.Á.,** 2018. Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. *Sci. Hortic.* 237, 67–73.
- Rodrigo, J.,** 2018. Situación actual, innovación varietal y tendencias del cultivo del cerezo. *Vida Rural*, Junio, 34–38.

- Rodrigo, J., Guerra, M.E.**, 2014. El cerezo y el ciruelo. En: La fruticultura del siglo XXI en España. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA), Fundación Cajamar, pp. 107–122.
- Salazar, A.E., Torrents, J., Bordas, M., Val, J., Moreno, M.A.**, 2018. Graft compatibility for new released *Prunus* rootstocks. Acta Hort. 1228, 175–180.
- Wharton P.S., Iezzoni, A., Jones, A.L.**, 2003. Screening of cherry germplasm for resistance to leaf spot. Plant Dis. 87, 471–477.
- Zarrouk, O.**, 2006. Compatibilidad patrón-variedad en *Prunus*. Métodos precoces de detección de la incompatibilidad de injerto. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, Zaragoza. España. 240 pp.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., Pinochet, J.**, 2006. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. HortScience 41, 1389–1394.

VIII. DISCUSIÓN GENERAL

La constante renovación varietal y los nuevos patrones en proceso de selección en la industria frutícola, ponen de manifiesto la importancia de los trabajos de evaluación en el marco de la mejora genética aplicada. La mejora de variedades se centra en aspectos productivos como la obtención de variedades de floración tardía, con menor requerimiento de horas frío, con diferentes épocas de maduración y con características organolépticas específicas de sus frutos (Cantín et al., 2009a; 2009b; 2010; Warschefsky et al., 2016). La mejora genética de patrones, se centra en la búsqueda de genotipos que modifiquen el vigor de las variedades injertadas (Jiménez et al., 2007), que se adapten a los estreses bióticos, como la resistencia a enfermedades (*Armillaria mellea*, *Rosellinia necatrix*, etc.) y patógenos (nematodos, etc.) del suelo, y al estrés abiótico, como la tolerancia a la sequía, a la asfixia de raíces y a la clorosis férrica en suelos pesados y calizos, entre otras características (Gainza et al., 2015; Moreno et al., 2008; Zarrouk et al., 2005).

Los patrones y variedades requieren ser compatibles entre sí, es decir, conformar una unidad productiva armónica y de larga vida productiva después del injerto. Para ello, es imprescindible la evaluación de la compatibilidad de injerto en condiciones de vivero y plantaciones experimentales (Reig et al., 2018; Salazar et al., 2018; Zarrouk et al., 2006). Por ello, en este trabajo, se evalúan patrones de distintos grupos y base genética diversa, algunos de reciente introducción en el mercado y otros de nueva generación y que también requieren ser evaluados.

En el caso del ciruelo japonés (*P. salicina*), los patrones evaluados presentaron, en general, buena compatibilidad con las variedades estudiadas ('Angeleno' y 'Golden Japan'). La compatibilidad de ciruelo japonés con los patrones híbridos inter-específicos de ciruelo y con los híbridos de almendro x melocotonero evaluados, concuerda con estudios anteriores (Moreno et al., 1994; Moreno y Cambra, 1994; Zarrouk, 2006).

Aunque la incompatibilidad 'traslocada' ha sido descrita en melocotonero con síntomas como el 'amarilleamiento' y 'enrojecimiento' de hojas, defoliación precoz y una parada drástica del crecimiento (Errea et al., 2001; Moreno et al., 1993; Moreno et al., 1995a; Zarrouk, 2006), en el caso del patrón 'AP-45' injertado con la variedad de ciruelo japonés 'Angeleno', solo produjo una reducción del crecimiento en la variedad. De manera similar, la variedad 'Golden Japan', presentó síntomas de manera leve, es decir,

no se observó ‘enrojecimiento’ de tallos y hojas, sino un ‘amarilleamiento’ más cercano a una leve clorosis de las hojas (Reig et al., 2019).

Por otra parte, se observó una sintomatología similar a la denominada ‘Prune Brown line’ (Andrews y Serrano-Márquez, 1993; Kommineni y Ramsdell, 1997), especialmente en la variedad ‘Golden Japan’ injertada sobre patrones del grupo Mirobolán (*P. cerasifera*) y Mariana (*P. cerasifera* x *P. salicina*). Se caracteriza por una línea de puntos necróticos de color marrón en la zona de la unión de injerto y, en algunos casos, podría ocasionar discontinuidad y ruptura de la unión (Hoy y Mircetich, 1984; Kommineni y Ramsdell, 1997). Aunque esta anomalía ha sido relacionada con la presencia del virus ‘Tomato ringspot virus’ o TomRSV (Andrews y Serrano-Márquez, 1993), este virus no ha sido detectado nunca en la zona de estudio (Cambra et al., 2001; Rodrigo y Guerra, 2014). Sería interesante la realización de nuevos estudios que incluyan la experimentación con este virus y estudiar su posible relación con el fenómeno de la incompatibilidad de injerto.

En el caso de las variedades de albaricoquero (*P. armeniaca*) evaluadas (‘Moniquí’ y ‘Portici’), se pudo detectar únicamente la incompatibilidad del tipo ‘localizada’, a partir del tercer año de injerto. Sin embargo, varios de los casos de incompatibilidad correspondieron a uniones con siete años de injerto. Esto indica que, en albaricoquero, se requiere mayor tiempo de evaluación de la compatibilidad patrón-variedad. La ausencia de casos de incompatibilidad del tipo ‘traslocada’ en combinaciones con albaricoquero coincide con estudios anteriores (Dimitrova y Marinov, 2002; Hernández et al., 2010).

Aunque otros trabajos han mostrado buena compatibilidad de algunos patrones ‘Mirobolán’ (*P. cerasifera*) injertados con variedades húngaras de albaricoquero (Dimitrova y Marinov, 2002), en este estudio, se ha podido corroborar la incompatibilidad del tipo ‘localizada’ de los patrones Mirobolán injertados con las variedades de albaricoquero consideradas (Reig et al., 2018; Zarrouk, 2006). Por ello, en los programas de selección de patrones para albaricoquero, se recomienda la búsqueda de nuevos materiales con distinta base genética, como algunos híbridos inter-específicos de ciruelo que han mostrado mejor compatibilidad.

Por otra parte, hasta ahora, se ha podido observar una buena compatibilidad de algunos patrones de nueva generación como los híbridos inter-específicos de ciruelo y el

patrón ‘Nanopac R-40’ (híbrido almendro x melocotonero) con las variedades de albaricoquero estudiadas. Así, los híbridos inter-específicos de ciruelo ‘Aprimed AP-65’ [(*P. armeniaca* × *P. cerasifera*) × *P. besseyi*], ‘AP-45’ [(*P. besseyi* × *P. salicina*) × *P. armeniaca*], y ‘Densipac R-20’ (*P. besseyi* × *P. cerasifera*) presentaron uniones compatibles al ser examinadas a los tres años del injerto. No obstante, se recomienda continuar la evaluación durante más años, dado los casos de incompatibilidad retrasada en albaricoquero (Cambra y Cambra, 1973; Reig et al., 2018).

Los patrones ciruelo de crecimiento lento (*P. insititia* y *P. domestica*), como ‘PM 105 AD’, ‘RC GF 1380’ o ‘Torinel’, mostraron buena compatibilidad con albaricoquero. Dentro del grupo de los patrones compatibles, algunos mostraron diferencias significativas de vigor, expresado como área de la sección del tronco (AST) de la variedad injertada, comparados con los patrones incompatibles. Sin embargo, dicho vigor, no siempre estuvo relacionado con la incompatibilidad, como se observó en el caso del patrón ‘AP-45’, con menor vigor. Por el contrario, algunos patrones incompatibles también mostraron valores altos de AST, como en el caso de ‘Replantpac RR’, lo cual confirma que el vigor de la variedad injertada no necesariamente está relacionado con la incompatibilidad de injerto en albaricoquero (Reig et al., 2018).

Estudios previos han referido que el mayor grosor de la unión de injerto puede ser una anomalía relacionada con la incompatibilidad (Hartman et al., 2014; Irisarri et al., 2016). Sin embargo, las diferencias de vigor de las variedades injertadas también pueden ser un efecto del patrón, más o menos vigoroso, sobre la variedad injertada (Moreno et al., 2001).

En cuanto a la detección temprana de la incompatibilidad de injerto en condiciones de vivero, la relación entre el vigor de la variedad y el de la unión de injerto, expresado como área de la sección del tronco (AST), en árboles de tres años del injerto, tampoco presentó relación con la incompatibilidad, especialmente en los patrones híbridos inter-específicos de ciruelo, injertados con la variedad ‘Moniquí’. En estudios anteriores, en casos de incompatibilidad de la variedad ‘Moniquí’ sobre patrones Mirobolán y Mariana, dicha relación mostró valores inferiores a 0,80 (Reig et al., 2018). Sin embargo, en este estudio, tanto las combinaciones compatibles como incompatibles presentaron valores similares, sin apreciarse una relación clara con la incompatibilidad en árboles de tres años de injerto. Tampoco se apreció una relación de este parámetro con la incompatibilidad patrón-variedad de algunos patrones ‘Mirobolán’ injertados con variedades de

albaricoquero. No obstante, en combinaciones con 7 años de injerto, esta relación fue más evidente, siendo las combinaciones incompatibles, en general, las que presentaban menores valores (Reig et al., 2018).

Los valores de SPAD en hojas, durante los dos primeros años después del injerto, tampoco tuvieron relación con la manifestación de la incompatibilidad de injerto en albaricoquero. Este comportamiento revela la dificultad para la detección temprana de la incompatibilidad ‘localizada’, que al no presentar síntomas visuales, ni diferencias de SPAD en los primeros años, obliga a la evaluación en condiciones de campo a más largo plazo, y serrado de uniones de injerto para examinar su estructura interna (Moreno et al., 2012; Reig et al., 2018). Al comparar el comportamiento de las variedades ‘Moniquí’ y ‘Portici’, se confirma que ‘Moniquí’ es una variedad ‘exigente’ en cuanto a la compatibilidad (Crossa-Raynaud y Audergon, 1987). No obstante, ‘Portici’ también podría ser considerada como exigente, ya que en algunos patrones como ‘Aprimed AP-65’, ‘Replantpac RR’, ‘PM 94 AD’ y ‘PM 137 AD’ se pudo observar una ‘incompatibilidad total’, es decir sin prendimiento de las yemas injertadas.

En albaricoquero, la frecuencia de los casos de incompatibilidad sobre patrones de los tres grupos estudiados (mirobolán, híbridos inter-específicos de ciruelo e híbridos almendro x melocotonero), revela la problemática para esta especie (Egea y Ruiz, 2014; Irisarri et al., 2017; Pina y Errea, 2005; Reig et al., 2018; Salazar et al., 2018).

En el caso de las variedades de nectarina (*P. persica*) evaluadas (‘Big Top’ y ‘Summergrand’), la incompatibilidad de injerto observada correspondió a los dos tipos principales antes mencionados (‘traslocada’ y ‘localizada’). En este estudio, se usó como referencia el patrón ‘Damas GF 1869’ injertado con la variedad ‘Summergrand’. La incompatibilidad ‘traslocada’ de esta combinación ya ha sido mencionada anteriormente (Moing y Salesses, 1988; Zarrouk et al., 2006). La incompatibilidad ‘traslocada’ también se manifestó con claridad en el patrón híbrido inter-específico de ciruelo ‘AP-45’ [(*P. besseyi* x *P. salicina*) x *P. armeniaca*] con base genética de distintas especies. No obstante, algunos estudios mostraron buena compatibilidad de variedades de melocotonero (‘Flavorcrest’ y ‘Loadel’) injertadas sobre el patrón ‘Hiawatha’ (*P. besseyi* x *P. salicina*) (Weibel et al., 2003), a pesar de incluir la especie *P. besseyi* que, en general, es incompatible con melocotonero (Layne, 1987). Zarrouk et al. (2006) también detectaron incompatibilidad ‘traslocada’ en la variedad ‘Summergrand’ sobre patrones con

base genética de la especie *P. salicina*, como en el caso de los patrones ‘Bruce’ (*P. salicina* x *P. angustifolia*) y ‘Evrca’ [(*P. besseyi* x *P. salicina*) x *P. cerasifera*].

A diferencia del genotipo ‘AP-45’, el patrón ‘Aprimed AP-65’ [(*P. armeniaca* x *P. cerasifera*) x *P. besseyi*], no mostró incompatibilidad con melocotonero. De igual manera, el patrón ‘Densipac R-20’ (*P. besseyi* x *P. cerasifera*) tampoco mostró incompatibilidad ‘traslocada’ ni ‘localizada’. Sin embargo, estudios previos mostraron la incompatibilidad de ‘Summergrand’ con el patrón ‘Evrca’ [(*P. besseyi* x *P. salicina*) x *P. cerasifera*] de similar base genética. La buena compatibilidad del patrón ‘Isthara’ [(*P. cerasifera* x *P. salicina*) x (*P. domestica* x *P. persica*)] con dicha variedad coincidió con resultados anteriores (Zarrouk et al., 2006).

En general, los patrones con base genética de las especies *P. besseyi* y *P. salicina* han sido considerados como incompatibles con variedades de melocotonero y nectarina (Weibel et al., 2003). Sin embargo, Zarrouk et al. (2006) mencionaron la buena compatibilidad del patrón ‘Hiawata’ (*P. besseyi* x *P. salicina*) con la variedad ‘Summergrand’. Los trabajos con patrones de las especies *P. salicina* y *P. cerasifera* injertados con variedades de nectarina (Moing y Salesses, 1988; Moreno et al., 1993; Zarrouk et al., 2006), demuestran la necesidad de la evaluación previa.

Además, se demuestra que tanto la especie como el genotipo específico influyen en la incompatibilidad de injerto (Ciobotari et al., 2010; Darikova et al., 2011; Hartman et al., 2014; Zarrouk et al., 2006). Por ejemplo, en el caso de los patrones *P. domestica* ‘Constantí 1’ y ‘RC GF 1380’, sólo ‘Constantí 1’ fue compatible con las variedades ‘Big Top’ y ‘Summergrand’, mientras que con el patrón ‘RC GF 1380’ se observaron los dos tipos de incompatibilidad, la del tipo ‘traslocada’ con ‘Summergrand’ y la ‘localizada’ con ‘Big Top’.

Por otra parte, con las variedades de nectarina estudiadas (‘Big Top’ y ‘Summergrand’), se confirma la buena compatibilidad que presentan, en general, los patrones Pollizos de Murcia (*P. insititia*), así como algunos ciruelos *P. domestica* (‘Constantí 1’ y ‘Penta’), tanto por la ausencia de síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’ como al examinar la estructura interna de sus uniones de injerto. La mayoría de uniones de dichas combinaciones fueron clasificadas en las categorías A y B, lo cual demuestra el gran potencial de estos patrones para melocotonero (Moreno et al., 1995c).

Por otra parte, se pudo apreciar que la relación del vigor (AST) de la variedad por encima de la unión / vigor de la zona de unión, fue inferior a 0,40 para los casos de incompatibilidad, tanto los del tipo ‘traslocada’ como ‘localizada’. Por ello, este parámetro, para variedades de nectarina, podría ayudar en la detección temprana de la incompatibilidad, sobre todo la de tipo ‘localizada’ que es asintomática y requiere más tiempo para su detección. En el caso de la incompatibilidad del tipo ‘traslocada’, se vió asociada a síntomas visuales desde el primer año después de realizado el injerto, en concordancia con estudios previos (Zarrouk, 2006; Zarrouk et al., 2006).

En el caso de las variedades de almendro (*P. dulcis*) evaluadas (‘Lauranne’, ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’), también se pudieron detectar los dos tipos más generales de incompatibilidad de injerto, la ‘traslocada’ y la ‘localizada’, en algunos de los patrones utilizados. También se observó el tipo de incompatibilidad ‘total’ en los patrones ‘Constantí 1’ y ‘San Julián A’, con alguna de las variedades injertadas. Por ejemplo, la variedad ‘Lauranne’ mostró fallo del prendimiento del injerto sobre el patrón ‘Constantí 1’ y las variedades ‘Lauranne’ y ‘Nonpareil’ sobre ‘San Julián A’. Ninguno de los dos patrones tuvo fallos de prendimiento de injerto con la variedad ‘Soleta’.

Algunos patrones ciruelo del grupo *P. insititia*, presentaron incompatibilidad ‘localizada’ tras un desarrollo normal del árbol, sin una sintomatología visual previa de incompatibilidad. Aunque los patrones Pollizo de Murcia (*P. insititia*) mostraron, en general, buena compatibilidad con las variedades de almendro, el patrón Pollizo ‘PM 105 AD’ mostró incompatibilidad ‘localizada’ con las variedades ‘Nonpareil’ y ‘Soleta’ y ‘PM 44 AD’ con la variedad ‘Lauranne’.

Por el contrario, otros ciruelos como ‘Constantí 1’ (*P. domestica*), mostraron síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ con la variedad ‘Lauranne’, pero no con ‘Soleta’. Esto permite apreciar una mayor variación en la relación de compatibilidad de estos patrones con variedades de almendro, tal como se observó con variedades de nectarina sobre algunos patrones ciruelo (Zarrouk et al., 2006).

En el grupo de los ciruelos denominados de ‘crecimiento lento’ (*P. insititia* y *P. domestica*) la reducción del vigor de los árboles, expresado como AST, no estuvo relacionada, en general, con la incompatibilidad ‘localizada’, dado que esta incompatibilidad es asintomática (Moreno et al., 1993; Zarrouk et al., 2006). No obstante, las variedades ‘Lauranne’ y ‘Soleta’ injertadas sobre los patrones ‘PM 44 AD’, ‘PM 150

AD' y 'Penta' mostraron una reducción de vigor en comparación con el resto de patrones de este grupo. Las combinaciones con dicha reducción de vigor, podrían requerir mayor tiempo de evaluación. Este podría ser el caso de 'PM 105 AD' injertado con 'Lauranne' el cual, durante los dos años posteriores al injerto, no mostró síntomas visuales de incompatibilidad. Sin embargo, la incompatibilidad 'localizada' de dicho patrón con las variedades 'Nonpareil' y 'Soleta', podría implicar más tiempo de evaluación también para 'Lauranne'.

De igual forma, se presentó una variabilidad en la manifestación de la incompatibilidad de injerto al observar el comportamiento del patrón 'San Julián A', injertado con las distintas variedades. Dicho patrón fue compatible con la variedad de almendro 'Soleta', mostrando buen prendimiento del injerto y uniones de dos años clasificadas en las categorías B y C (consideradas compatibles en la práctica). Contrariamente, mostró elevado porcentaje de fallo del prendimiento del injerto con las variedades 'Lauranne' y 'Nonpareil'. Esta variación de la compatibilidad, según la variedad injertada, ha sido mencionada en albaricoquero, nectarina y almendro (Reig et al., 2018; Salazar et al., 2018; Zarrouk et al., 2006).

En almendro, la incompatibilidad de injerto se presentó en patrones de los distintos grupos de ciruelo, tanto los de las especies *P. insititia*, *P. domestica* y *P. cerasifera*, como en algunos híbridos inter-específicos de ciruelo. Sin embargo, es destacable la buena compatibilidad mostrada por las variedades 'Nonpareil' y 'Soleta' injertadas sobre algunos patrones híbridos inter-específicos como 'Aprimed AP-65', 'Densipac R-20', 'Replantpac RR' y 'PADAC 04-01'. Al examinar sus uniones, fueron clasificadas en las categorías A, B y C, es decir, compatibles en la práctica. Dentro de este grupo de patrones sobresalieron 'Densipac R-20' y 'Replantpac RR', injertados con 'Nonpareil' y 'Soleta', al mostrar uniones perfectas (A, B), sin discontinuidades en corteza ni en madera.

La recurrente incompatibilidad de injerto con los patrones 'Mirobolán' (Felipe, 1989; Rubio-Cabetas et al., 2017) concuerda con los resultados de este trabajo. Aunque algunos patrones Mirobolán (Myrotop®, INRA), se han mencionado con buena compatibilidad con 'Lauranne' y 'Nonpareil' (Duval y Masse, 2013), en el presente estudio varios mirobolanes resultaron incompatibles con dichas variedades. Además, la incompatibilidad tanto 'traslocada' como 'localizada' del mirobolán 'Ademir' (*P. cerasifera*) con 'Nonpareil' y 'Soleta', contrasta con la buena compatibilidad detectada

con ‘Lauranne’. Aunque se ha observado la incompatibilidad del tipo ‘total’ y ‘traslocada’ con alguna de las variedades evaluadas, será necesario completar el análisis macroscópico de las uniones de injerto en numerosas combinaciones, para evaluar la posible incidencia de la incompatibilidad ‘localizada’, a más largo plazo.

En el caso de las variedades de cerezo (*P. avium*), la compatibilidad de injerto de los dos patrones evaluados (‘Adara’ y ‘LC-52’), ha sido muy buena con la excepción de dos combinaciones: ‘Kordia’ / ‘Adara’ y ‘Rita’ / ‘LC-52’.

En la mayoría de las combinaciones estudiadas, se pudo apreciar un desarrollo normal de los árboles injertados y una ausencia de síntomas de incompatibilidad ‘traslocada’ durante los tres años de estudio. El buen comportamiento en vivero de las variedades injertadas sobre ‘Adara’ concuerda con trabajos anteriores (Moreno et al., 2012; Moreno et al., 1996). Además, se observó un buen desarrollo de los árboles sobre los dos patrones estudiados.

En ausencia de síntomas visuales de incompatibilidad, la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’ mostró incompatibilidad ‘localizada’, tras el serrado de las uniones de los árboles de tres años de injerto. Sin embargo, la combinación ‘Kordia’ / ‘LC-52’ fue compatible, en concordancia con trabajos previos (Maas et al., 2014). De igual manera, la compatibilidad difirió con la variedad ‘Rita’, la cual fue compatible sobre el patrón ‘Adara’, pero mostró incompatibilidad de tipo total, con fallo de prendimiento en todos los árboles, sobre el patrón ‘LC-52’.

La buena adaptación de ‘Adara’ a las condiciones mediterráneas, por su gran tolerancia a la asfixia radicular y a la clorosis férrica en suelos pesados y calizos, resistencia a nematodos y patógenos del suelo (Moreno, 2004; Moreno et al., 1996) concuerda con su buen comportamiento en vivero con las variedades estudiadas. De igual manera, los resultados en vivero de las variedades injertadas sobre el patrón ‘LC-52’ son de interés, por su buena adaptación a suelos pesados (Maas et al., 2014).

En este trabajo, se pudo evaluar también el efecto del patrón sobre el vigor, tanto en altura total del árbol como en el grosor del tronco de la variedad injertada. El patrón ‘Adara’ mostró un mayor grosor del tronco (AST) de las variedades de cerezo injertadas, a excepción de la variedad ‘Krupnoplodnaja’. Contrariamente a lo manifestado en la bibliografía (Maas et al., 2014), se destaca el efecto vigorizante del patrón ‘LC-52’, con

mayor altura del árbol para todas las variedades evaluadas, comparado con ‘Adara’, y especialmente para las variedades ‘Kordia’ y ‘Sandor’.

No se observaron síntomas visuales de incompatibilidad ‘traslocada’ en los árboles de ninguna de las combinaciones evaluadas. Tampoco los valores de SPAD en hojas revelaron una relación con la incompatibilidad de injerto, con la excepción de la combinación ‘Kordia’ / ‘Adara’ con valores menores frente a ‘LC-52’. En albaricoquero, tampoco se observó correlación entre los valores de SPAD y la incompatibilidad (Reig et al., 2018; Zarrouk, 2006).

En este estudio, se han podido detectar los dos tipos de incompatibilidad patrón-variedad más habituales en las especies frutales de hueso: la incompatibilidad ‘traslocada’ y la ‘localizada’. La primera de ellas ha sido más frecuente en combinaciones de melocotonero y almendro, y la segunda en las combinaciones de albaricoquero, almendro, cerezo, ciruelo y melocotonero, de acuerdo a trabajos anteriores (Moreno et al., 1995d; Reig et al., 2019, 2018; Salazar et al., 2018; Zarrouk et al., 2006). También se ha observado la incompatibilidad total con fallo de prendimiento del injerto en combinaciones con albaricoquero, almendro y cerezo. En cambio, no se han observado casos de incompatibilidad debidos a la presencia de virus, dado el buen estado sanitario del material vegetal empleado.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, P.K., Serrano-Márquez, C.,** 1993. Graft incompatibility. Hort. Rev. 15, 183–232.
- Cambra, R., Cambra, M.,** 1973. Selección clonal de ciruelo Mirobolán (*Prunus cerasifera* Ehrh.). Compatibilidad con variedades de ciruelo y albaricoquero. An. la Estac. Experiment. Aula Dei 12, 8–16.
- Cambra, M., Esteban, O., Gorris, M.T.,** 2001. Incidencias de los virus agresivos en los frutales de hueso. Vida Rural 121, 49–52.
- Cantín, C.M., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2009a. Analysis of phenotypic variation of sugar profile in different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. J. Sci. Food Agric. 89, 1909–1917.
- Cantín, C.M., Moreno, M.Á., Gogorcena, Y.,** 2009b. Evaluation of the antioxidant capacity, phenolic compounds, and vitamin C content of different peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. J. Agric. Food Chem. 57, 4586–4592.
- Cantín, C.M., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á.,** 2010. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies. Euphytica 171, 211–226.
- Ciobotari, G., Brinza, M., Morariu, A., Gradinariu, G.,** 2010. Graft incompatibility influence on assimilating pigments and soluble sugars amount of some pear (*Pyrus sativa*) cultivars. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj 38, 187–192.
- Crossa-Raynaud, P., Audergon, J.M.,** 1987. Apricot rootstocks, En: R.C. Rom and R.F. Carlson (Eds.). Rootstocks for Fruit Crops. pp. 295–320.
- Darikova, J.A., Savva, Y.A., Vaganov, E.A., Grachev, A.M., Kuznetsova, G.V.,** 2011. Grafts of woody plants and the problem of incompatibility between scion and rootstock (a review). J. Sib. Fed. Univ. Biol. 1, 54–63.
- Dimitrova, M., Marinov, P.,** 2002. Myrobalan (*P. cerasifera* Ehrh.) as a rootstock for apricot. Acta Hort. 577, 315–318.
- Duval, H., Mase, M.,** 2013. Myrotop®, a new almond rootstock tolerant to waterlogging, to Armillaria root rot and resistant to root-knot nematodes. VI Int. Symp. Almonds Murcia, Spain, May 27–31, Abstr., Murcia, Spain, p. 135.

- Egea, J., Ruiz, D.,** 2014. Albaricoquero. En: La fruticultura del siglo XXI en España. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA), Fundación Cajamar, Almería. España, pp. 87–106.
- Errea, P., Garay, L., Marín, J.A.,** 2001. Early detection of graft incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca*) using in vitro techniques. *Physiol. Plant.* 112, 135–141.
- Felipe, A.J.,** 1989. Patrones para frutales de pepita y hueso. Edic. Téc. Eur. España S.A., Barcelona, España. 181 pp.
- Gainza, F., Opazo, I., Guajardo, V., Meza, P., Ortiz, M., Pinochet, J., Muñoz, C.,** 2015. Rootstock breeding in *Prunus* species: Ongoing efforts and new challenges. *Chil. J. Agric. Res.* 75, 6–16.
- Hartman, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R.,** 2014. Plant propagation. Principles and practices, 8th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 921 pp.
- Hernández, F., Pinochet, J., Moreno, M.Á., Martínez, J.J., Legua, P.** 2010. Performance of *Prunus* rootstocks for apricot in Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 124, 354–359.
- Hoy, J.W., Mircetich, S.M.,** 1984. Prune brownline disease: Susceptibility of Prune Rootstocks and Tomato Ringspot Virus detection. *Phytopathology* 74, 272–276.
- Irisarri, P., Errea, P., Pina, A., Zhebentyayeva, T.,** 2017. Genetic determinism of graft compatibility in apricot. *Acta Hort.* 1172, 345–348.
- Irisarri, P., Pina, A., Errea, P.,** 2016. Evaluación del comportamiento vegetativo y compatibilidad de injerto de variedades de peral sobre los patrones ‘BA-29’ y ‘OHF-87.’ *Inf. Tec. Econ. Agrar.* 112, 243–254.
- Jiménez, S., Pinochet, J., Gogorcena, Y., Betrán, J.A., Moreno, M.Á.,** 2007. Influence of different vigour cherry rootstocks on leaves and shoots mineral composition. *Sci. Hortic.* 112, 73–79.
- Kommineni, K.V, Ramsdell, D.C.,** 1997. An anatomical study of Prune Brown Line disease and immuno-localization of Tomato Ringspot Virus in plum bark. *Plant Dis.* 81, 855-861.
- Layne, R.E.C.,** 1987. Peach rootstocks. p. 85-216. En: R.C. Rom and R.F. Carlson (eds). *Rootstocks for fruit crops.* Wiley, New York.

- Maas, F.M., Steeg, P.A., Van Der, H.,** 2014. Evaluation of Krymsk®5 (VSL-2) and Krymsk®6 (LC-52) as rootstocks for sweet cherry 'Kordia.' *Acta Hort.* 1058, 531–536.
- Moing, A., Salesses, G.,** 1988. Peach/plum graft incompatibility: Estructural, physiological and genetics aspects. *Acta Hort.* 227, 57–62.
- Moreno, M.Á.,** 2004. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the Aula Dei Experimental Station, Zaragoza, Spain. *Acta Hort.* 658, 519–528.
- Moreno, M.Á.,** Adrada, R., Aparicio, J., Betrán, A., 2001. Performance of "Sunburst" sweet cherry grafted on different rootstocks. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76, 167–173.
- Moreno, M.Á., Cambra, R.,** 1994. Adarcias: An almond x peach hybrid rootstock. *HortScience* 29, 925.
- Moreno, M.Á., Gella, R., Aparicio, J., Tabuenca, M.C.,** 1995a. Incompatibilidad entre patrón e injerto. Variedades de ciruelo injertadas sobre híbridos almendro x melocotonero. *An. Aula Dei* 21, 217–220.
- Moreno, M.Á., Gogorcena, Y., Pinochet, J.,** 2008. Mejora y selección de patrones *Prunus* tolerantes a estreses abióticos. En: La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal. pp. 451–475.
- Moreno, M.Á., Jiménez, S., Gogorcena, Y., Lasarte, L., Gil, C.M., Szügyi, S.,** 2012. Compatibilidad de variedades de cerezo húngaras sobre Adara y otros patrones *Prunus*. *Actas de Horticultura* 60, 480–482.
- Moreno, M.Á., Moing, A., Lansac, M., Gaudillère, J.P., Salesses, G.,** 1993. Peach / myrobolan plum graft incompatibility in the nursery. *J. Hort. Sci* 68, 705–714.
- Moreno, M.Á., Montañés, L., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1996. The performance of Adara as a cherry rootstock. *Sci. Hortic.* 65, 85–91.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1994. Performance of Adafuel and Adarcias as peach rootstocks. *HortScience* 29, 1271–1273.
- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995b. Adara, a plum rootstock for cherries and other stone fruit species. *HortScience* 30, 1316–1317.

- Moreno, M.Á., Tabuenca, M.C., Cambra, R.,** 1995c. Adesoto 101, a plum rootstock for peaches and other stone fruit. *HortScience* 30, 1314–1315.
- Pina, A., Errea, P.,** 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. *Sci. Hortic.* 106, 1–11.
- Reig, G., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Moreno, M.Á.,** 2018. Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. *Sci. Hortic.* 237, 67–73.
- Reig, G., Salazar, A., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Val, J., Moreno, M.Á.,** 2019. Long-term graft compatibility study of peach-almond hybrid and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums. *Sci. Hortic.* 243, 1–7.
- Rodrigo, J., Guerra, M.E.,** 2014. El cerezo y el ciruelo. En: La fruticultura del siglo XXI en España. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA), Fundación Cajamar, Almería. España, pp. 107–122.
- Rubio-Cabetas, M.J., Felipe, A.J., Reighard, G.L.,** 2017. Rootstocks development. En: Almonds: Botany, Production and Uses. R. Socias i Company and T.M. Gradziel (Ed.). pp. 209-227.
- Salazar, A.E., Torrents, J., Bordas, M., Val, J., Moreno, M.Á.,** 2018. Graft compatibility for new released *Prunus* rootstocks. *Acta Hort.* 1228, 175–180.
- Warschefsky, E., Klein, L., Frank, M., Chitwood, D.H., Londo, J.P.,** 2016. Rootstocks: diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends Plant Sci.* 21, 418-437.
- Weibel, A., Johnson, R.S., Dejong, T.M.,** 2003. Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128, 463–471.
- Zarrouk, O.,** 2006. Compatibilidad patrón-variedad en *Prunus*. Métodos precoces de detección de la incompatibilidad de injerto. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida, 240 pp.
- Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gómez-Aparisi, J., Betrán, J., Moreno, M.Á.,** 2005. Influence of almond x peach hybrids rootstocks on flower and leaf mineral concentration, yield and vigour of two peach cultivars. *Sci. Hortic.* 106, 502–514.

Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.Á., Pinochet, J., 2006. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. HortScience 41, 1389–1394.

IX. CONCLUSIONES

1. En este trabajo, se han puesto en evidencia los dos tipos principales de incompatibilidad, la ‘traslocada’, en combinaciones de patrones *Prunus* injertados con almendro, ciruelo y nectarina, y la ‘localizada’, en combinaciones de albaricoquero, almendro, cerezo y nectarina. Las anomalías vegetativas (síntomas visuales) diagnosticaron la del tipo ‘traslocada’, mientras que el análisis macroscópico de las uniones de injerto permitió la detección temprana de la incompatibilidad ‘localizada’.

2. La incompatibilidad de albaricoquero con los patrones estudiados fue una de las más complejas, presentándose casos de incompatibilidad ‘localizada’ y fallos del prendimiento de injerto, en algunas combinaciones. El origen genético del material vegetal determinó la compatibilidad, observándose un comportamiento muy variable según la variedad injertada, lo cual dificulta la selección de patrones para dicha especie.

3. La incompatibilidad ‘traslocada’ observada en almendro, ciruelo japonés y nectarina, provocó una disminución de la concentración foliar de clorofila que podría indicar un desequilibrio vegetativo con efectos en la absorción mineral. Esto supondría el estudio del efecto de la incompatibilidad sobre el metabolismo de los carbohidratos y posibles deficiencias minerales.

4. Algunas combinaciones de almendro con incompatibilidad ‘traslocada’ sobre patrones mirabolán (*P. cerasifera*) e híbridos con esta especie, mostraron además incompatibilidad ‘localizada’ en años posteriores. Las anomalías fisiológicas de la incompatibilidad ‘traslocada’, podrían tener una relación causa-efecto en el desarrollo de la incompatibilidad ‘localizada’ para dichas combinaciones.

5. En combinaciones de albaricoquero y almendro incompatibles, el estudio macroscópico de la zona de unión, permitió detectar diferencias estructurales (discontinuidad de corteza y madera, formación de lagunas de parénquima, etc.) en dicha zona, frente a combinaciones compatibles. Por ello, esta metodología se confirma como método temprano de diagnóstico de la incompatibilidad ‘localizada’. Además, el estudio de la zona de la unión de las combinaciones incompatibles de almendro, nectarina y ciruelo, permitió observar diferencias de vigor frente a combinaciones compatibles, en algunos casos.

6. Los patrones híbridos almendro x melocotonero (*P. dulcis* x *P. persica*) y otros híbridos con base genética de melocotonero y de ciruelo mostraron, en general, buena compatibilidad con variedades de almendro y nectarina. Sin embargo, injertados con albaricoquero y ciruelo japonés, el grado de afinidad fue muy dependiente del nivel de ‘exigencia’ en términos de compatibilidad de la variedad injertada.

7. Entre los patrones evaluados, los ciruelos de crecimiento lento (*P. insititia*, *P. domestica*) presentaron, en general, un buen comportamiento desde el punto de vista de la compatibilidad con variedades de albaricoquero, almendro, ciruelo japonés y nectarina. Esta polivalencia indica el gran potencial de dichos patrones para el cultivo de las especies frutales de hueso. Por el contrario, los ciruelos de crecimiento rápido (*P. cerasifera* e híbridos inter-específicos con dicha especie) mostraron, en general, una mayor frecuencia de casos de incompatibilidad. Esto supondría una mayor reserva a la hora de escoger estos patrones para el cultivo de dichas especies.

8. En combinaciones de cerezo, se determinó la buena compatibilidad de la mayoría de las variedades injertadas sobre los patrones ‘Adara’ y ‘LC-52’, confirmándose así el interés de estos patrones para su cultivo en el área mediterránea. No obstante, estudios posteriores deberán confirmar dicha compatibilidad a más largo plazo y el buen estado sanitario de alguna de las combinaciones estudiadas.

X. ANEXOS

X.1. Publicaciones

Graft compatibility for new released *Prunus* rootstocks

A.E. Salazar¹, J. Torrents², M. Bordas², J. Val¹ and M.A. Moreno¹

¹Estación Experimental de Aula Dei, Zaragoza, Spain; ²Agromillora Iberia S.L., Barcelona, Spain.

Abstract

Graft compatibility for new *Prunus* rootstocks recently introduced into the Spanish market or under selection in public and private programmes is assessed in nursery trials. Part of the evaluated material belongs to the Aula Dei Experimental Station (EEAD-CSIC) selection program in Zaragoza, Spain. Another group of rootstocks under test is from the private nursery Agromillora Iberia, S.L. Some of those rootstocks showed good adaptation to Mediterranean growing conditions and resistance to root-knot nematodes. As control, peach-almond ('GF 677'), peach × *P. davidiana* ('Cadaman'), other interspecific plum-based rootstocks ('Damas GF 1869', 'Ishtara') and different plum species (*P. cerasifera*: 'Adara'; *P. domestica*: 'Constantí 1'; *P. insititia*: 'Adesoto' and other 'Pollizo de Murcia' clones, 'Saint Julien A') are used. New evaluated rootstocks include: 'Densipac R 20' (*P. besseyi* × *P. cerasifera*), 'Nanopac R 40' (*P. dulcis* × *P. persica*), 'Replantpac RR' (*P. dulcis* × *P. cerasifera*), 'AP 45' [(*P. besseyi* × *P. salicina*) × *P. armeniaca*], 'Aprimed AP 65' [(*P. armeniaca* L. × *P. cerasifera* Ehrh) × *P. pumila* L. var. *besseyi*], and 'LC 52' (*P. cerasifera* × *P. maackii*), among others. To determine graft-compatibility, commercial cultivars of different *Prunus* species were budded on some of the evaluated rootstocks. They include: 'Moniquí' and 'Portici' (apricot); 'Lauranne', 'Nonpareil', 'Penta' and 'Soleta' (almond); 'Angeleno' and 'Golden Japan' (Japanese plum); 'Big Top' and 'Sumergrand' (nectarine) and 'Aida', 'Carmen', 'Cordia', 'Ferrovia', 'Kovics', 'Krupnoplodnaja', and 'Sandor' (cherries). Several degrees of graft incompatibility have been observed for the 'translocated' type of incompatibility. In general, peach-almond hybrids and slow-growing plums (*P. domestica* and *P. insititia* plums as 'Adesoto' and other 'Pollizo de Murcia' clones) were graft-compatible with peach, almond and Japanese plum tested cultivars. However, in the case of *P. cerasifera*, *P. besseyi* and interspecific hybrids with these species, performance differed substantially depending on the evaluated genotype.

Keywords: apricot, almond, peach, cherry, Japanese plum

INTRODUCTION

The study of *Prunus* rootstocks and cultivars is a widely appreciable activity for the fruit industry due to the great dynamism and fast varietal renovation (Zarrouk et al., 2006a). The rootstock selection is an essential component in fruit production to adapt cultivars to the environmental conditions (Gainza et al., 2015). Selection of a suitable rootstock is important because some factors such as yield, vigor or fruit quality depend on the selection of the right scion-rootstock combination (Font i Forcada et al., 2014). However, the limiting factor for the extensive use of several *Prunus* rootstocks is the lack of compatibility with cultivars making rootstock selection difficult (Layne, 1987; Zarrouk et al., 2006b). Graft incompatibility may be defined as the failure to form a successful graft union (Goldschmidt, 2014). The causes of incompatibility continue to be unclear, but previous studies showed 'translocated' graft incompatibility that affects tree growth and typically is expressed during the first year of scion growth, although sometimes incompatibility symptoms can be delayed (Salesses and Bonnet, 1992; Moreno et al., 1993). Moreover, some cultivars can show 'localized' graft incompatibility, causing mechanical weakness of the union that can lead to its breakage several years after grafting (Zarrouk et al., 2006a; Warschefsky et al., 2016). In this study, several new released *Prunus* rootstocks were evaluated for their compatibility performance with different cultivars. The trials were established in experimental nurseries at the Aula Dei Experimental Station (EEAD-CSIC) in Zaragoza, Spain.



MATERIAL AND METHODS

Rootstock material evaluated included the inter-specific hybrids: 'Densipac R 20' (*P. besseyi* × *P. cerasifera*), 'Nanopac R 40' (*P. dulcis* × *P. persica*), 'Replantpac RR' (*P. dulcis* × *P. cerasifera*), 'AP 45' (*(P. besseyi* × *P. salicina*) × *P. armeniaca*), and 'Aprimed AP 65' (*(P. armeniaca* L. × *P. cerasifera* Ehrh) × *P. pumila* L. var. *besseyi*). As control, peach-almond hybrids (*P. amygdalus* × *P. persica*): 'Adafuel', 'Adarcias', and 'GF 677'; peach × *P. davidiana*: 'Cadaman', other interspecific plum based rootstocks ('Damas GF 1869', 'Ishtara'), and different plum species (*P. cerasifera*: Adara; *P. domestica*: 'Constantí 1'; *P. insititia*: 'Adesoto', 'Saint Julien A'), were used.

Cultivars material evaluated included: 'Big Top' and 'Summergrand' (nectarine); 'Lauranne', 'Nonpareil', 'Penta' and 'Soleta' (almond); 'Angeleno' and 'Golden Japan' (Japanese plum); 'Moniquí' and 'Portici' (apricot); 'Aida', 'Carmen', 'Cordia', 'Ferrovia', 'Kovics', 'Krupnoplodnaja' and 'Sandor' (cherry).

The level of compatibility/incompatibility was determined by visual diagnosis of the possible cases of 'translocated' incompatibility (symptoms of yellowing and reddening in leaves and wood, defoliation, tree vigor reduction, tree mortality, etc.) according to Moreno et al. (1993).

Tree growth was assessed as tree height (m) and trunk cross-sectional area (TCSA) (cm²) at 10 cm above the graft union and was measured during the second year after grafting. Estimation of leaf chlorophyll concentration was performed using a SPAD 502 m (Minolta Co., Osaka, Japan) and was also made during the second year after budding (in early June). This method was used as a tool to estimate the rate of 'translocated' graft incompatibility. Measurements were made on fully expanded leaves selected from the middle of the cultivar shoot.

Data were evaluated by analysis of variance with SPSS 21.0 (SPSS, Inc., Chicago, USA). Analysis of variance (ANOVA) was used to assess the significance of tree height, TCSA, and SPAD values. If significant differences were detected among rootstock means, then Duncan's multiple range test was used to perform pairwise comparisons of the means.

RESULTS AND DISCUSSION

As expected, two years after budding all combinations of nectarines on peach-almond hybrids showed good performance. Good compatibility was also observed when 'Big Top' and 'Summergrand' were budded onto several inter-specific hybrids ('Replantpac RR', 'Densipac R 20', 'Nanopac R 40', 'Aprimed AP 65'), with the exception of 'AP 45' which showed clear symptoms of 'translocated' incompatibility according to Moreno et al. (1993). In addition, this rootstock induced, in general, lower tree height, TCSA and SPAD values (Table 1).

When 'Big Top' and 'Summergrand' cultivars were budded on reference rootstocks all of them were graft-compatible ('Adafuel', 'Adarcias' and 'Pollizo de Murcia' plums) with the exception of 'Damas GF 1869' which showed clear symptoms of 'translocated' incompatibility budded with 'Summergrand', in good agreement with Zarrouk et al. (2006a, b). Other combinations with 'Adesoto', 'Cadaman', 'GF 677' and 'Saint Julien A' rootstocks did not show any symptoms of 'translocated' incompatibility.

In the case of almond cultivars, 'translocated' incompatibility (leaf yellowing symptoms), and lower tree height and TCSA values were only observed for both 'Nonpareil' and 'Soleta' cultivars on 'AP 45'. Additionally, the 'Nonpareil'/'AP 45' graft combination showed severe leaf defoliation and finally trees were lost during the second year of growth. In general, graft incompatibility was always observed for all trees of peach and almond cultivars budded on the 'AP 45' rootstock. In this case, 'translocated' incompatibilities were always apparent during the first and second year after budding. On the contrary, 'Nonpareil' and 'Soleta' cultivars were graft-compatible onto reference rootstocks ('Adafuel', 'Adarcias', 'Ademir', 'Miral' and 'Pollizo de Murcia' plums).

Table 1. Tree height, trunk cross-sectional area (TCSA) and SPAD values of nectarine, almond, plum and apricot cultivars on different *Prunus* rootstocks at the second year after budding in nursery conditions.

Cultivars	Rootstocks	No. tree	STI	Height (m)	TCSA (cm ²)	SPAD
Big Top	AP 45	8	Ab	1.01 a	0.16 a	25.0 a
	Aprimed AP 65	9	N	1.71 b	0.43 b	29.8 b
	Densipac R 20	10	N	1.50 b	0.32 b	26.3 ab
	Nanopac R 40	7	N	1.57 b	0.30 ab	24.2 a
	Replantpac RR	8	N	1.76 b	0.41 b	29.2 b
Summergrand	AP 45	8	Ab	0.75 a	0.12 a	22.1 a
	Aprimed AP 65	16	N	1.69 c	0.56 c	30.7 b
	Densipac R 20	15	N	1.27 b	0.24 b	23.3 a
	Nanopac R 40	14	N	1.12 b	0.25 b	26.9 a
	Replantpac RR	13	N	1.46 bc	0.38 bc	29.6 b
Nonpareil	AP 45	6	Ab	0.80 a	0.10 a	-----
	Aprimed AP 65	7	N	2.08 c	0.54 c	25.8 b
	Densipac R 20	19	N	2.23 c	0.51 c	32.6 c
	Nanopac R 40	20	N	1.66 b	0.26 b	23.8 a
	Replantpac RR	19	N	1.72 b	0.37 b	27.8 b
Soleta	AP 45	9	Ab	0.63 a	0.09 a	22.6 a
	Aprimed AP 65	8	N	2.24 d	0.56 c	25.8 b
	Densipac R 20	6	N	1.21 bc	0.14 a	25.4 b
	Nanopac R 40	10	N	1.53 c	0.30 b	22.2 a
	Replantpac RR	4	N	1.73 c	0.33 b	28.1 b
Golden Japan	AP 45	10	N	1.55 a	0.08 a	19.9 a
	Aprimed AP 65	10	N	2.37 b	0.56 c	33.9 c
	Densipac R 20	10	N	2.35 b	0.21 ab	26.9 b
	Nanopac R 40	10	N	2.42 b	0.30 b	26.8 b
	Replantpac RR	10	N	2.37 b	0.33 b	35.1 c
Moniquí	AP 45	13	N	1.16 b	0.16 b	19.5 a
	Aprimed AP 65	10	N	2.04 c	0.48 c	27.3 c
	Densipac R 20	13	N	0.74 a	0.09 ab	26.8 c
	Nanopac R 40	8	N	1.22 b	0.25 b	23.0 b
	Replantpac RR	9	N	1.21 b	0.26 b	27.1 c

For each cultivar, mean separation within columns by Duncan test at $P \leq 0.05$.

STI: symptoms of translocated incompatibility (N = Normal; Ab = Abnormal). (---): Dead trees.

To date, Japanese plum cultivars 'Angelino' and 'Golden Japan', did not show visual symptoms of graft incompatibility. However, the 'AP 45' rootstock induced a significant reduction of scion growth and SPAD values compared with the other rootstocks in the case of 'Golden Japan' (Table 1). 'Angelino' and 'Golden Japan' were also budded onto reference rootstocks ('Adafuel', 'Adesoto 101', 'Constantí 1', 'Damas GF 1869', 'Isthara', 'Miral', 'Penta', 'Saint Julien A' and several non-released clones of 'Pollizo de Murcia' plums) and they did not show any symptoms of translocated incompatibility. Nevertheless, the macroscopical examination of the graft unions will be carried out in the future to evaluate the incidence of the 'localized' graft-incompatibility (Herrero, 1951).

Similarly, although none of the studied graft-combinations showed symptoms of 'translocated' incompatibility for the 'Moniquí' apricot cultivar, lower SPAD values on 'AP 45' could be related to graft-incompatibility or higher susceptibility of this rootstock to iron chlorosis. The reference rootstocks ('Ademir', 'Miral', 'Mirocal', 'Torinel', and the 'Pollizo de

Murcia' plum: 'PM 105 AD') did not show any symptoms of 'translocated' incompatibility.

In the case of cherry cultivars no visual symptoms of graft-incompatibility were shown (Table 2). 'Translocated' incompatibility could not be observed in any combination as leaf yellowing was not detected and SPAD determination showed normal values according to Moreno et al. (2001). In addition, no consistent rootstock influence on tree vigor was observed, although the 'Adara' rootstock seems to reduce the growth of several cultivars. In the following years, the macroscopical examination of the graft union will be carried out to evaluate the possible incidence of the 'localized' type of graft-incompatibility.

Table 2. Tree height, trunk cross-sectional area (TCSA) and SPAD values of some cherry cultivars budded on two rootstocks at the second year after budding in nursery conditions.

Cultivars	Rootstocks	No. trees	STI	Height (m)	TCSA	SPAD (cm ²)
Aida	Adara	10	N	1.73 a	0.47 a	34.5 a
	LC 52	10	N	1.91 a	0.49 a	32.7 a
Carmen	Adara	10	N	1.49 a	0.36 a	35.4 a
	LC 52	10	N	1.55 a	0.31 a	45.4 b
Cordia	Adara	10	N	1.42 a	0.31 a	32.6 a
	LC 52	10	N	1.97 b	0.45 b	42.8 b
Ferrovia	Adara	10	N	1.86 a	0.37 a	31.7 a
	LC 52	10	N	2.26 a	0.51 b	37.9 b
Kovics	Adara	10	N	1.71 a	0.34 a	38.0 b
	LC 52	10	N	2.01 a	0.28 a	33.6 a
Krupnoplodnaja	Adara	10	N	1.54 a	0.27 a	34.6 a
	LC 52	10	N	1.59 a	0.45 b	40.1 b
Sandor	Adara	10	N	1.76 a	0.51 a	34.2 a
	LC 52	10	N	2.21 b	0.47 a	35.8 a

For each cultivar, mean separation within columns by Duncan test at $P \leq 0.05$.

STI: symptoms of translocated incompatibility (N = Normal; Ab = Abnormal).

CONCLUSIONS

Two years after budding, the new peach-almond based rootstocks ('Nanopac R 40') and the other *Prunus* hybrids ('Aprimed AP 65', 'Densipac R 20', 'Replantpac RR') presented a good compatibility with all peach, almond, plum and apricot cultivars. On the contrary, the experimental genotype 'AP 45' showed typical symptoms of 'translocated' incompatibility with both peach and almond cultivars. Apricot and Japanese plum did not show symptoms of incompatibility but the lower growth and SPAD values, in some combinations, might reveal some cases of graft incompatibility that should be assessed in the following growing seasons. This study confirms that new rootstock material should be previously tested with cultivars prior to commercial release.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (MINECO) grants CDTI IDEI-20130949, AGL2011-24576, and AGL2014-52063-R and was co-funded by the FEDER and the Regional Government of Aragón (A44) with European Social Fund. Alex Salazar was supported by a fellowship from the Secretary of Education, Science and Technology (SENESCYT) of the Ecuadorian Government.

Literature cited

Font i Forcada, C., Gogorcena, Y., and Moreno, M.A. (2014). Agronomical parameters, sugar profile and antioxidant compounds of "Catherine" peach cultivar influenced by different plum rootstocks. *Int J Mol Sci* 15 (2), 2237–2254 <https://doi.org/10.3390/ijms15022237>. PubMed

Gainza, F., Opazo, I., Guajardo, V., Meza, P., Ortiz, M., Pinochet, J., and Muñoz, C. (2015). Rootstock breeding in

Prunus species: ongoing efforts and new challenges. *Chil. J. Agric. Res.* 75, 6–16 <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000300002>.

Goldschmidt, E.E. (2014). Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Front Plant Sci* 5, 727 <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>. PubMed

Herrero, J. (1951). Studies of compatible and incompatible graft combinations with special reference to hardy fruit trees. *J. Hortic. Sci.* 26 (3), 186–237 <https://doi.org/10.1080/00221589.1951.11513736>.

Layne, R.E.C. (1987). Peach rootstocks. In *Rootstocks for Fruit Crops*, R.C. Rom, and R.F. Carlson, eds. (NY: John Wiley and Sons), p.185–216.

Moreno, M.A., Moing, A., Lansac, M., Gaudillère, J.P., and Salesses, G. (1993). Peach/myrobalan plum graft incompatibility in the nursery. *J. Hortic. Sci.* 68 (5), 705–714 <https://doi.org/10.1080/00221589.1993.11516403>.

Moreno, M.A., Adrada, R., Aparicio, J., and Betrán, J.A. (2001). Performance of ‘Sunburst’ sweet cherry grafted on different rootstocks. *J. Hortic. Sci.* 76, 167–173 <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511345>.

Salesses, G., and Bonnet, A. (1992). Some physiological and genetic aspects of peach/plum graft incompatibility. *Acta Hortic.* 315, 177–186 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.315.22>.

Warschefskey, E.J., Klein, L.L., Frank, M.H., Chitwood, D.H., Londo, J.P., von Wettberg, E.J.B., and Miller, A.J. (2016). Rootstocks: diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends Plant Sci.* 21 (5), 418–437 <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.008>. PubMed

Zarrouk, O., Aparicio, J., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., and Pinochet, J. (2006a). Graft compatibility for new peach rootstocks in nursery. *Acta Hortic.* 713, 327–330 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.713.47>.

Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., and Pinochet, J. (2006b). Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. *HortScience* 41, 1389–1394 <http://hortsci.ashspublications.org/content/41/6/1389>. short.



Long-term graft compatibility study of peach-almond hybrid and plum based rootstocks budded with European and Japanese plums

Gemma Reig^a, Alex Salazar^a, Olfa Zarrouk^a, Carolina Font i Forcada^a, Jesús Val^b,
María Ángeles Moreno^{a,*}

^a Department of Pomology, Aula Dei Experimental Station, Apdo. 13034, 50080 Zaragoza, Spain

^b Department of Plant Nutrition, Aula Dei Experimental Station, Apdo. 13034, 50080 Zaragoza, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Prunus domestica
Prunus insititia
Prunus cerasifera
Prunus dulcis × *Prunus persica*
Translocated incompatibility
Localized incompatibility

ABSTRACT

The introduction of some new rootstocks requires knowledge of the potential ‘translocated’ and ‘localized’ graft incompatibilities before releasing these rootstocks into the market. Trials were established at the Aula Dei Experimental Station (Zaragoza, Spain) to assess graft compatibility between five European plum (*Prunus domestica* L.) and six Japanese plum (*Prunus salicina* L.) cultivars with thirty-eight rootstocks belonging to peach × almond hybrids, as well as slow-growing, fast-growing and interspecific hybrid plum groups. Some of these rootstocks are under process of selection and others are commercial rootstocks already introduced into the European market. External visual diagnosis of the scion-rootstock graft combinations was performed by observing symptoms of the ‘translocated’ incompatibility in the nursery. Visual symptoms of ‘translocated’ incompatibility were only found on the Japanese plum cv. ‘Golden Japan’ budded on the plum-apricot hybrid AP-45. The ‘localized’ graft incompatibility was assessed after internal macroscopically examination of graft unions. In the case of the European plum cvs., ‘President’ and ‘Reine Claude Tardive of Chambourcy’ exhibited good graft compatibility with all the tested rootstocks, with the exception of ‘President’ budded on the pentaploid plum hybrid rootstock Damas GF 1869. ‘Reine Claude Verte’ cv. showed ‘localized’ incompatibility with Myrobalan B and Myrobalan GF 3-1 since the second year after budding. ‘Stanley’ cv. showed ‘localized’ incompatibility with the six evaluated peach × almond hybrid rootstocks, although it was compatible with all plum based rootstocks. In the case of Japanese plums, four cultivars (‘Angelino’, ‘Black Amber’, ‘Delbarazur’ and ‘Songold’) did not show any graft incompatibility, but ‘Friar’ showed ‘localized’ incompatibility on Myrobalan B. In the case of peach-almond and *P. cerasifera* based rootstocks (Adarcias, GF 677, Damas GF 1869, Myrobalan B, Myrobalan 29 C, Myrobalan GF 3-1 and Marianna GF 8-1), ‘Golden Japan’ trees showed similar symptoms to those caused by TomRV in Myrobalan and peach rootstocks and ‘localized’ incompatibility. Finally, this study confirmed the interest of *P. insititia* specie as well as several interspecific *Prunus* hybrids as a good source of rootstocks for the plum industry.

1. Introduction

The orchard economic, longevity and environmental viability is linked to a proper cultivar and rootstock selection for a specific climate and soil conditions, together with its graft compatibility knowledge. The hexaploid European plums (*Prunus domestica* L.) and the diploid Japanese plums (*Prunus salicina* Lindl.) are among the most widely cultivated fruit species in temperate climates (Ferlito et al., 2015; Reig et al., 2018a). The commonly used rootstocks for European plum cultivars include different *Prunus* species such as *Prunus cerasifera* (Myrobalan or cherry plums, 2n = 16), *P. cerasifera* × *P. munsoniana* hybrids

(Marianna), *P. spinosa* (Sloe or blackthorn plums, 2n = 32), *P. insititia* (Damson plums, 2n = 48), and *P. domestica* (common plums, 2n = 48). For Japanese plum cultivars, Myrobalan and Marianna are also commonly used, especially on orchards with poorly-drained soils and waterlogging conditions (Topp et al., 2012). To a lesser extent, interspecific hybrids of almond (*P. amygdalus*) and peach (*P. persica*) could be also used for European and Japanese plums to avoid iron chlorosis in calcareous soils and to have an adequate level of vigor on low fertility sites. Peach × almond hybrids have been successfully developed as rootstocks for almond and peach cultivars in Mediterranean countries (Mestre et al., 2015; Ben Yahmed et al., 2016). Nevertheless, they can

* Corresponding author.

E-mail address: mmoreno@eead.csic.es (M.Á. Moreno).

exhibit graft incompatibility with some plum cultivars, especially with the European hexaploid plums (Moreno et al., 1995a). Most breeding programs, on diverse climate and soil conditions, aim to obtain commercial rootstocks with a wide range of cultivars compatibility (Moreno, 2004). However, the limiting factor for the widespread use of some *Prunus* spp. for plum production may be the occurrence of graft-incompatibility in the orchard.

Graft compatibility can be defined as the establishment of a successful graft union as well as extended survival and proper functioning of the composite grafted plant (Goldschmidt, 2014). Successful formation of graft depends on various complexes of biochemical and structural procedures, which includes callus formation, establishment of new vascular tissue, and formation of an active vascular system across the graft interface (Martínez-Ballesta et al., 2010; Pina et al., 2012, 2017). The grafted partners often belong to the same species or genus, but the use of genetically divergent genotypes is also common (Usenik et al., 2006). Therefore, graft incompatibility occurs frequently, especially in the inter-species combinations, mainly because of the differences in anatomy, morphology and physiology between the graft components (Darikova et al., 2011). This is often the case when pear is grafted on quince, and apricot and peach on other *Prunus* species (Ciobotari et al., 2010; Zarrouk et al., 2006, 2010). Likewise, late graft rejection in fruit trees has been limited by plasmodesmal coupling at the time of grafting within one of the partners (Pina et al., 2009).

To understand the mechanism responsible for graft incompatibility, Mosse (1962) described two types of graft incompatibility, ‘translocated’ and ‘localized’. The first one is characterized by visual symptoms in the tree (yellowing of leaves, which later became redder or more orange, premature defoliation, leaf wilting) and an earlier stop of tree growing and a radicular system not fully developed (Moreno et al., 1993; Hartmann et al., 2002; Zarrouk et al., 2006; Dogra et al., 2018). This type of incompatibility cannot be overcome by the use of an interstock (Hartmann et al., 2002). In contrast, ‘localized’ type is characterized by anatomical irregularities at the graft union interface accompanied by anatomical abnormalities of vascular tissue in the callus bridge (Hartmann et al., 2002) and by breaks in cambial and vascular continuity and poor vascular connections (Zarrouk et al., 2010). It can be overcome by the use of mutually compatible interstocks (Hartmann et al., 2002). These two types of incompatibility can present themselves jointly in a same graft combination, and neither of them is privative of determined species.

Breeding *Prunus* rootstocks studies are in progress at the Aula Dei Experimental Station for obtaining new *Prunus* rootstocks, with specific adaptation to Mediterranean environments (Font i Forcada et al., 2012; Mestre et al., 2015, 2017) and having a wide graft compatibility with different stone fruit species, including plum cultivars (Moreno, 2004; Reig et al., 2018b). Several graft compatibility studies were performed in plums budded on different plum based rootstocks (Mosse, 1960; Moreno et al., 1995b, 1995c). However, very few studies included peach × almond rootstocks (Moreno et al., 1995a; Duval, 2004) and new released rootstocks. Therefore, main objectives of the present study were: 1) to assess and determine the graft compatibility performance of European and Japanese plum cvs. budded on peach × almond hybrids, other interspecific hybrids and also on plum rootstocks recently released and/or in process of selection, and 2) to establish comparisons in terms of graft compatibility with commercial rootstocks of different origins, introduced into the European market.

2. Material and methods

2.1. Plant material

Five European plum cultivars (‘President’, ‘Reine Claude of Bavay’, ‘Reine Claude Tardive of Chambourcy’, ‘Reine Claude Verte’ and ‘Stanley’) and six Japanese plum cvs. (‘Angeleno’, ‘Black Amber’, ‘Delbarazur’, ‘Friar’, ‘Golden Japan’ and ‘Songold’) were T-budded *in*

situ in summer and evaluated during 5 consecutive years on different *Prunus* rootstocks (Table 1). Approximately, at 15 cm from the ground, a T cut (approximately 1 cm width and 1.5 cm long) was made across the bark at each rootstock (one-year old tree, diameter ≈ 1 cm). For practical purposes, rootstock genotypes were divided into three different groups: (1) peach × almond hybrids (*P. amygdalus* × *P. persica*); (2) Slow-growing plums (*P. insititia* and *P. domestica*); and (3) Myrobalan-Marianna plums (*P. cerasifera* and interspecific hybrids having *P. cerasifera* as a parent). Among the thirty-eight rootstocks used in this study, the hexaploid plums ‘Pollizo de Murcia’ rootstocks and the interspecific hybrids Miral 3278 AD, PADAC 04-01 and PADAC 99-05 are under process of selection by the Aula Dei Experimental Station.

Rootstocks were propagated by hardwood cuttings treated with indole-3-butyric acid (indolebutyric acid) at 4 g L⁻¹ for peach × almond hybrids, other peach and almond hybrids and slow-growing plums rootstocks (Moreno et al., 1995b), and at 0.5 g L⁻¹ for Myrobalan-Marianna plum rootstocks (Moreno et al., 1995c). Stock-plants used for cutting production are routinely tested to maintain mother trees free of *Prunus* necrotic ringspot virus (PNRSV), Prune dwarf virus (PDV), Tomato ringspot virus (TomRV), Apple chlorotic leaf spot virus (ACLSV) and Plum pox virus, Sharka (PPV).

Trials were established in different nurseries at the Aula Dei Experimental Station (NE Spain; lat. 41° 43′ 42.7″N, long. 0° 48′ 44.1″ W), on heavy and calcareous soils with 29–30% total calcium carbonate, 7.4–7.6% active lime, water pH 8.0–8.5, and a clay-loam texture. The nurseries were level-basin irrigated every 12 days during the summer.

At each nursery, each scion/rootstock graft combination was replicated, in general, 10–30 times (trees) (10 trees per block) depending on the availability of plant material (previously rooted rootstocks). Consequently, not every scion/rootstock graft combination was available at each nursery. Ten replicates per combination were considered the minimum acceptable for assessment, although some combinations suffered field losses at each block after several years of field-testing, but mainly due to the initial grafting process failure.

2.2. ‘Translocated’ incompatibility evaluation

Firstly, the level of compatibility-incompatibility was mainly determined during the first two years after budding by visual diagnosis of the symptoms of the ‘translocated’ type of incompatibility in the nursery, e.g., leaf and wood yellowing and reddening, defoliation, tree vigour reduction, and death (Moreno et al., 1993). Moreover, a determination of leaf chlorophyll concentration using SPAD 502 m (Minolta Co., Osaka, Japan) was made on 2-year-old trees from the end of June to the beginning of July. This procedure was used as a potential tool to estimate the rate of ‘translocated’ graft incompatibility (Fig. 1). Measurements were made on fully expanded leaves of 10 trees per combination selected from the middle of the tree.

2.3. ‘Localized’ incompatibility evaluation

Anatomic examination of each scion/rootstock union was carried out on 2–5 year-old budded trees. Each graft union was sawed by a radial-longitudinal plane, and each visual rating of ‘localized’ graft incompatibility (Fig. 2) was classified according to Mosse and Herrero (1951): 1) category A: Perfect unions (the line of the union between bark and wood is hardly visible); 2) category B: Good unions (the bark and wood are continuous although the line of union in the wood is often clearly distinguished by excessive ray formation); 3) category C: Unions with discontinuities in the bark (the bark tissues of rootstock and scion are separated by a dark brown layer of corky appearance); 4) category D: Unions showing vascular and wood discontinuities (the woody tissues of rootstock and scion are separated in many places by clusters of living, non-lignified parenchyma, whereas bark tissues are generally as category C); and 5) category E: Observed breakage of the tree at the

Table 1
Rootstocks used for the plum graft compatibility study.

Rootstock ^a	Species	Ploidy level	Origin ^b	Calcareous soil tolerance ^c	Waterlogging tolerance ^c	Root-knot nematodes resistance ^c
<i>Almond x peach hybrids</i>						
Adafuel ^a	<i>P. dulcis</i> x <i>P. persica</i>	2x	CSIC, Spain	Highly tolerant	Susceptible	Susceptible
Adarcias ^a	<i>P. dulcis</i> x <i>P. persica</i>	2x	CSIC, Spain	Tolerant	Moderately tolerant	Susceptible
GF 557	<i>P. dulcis</i> x <i>P. persica</i>	2x	INRA, France	Highly tolerant	Highly susceptible	Resistant
GF 677	<i>P. dulcis</i> x <i>P. persica</i>	2x	INRA, France	Highly tolerant	Susceptible	Susceptible
Hansen 536	<i>P. dulcis</i> x <i>P. persica</i>	2x	UC, USA	Tolerant	Susceptible	Resistant
Hansen 2168	<i>P. dulcis</i> x <i>P. persica</i>	2x	UC, USA	Tolerant	Susceptible	Resistant
<i>Slow-growing plums</i>						
Adesoto 101 ^a	<i>P. insititia</i>	6x	CSIC, Spain	Highly tolerant	Highly tolerant	Immune
'Pollizo de Murcia', PM 44 AD, PM 95 AD, PM 101 AD, PM 105 AD, PM 137 AD	<i>P. insititia</i>	6x	CSIC, Spain	Tolerant	Tolerant	Immune
St. Julien A	<i>P. insititia</i>	6x	INRA, France	Moderately tolerant	Tolerant	–
Constantí 1	<i>P. domestica</i>	6x	CSIC, Spain	Tolerant	Tolerant	Immune
RC GF 1380	<i>P. domestica</i>	6x	INRA, France	Tolerant	Tolerant	–
PP-1	<i>P. domestica?</i>	6x	Oregon, USA	–	Tolerant	Immune
Penta	<i>P. domestica</i>	6x	CRA-FRU, Italy	Tolerant	Tolerant	Resistant
Tetra	<i>P. domestica</i>	6x	CRA-FRU, Italy	Tolerant	Tolerant	Resistant
Torinel	<i>P. domestica</i>	6x	INRA, France	Moderately tolerant	Tolerant	Resistant
Damas GF 1869	<i>P. domestica</i> x <i>P. spinosa</i>	5x	INRA, France	Highly tolerant	Highly tolerant	Resistant
<i>Fast-growing plums and Inter-specific hybrid plums</i>						
Adara ^a	<i>P. cerasifera</i>	2x	CSIC, Spain	Highly tolerant	Highly tolerant	Immune
Ademir ^a	<i>P. cerasifera</i>	2x	CSIC, Spain	Highly tolerant	Highly tolerant	Immune
Myrobalan B	<i>P. cerasifera</i>	2x	EM, UK	Susceptible	Tolerant	Moderately resistant
Myrobalan 713 AD	<i>P. cerasifera</i>	2x	CSIC, Spain	Tolerant	Tolerant	Resistant
Myrobalan 29 C	<i>P. cerasifera</i>	3x	GB, USA	Tolerant	Tolerant	Immune
Myrocal	<i>P. cerasifera</i>	2x	INRA, France	–	Tolerant	Susceptible
Marianna 2624	<i>P. cerasifera</i> x <i>P. munsoniana</i>	3x?	UC, USA	Tolerant	Tolerant	Immune
Marianna GF 8-1	<i>P. cerasifera</i> x <i>P. munsoniana</i>	4x	INRA, France	Tolerant	Tolerant	Resistant
Aprimed (AP-65)	<i>P. armeniaca</i> x <i>P. cerasifera</i> x <i>P. besseyi</i>]	2x	AI, Spain	Tolerant	Tolerant	Resistant
AP-45	[<i>P. besseyi</i> x <i>P. salicina</i>] x <i>P. armeniaca</i>]	2x	AI, Spain	Susceptible	–	Susceptible
Miral 3278 AD	<i>P. dulcis</i> x <i>P. cerasifera</i>	2x	CSIC, Spain	Tolerant	Tolerant	Resistant
Myrobalan GF 3-1	<i>P. cerasifera</i> x <i>P. salicina</i>	2x	INRA, France	Tolerant	Tolerant	Resistant
Densipac (R-20)	<i>P. besseyi</i> x <i>P. cerasifera</i>	2x	AI, Spain	Tolerant	Tolerant	Moderately resistant
Ishtarà 'Ferciana'	(<i>P. cerasifera</i> x <i>P. salicina</i>) x (<i>P. cerasifera</i> x <i>P. persica</i>)	2x	INRA, France	Tolerant	Moderately tolerant	Immune
PADAC 04-01	[<i>P. cerasifera</i> x (<i>P. persica</i> x <i>P. dulcis</i>)]	2x	CSIC, AI, Spain	Highly tolerant	Highly tolerant	Immune
PADAC 99-05	[<i>P. cerasifera</i> x (<i>P. persica</i> x <i>P. dulcis</i>)]	2x	CSIC, AI, Spain	Highly tolerant	Highly tolerant	Resistant
Nanopac (R-40) ^a	<i>P. dulcis</i> x <i>P. cerasifera</i>	2x	AI, Spain	Tolerant	Highly tolerant	Moderately resistant
Replantpac (RR) ^a	<i>P. dulcis</i> x <i>P. cerasifera</i>	2x	AI, Spain	Highly tolerant	Highly tolerant	Resistant

^a Protected grant by Community Plant Variety Office (CPVO) or the Spanish Plant Variety Office.

^b AI = Agromillora Iberia S.L., private nursery, Spain; CRA-FRU = Centro di Ricerca per la Frutticoltura; CSIC = Consejo Superior de Investigaciones Científicas; EM = East Malling Research Station; GB = Gregory Brothers, California; INRA = Institut National de la Recherche Agronomique; UC = University of California.

^c Information obtained from different authors (Okie, 1987; Fernández et al., 1994; Bermúdez et al., 1999; Moreno, 2004; Nyczepir and Esmenjaud, 2008; Jiménez et al., 2008; Pinochet et al., 2012; Byrne et al., 2012; Mestre et al., 2015, 2017; Reig et al., 2018a, b).



Fig. 1. ‘Translocated’ graft incompatibility symptoms in ‘Golden Japan’ budded on AP-45 (irregular growth) compared with ‘Golden Japan’ budded on Aprimed (good and uniform tree development).

graft union in the nursery or orchard. Categories D and E were considered ‘incompatible’ unions because breakage might occur caused by mechanical damage or wind.

2.4. Growth measurements

At the time of internal examination, stem circumferences at 5 cm above and below the graft union, and at the graft union itself were

measured. This method enabled searching for correlations between growth characteristics and compatibility-incompatibility occurrence (Zarrouk et al., 2006).

2.5. Statistical analysis

Data from SPAD were evaluated by one-way variance (ANOVA) analysis with the software SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, USA). When the F test was significant, means separation were conducted using a Duncan test at $P \leq 0.05$. The analyses of Pearson correlation were carried out to study correlations between graft incompatibility occurrence and year after budding.

3. Results and discussion

3.1. ‘Translocated’ incompatibility evaluation

No visual symptoms of ‘translocated’ incompatibility were found on most of the plum graft combinations, with the exception of the Japanese plum ‘Golden Japan’ budded on the inter-specific hybrid plum rootstock AP-45 (Table 3, Fig. 1). During the second season of nursery growth, all trees of ‘Golden Japan’ budded on AP-45 (*P. besseyi* and *P. cerasifera* in its background) showed clear symptoms of ‘translocated’ incompatibility. The visual symptoms appeared in the form of leaf yellowing (Fig. 1), lower SPAD values and tree growth cessation (Fig. 3). Zarrouk et al. (2006) reported that low SPAD values may be associated with the blockage of carbohydrate assimilates and nitrogen uptake in scion leaves. In addition, as the rate of shoot growth of incompatible graft declines, carbon export from the scion through the phloem to the rootstock has been reported to slow down and decrease nitrogen assimilation (Moreno et al., 1994). Although this type of incompatibility is usually expressed during the first year after grafting (Dogra et al., 2018), it is worth to mention that no trees from ‘Golden Japan’ / AP-45 combination developed incompatibility symptoms during the first year. Therefore, this combination showed a clear delay on the expression of this type of incompatibility. Finally, according to our knowledge, few studies have evaluated the ‘translocated’ incompatibility in *Prunus* spp., mostly in peach as scion (das Neves et al., 2017; Zarrouk et al., 2006).

3.2. ‘Localized’ incompatibility evaluation

In terms of ‘localized’ graft incompatibility, all scion-rootstock combinations were, in general, compatible when plum cultivars were budded on the hexaploid slow-growing plum rootstocks (Tables 2 and 3), assessed by the five-scale categories described above. Among them, it is noteworthy the perfect unions observed with some ‘Pollizo de Murcia’ plums, Adesoto 101, PM 105 AD and PM 150 AD rootstocks, as previously reported in the case of Adesoto 101 (Moreno et al., 1995b).

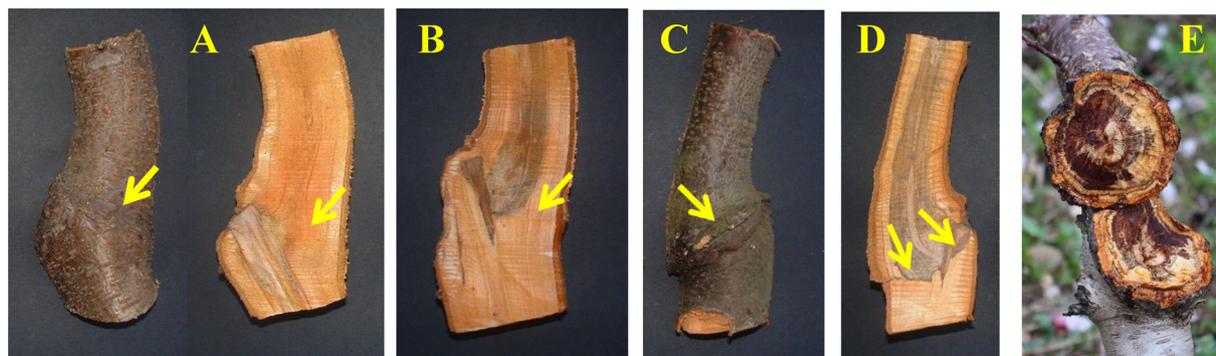


Fig. 2. Longitudinal sections through different scion-rootstock graft unions for each category (A, B, C, D and E) according to Mosse and Herrero (1951).

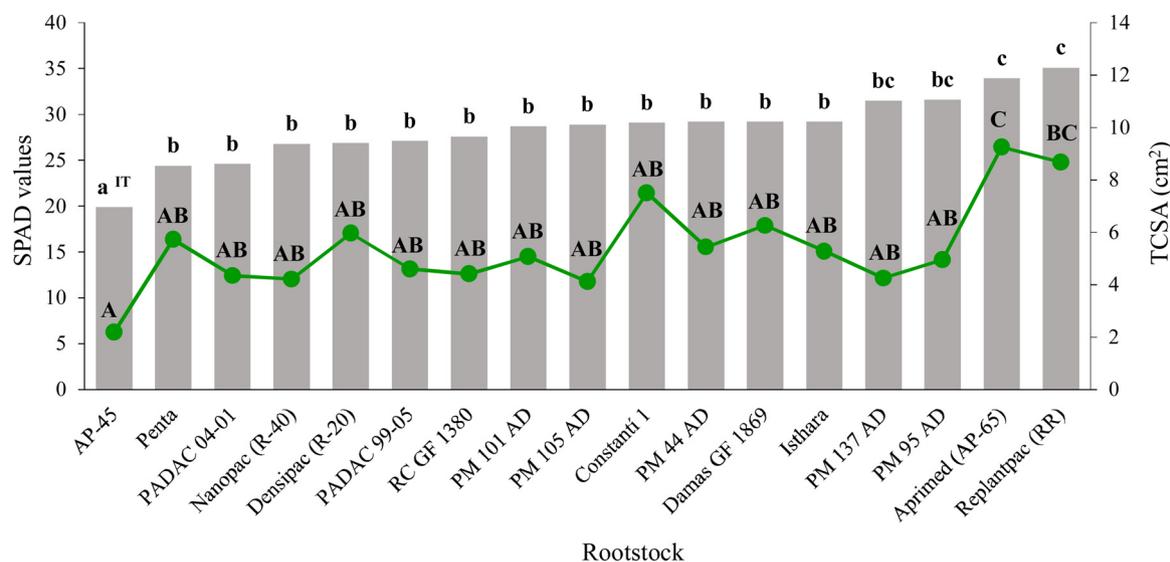


Fig. 3. SSPAD (grey bars) and trunk cross sectional (TCSA) (green line) values of ‘Golden Japan’ budded on plum-based rootstocks. IT: translocated graft incompatibility. Duncan test ($P \leq 0.05$) was performed for SPAD (uppercase letters) and TCSA (lowercase) values. Data followed by the same lowercase or uppercase letter are not significantly different. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article).

Concerning the European plum cvs., the anatomical evaluation of unions indicated good compatibility of ‘President’ and the ‘Reine Claude’ cvs. on most of the tested rootstocks, with the exception of ‘President’ budded on the pentaploid hybrid Damas GF 1869 and ‘Reine Claude Verte’ budded on Myrobalan B and Myrobalan GF 3-1 (Table 2). Okie (1987) reported graft incompatibility between Myrobalan B and Myrobalan GF 3-1 and ‘Reine Claude’ cvs., in general. Moreno et al. (1994) already reported the good graft compatibility (category ‘A’) of the peach-almond hybrids Adafuel and GF 677 with ‘President’ cv. Similarly, Reig et al. (2018b) reported a good agronomic performance of the interspecific plum \times almond hybrid Miral 3278 AD and the plums Myrobalan B and Myrobalan 713 AD with the European plums ‘R.C. Bavay’ and ‘R.C.T. Chambourcy’ in a long-term orchard trial. The graft combination ‘President’/Damas GF 1869 exhibited ‘localized’ incompatibility (category ‘D’), with presence of both necrosis and absence of lignified tissues in the graft plane of the wood. These results contrast with the expected good compatibility of Damas GF 1869 with European plum cultivars (Okie, 1987).

In contrast to ‘President’, ‘Stanley’ budded on Damas GF 1869 did not exhibit graft unions included in the ‘D’ category even after examination of 4-year old trees (Table 2). In addition, ‘Stanley’ had good graft compatibility (category ‘A’) with all plum based rootstocks used in this study. However, ‘localized’ incompatibility (category ‘D’) was consistently observed when ‘Stanley’ was budded on almond \times peach hybrid rootstocks, Adafuel, Adarcias and GF 677, as previously mentioned by Moreno et al. (1995a). It is interesting to note that this incompatibility was already observed on two year-old trees. The results also suggested good significant correlation between early and late graft-incompatibility incidence as reported by Mosse (1960), when graft incompatibility of two and ten-year-old trees of European plums trees budded on Myrobalan B was compared. In contrast to peach-almond hybrids, it is worthwhile to mention the good graft compatibility observed on Isthara, despite of the *P. persica* parental background of the rootstock. Nevertheless, it has lower expected peach (up to 25%) and no almond in its genetic background as compared with peach-almond hybrids. Similarly, Reig et al. (2018a) reported a good agronomic performance of Isthara with ‘R.C. Bavay’ and ‘R.C. GF 1119’ (a selected clon from ‘R.C. Verte’) in a long-term orchard trial.

Besides of the ‘localized’ incompatibility, it is worth to mention that the visual examination of growth abnormalities at the nursery demonstrated high bud failure (> 30%) of ‘Stanley’ on Adafuel and GF

677. In addition, during the first vegetative period, more than 50% of the rest of the buds ceased their development at the rosette stage. This fact has been attributed in apricot cultivars to the presence of apple chlorotic leaf spot virus (ACLSV) (Desvignes and Boyé, 1988), although in this study the presence of viruses were not initially detected.

With regards to Japanese plum cultivars, visual observations in the nursery related to plant growth demonstrated, in general, a good bud take and normal development of trees for all graft combinations. The ‘Angeleno’ cv. showed good graft compatibility (category ‘A’) when 2 and 3-years-old trees were evaluated, including peach-almond hybrids (Table 3). Similarly, ‘Black Amber’, ‘Delbarazur’, ‘Friar’ and ‘Songold’ exhibited good graft compatibility (category ‘A’) when budded on peach \times almond rootstocks. Good graft compatibility of ‘Black Amber’ and ‘Friar’ with GF 677 was already reported by Duval (2004). Nevertheless, two year-old trees of ‘Black Amber’ with Adafuel and Hansen 2168 (one for each rootstock) broke in the nursery (category ‘E’). This could be attributed to graft incompatibility or to strong differences in vigor between scion and rootstock. Sometimes, the excessive growth rate of one of the two graft components during the first or second year after budding can cause breakage at the point of the union (Moreno et al., 2001). Nevertheless, examination of older trees from these combinations should be suitable before any recommendation for commercial use.

In the case of ‘Golden Japan’ cv., the graft compatibility response depended strongly on the rootstock genotype and its genetic background, having the peach \times almond hybrids (Adarcias and GF 677), Damas GF 1869, Myrobalan B, Myrobalan 29 C, Myrobalan GF 3-1 and Marianna GF 8-1 more problems of bark and wood discontinuity (Table 3). These results contrast with the good compatibility found with younger trees of this cultivar on GF 677 (Moreno et al., 1995a). In the peach \times almond hybrid group of rootstocks, American rootstocks Hansen 536 and Hansen 2186 exhibited only one tree classified as ‘C’ (discontinuity in the bark), whereas older trees did not show any discontinuity. When budded on the slow-growing plum rootstocks, the 100% of ‘Golden Japan’ trees exhibited good graft compatibility (category ‘A’), with the exception of those budded on the pentaploid Damas GF 1869. In the case of peach-almond and *P. cerasifera* based rootstocks (Adarcias, GF 677, Damas GF 1869, Myrobalan B, Myrobalan 29 C, Myrobalan GF 3-1 and Marianna GF 8-1), ‘Golden Japan’ trees showed symptoms similar to those caused by TomRV in Myrobalan and peach rootstocks (Hoy and Mircetich, 1984), and ‘localized’

Table 2
Graft compatibility and internal examination of the graft unions between European plum cultivars and different *Prunus* rootstocks.

Cultivar	Rootstock	'Translocated' incompatibility symptoms	'Localized' incompatibility Category ^a			
			2 nd year	3 rd year	4 th year	5 th year
Number of trees						
President	Adafuel	N	30 A	30 A	10 A	10 A
	Adarcias	N	10 A	–	5 A	–
	GF 557	N	5 A	–	5 A	–
	GF 677	N	20 A	10 A	10 A	10 A
	Hansen 536	N	10 A	–	5 A	–
	Hansen 2168	N	10 A	–	5 A	–
	Adesoto 101	N	5 A	5 A	20 A	–
	Damas GF 1869	N	2 B; 8 D	1 A; 6 D	1 A; 9 D	–
	PM 105 AD	N	10 A	10 A	20 A	–
	St Julien A	N	5 A	5 A	10 A	–
	Constantí 1	N	10 A	10 A	10 A	–
	Adara	N	10 A	10 A	–	–
	Ademir	N	30 A	15 A	15 A	–
	Myrobalan B	N	9 A; 1 B	15 A	10 A	–
	Myrobalan 713 AD	N	20 A	10 A	10 A	10 A
	Miral 3278 AD	N	20 A	10 A	–	10 A
	Reine Claude of Bavay	Adara	N	5 A	–	–
Ademir		N	5 A	–	15 A	5 A
Myrobalan B		N	5 A	–	20 A	10 A
Myrobalan 713 AD		N	5 A	–	–	10 A
Miral 3278 AD		N	5 A	–	–	10 A
Reine Claude Verte	Ademir	N	7 A	–	–	10 A
	Myrobalan B	N	9 A; 3 D	–	–	–
	Myrobalan 713 AD	N	12 A	–	–	–
	Myrobalan 29 C	N	39 A	–	–	–
	Myrobalan GF 3-1	N	8 A; 4 D	–	–	–
Reine Claude Tardive of Chambourcy	Marianna 2624	N	17 A	–	–	–
	Adafuel	N	10 A; 7 B	30 A	19 A	–
	Adarcias	N	10 A	–	10 A	–
	GF 677	N	14 A	14 A	5 A	–
	Adara	N	5 A	–	–	7 A
Stanley	Ademir	N	5 A	–	30 A	8 A
	Myrobalan B	N	5 A	–	20 A	4 A
	Myrobalan 713 AD	N	5 A	–	–	4 A
	Miral 3278 AD	N	5 A	–	–	8 A
	Adafuel	N	2 A; 3 B; 10 D; 3 E	10 D	10 A; 5 D	10 D
	Adarcias	N	1 A; 10 D; 5 E	10 D	10 D	5 D
	GF 557	N	10 D; 1 E	5 D	10 D	5 D
	GF 677	N	5 A; 2 B; 10 D; 3 E	5 D	10 D	10 D
	Hansen 536	N	5 D	5 D	10 D	–
	Hansen 2168	N	10 D	–	15 D	5 D
	Adesoto 101	N	5 A	–	10 A	–
PM 105 AD	N	5 A	10 A	10 A	–	
St Julien A	N	5 A	5 A	10 A	–	
Constantí 1	N	10 A	10 A	10 A	–	
PP-1	N	10 A	–	–	–	
Penta	N	10 A	5 A	–	–	
Tetra	N	10 A	5 A	–	–	
Damas GF 1869	N	10 A	10 A	10 A	–	
Adara	N	10 A	9 A	–	–	
Ademir	N	10 A	15 A	–	20 A	
Myrobalan B	N	10 A	10 A; 2 E	15 A	–	
Myrobalan 713 AD	N	17 A; 3 E	20 A	20 A	–	
Ishtara* 'Ferciana'	N	10 A	8 A	–	–	
Miral 3278 AD	N	15 A	13 A	–	–	

Abbreviations: N, visual normal trees.

^a According to Mosse and Herrero (1951): A: Perfect unions; B: Good unions; C: Unions with discontinuities in the bark; D: Unions showing vascular and wood discontinuities; and E: Observed breakage of the tree at the graft union in the nursery or orchard.

incompatibility. These trees exhibited a narrow strip of brown to dark-brown necrotic cambial tissue (prune brownline symptom, PBL), stem pitting, and discontinuities in the woody external cylinder at the junction of the scion and the rootstock, corresponding brownline to the inner bark removed from the graft union (Fig. 4). Okie (1987) reported prune brownline susceptibility for *P. cerasifera* and *P. persica* rootstocks, in general, and Myrobalan 29 C, in particular. However, as previously mentioned, TomRV has not ever been detected in the assessed rootstocks and scions. In addition, the severe consequences of PBL symptom

(decline and eventual death of the affected tree) described by Hoy and Mircetich (1984) were not observed in this study before sawing the assessed trees.

Modern Japanese plum cultivars are predominantly *P. salicina* but also include other species such as *Prunus simonii* Carr., *Prunus cerasifera* Ehrh., *Prunus americana* Marsh. and *Prunus angustifolia* Marsh (Topp et al., 2012). Different studies mentioned that 'Golden Japan' could be an open pollination of 'Wickson' (Goulão et al., 2001), a diploid plum resulted from the cross of Burbank (*P. salicina*) and Simon (*P. simonii*)

Table 3
Graft compatibility and internal examination of the graft unions between Japanese plum cultivars and different *Prunus* rootstocks.

Cultivar	Rootstock	'Translocated' incompatibility symptoms	'Localized' incompatibility Category ^a			
			2 nd year	3 rd year	4 th year	5 th year
			Number of trees			
Angeleno	Adafuel	N	16 A	15 A	6 A	–
	Adarcias	N	15 A	15 A	–	–
	GF 557	N	10 A	3 A	–	–
	GF 677	N	10 A	3 A	–	–
	Hansen 536	N	10 A	12 A	5 A	–
	Hansen 2168	N	10 A	5 A	–	–
	Adesoto 101	N	5 A	10 A	–	–
	PM 44 AD	N	5 A	10 A	–	–
	PM 95 AD	N	5 A	10 A	–	–
	PM 101 AD	N	5 A	5 A	–	–
	PM 105 AD	N	5 A	10 A	–	–
	PM 137 AD	N	5 A	10 A	–	–
	St Julien A	N	5 A	10 A	2 A; 1 B	–
	Constantí 1	N	4 A; 2 B	10 A	–	–
	RC GF 1380	N	5 A	6 A	–	–
	Penta	N	5 A	6 A	–	–
	Damas GF 1869	N	5 A	5 A	–	–
	AP-45	N	–	5 B	–	–
	Aprimed (AP-65)	N	5 A	10 A	–	–
	Ademir	N	5 A	16 A	–	–
	Ishtara® 'Ferciana'	N	5 A	6 A	–	–
	PADAC 99-05	N	5 A	10 A	–	–
	Miral 3278 AD	N	5 A	13 A	–	–
	Myrobalan GF 3-1	N	15 A	–	–	–
Replantpac (RR)	N	5 A	16 A	–	–	
Black Amber	Adafuel	N	15 A; 1 E	15 A	–	–
	Adarcias	N	15 A	12 A	–	5 A
	GF 557	N	10 A	–	–	5 A
	Hansen 536	N	10 A	15 A	–	5 A; 5 C
	Hansen 2168	N	10 A; 1 E	–	–	–
Delbarazur	Adafuel	N	7 A	10 A	–	4 A
	Adarcias	N	3 A	–	–	4 A
	GF 557	N	5 A	–	–	5 A
	GF 677	N	5 A	14 A	–	5 A
	Hansen 536	N	12 A	–	–	8 A
	Hansen 2168	N	6 A	–	–	5 A
	Constantí 1	N	5 A	22 A	–	–
	Adara	N	6 A	26 A	–	–
	Ademir	N	2 A	20 A	20 A; 2 B	–
	Miral 3278 AD	N	20 A	18 A	–	12 A
	Myrobalan 713 AD	N	4 A	–	–	4 A
Friar	Adafuel	N	20 A	40 A	17 A	3 A
	Adarcias	N	4 A	–	4 A	–
	GF 557	N	4 A	–	5 A	–
	GF 677	N	18 A	35 A	17 A	4 A
	Hansen 536	N	13 A	–	5 A	5 A
	Hansen 2168	N	8 A	–	5 A	5 A
	Adesoto 101	N	10 A	7 A	7 A	–
	PM 105 AD	N	20 A	13 A	18 A	–
	St Julien A	N	5 A	9 A	9 A	–
	Constantí 1	N	5 A	28 A	6 A	–
	Damas GF 1869	N	10 A	8 A	8 A	–
	Adara	N	30 A	24 A	5 A	5 A
	Ademir	N	30 A	30 A	25 A; 1 B	10 A
	Miral 3278 AD	N	25 A	22 A	11 A	10 A
	Myrobalan 713 AD	N	16 A	4 A	6 A	4 A
	Myrobalan B	N	6 A	24 A	5 A; 10 B; 5 C	4 D
	Myrobalan GF 3-1	N	1 A; 10 B	–	7 A	7 C
Golden Japan	Adafuel	N	5 A	20 A	22 A; 3 B	13 A
	Adarcias	N	10 C	5 A	10 A; 2 D	12 B; 2 C; 1 D ^b
	GF 557	N	5 A	–	5 A	10 A
	GF 677	N	5 A	5 A	10 A	12 A; 10 D ^b
	Hansen 536	N	5 A	–	4 A; 1 C	10 A
	Hansen 2186	N	10 A	–	4 A; 1 C	10 A
	Nanopac (R-40)	N	5 A	17 A	–	–
	Adesoto 101	N	5 A	10 A	10 A	–
	PM 44 AD	N	5 A	12 A	2 A	2 A
	PM 95 AD	N	5 A	19 A	4 A	–
	PM 101 AD	N	5 A	10 A	11 A	4 A
	PM 105 AD	N	10 A	10 A	10 A	–

(continued on next page)

Table 3 (continued)

Cultivar	Rootstock	‘Translocated’ incompatibility symptoms	‘Localized’ incompatibility Category ^a			
			2 nd year	3 rd year	4 th year	5 th year
			Number of trees			
	PM 137 AD	N	5 A	9 A	11 A	6 A
	St Julien A	N	14 A	11 A	5 A; 1 B	12 A; 4 B
	Constantí 1	N	16 A	20 A	26 A	–
	RC GF 1380	N	5 A	8 A	3 A	–
	Penta	N	5 A	7 A	6 A	–
	Tetra	N	5 A	–	–	20 A
	Torinel	N	5 A	4 A	5 A	10 A
	Damas GF 1869	N	5 A	18 A; 2B	10 A; 2 B; 6 D ^b	–
	Adara	N	30 A	30 A	–	10 A
	AP-45	Ab	2 B	13 B	–	–
	Aprimed (AP-65)	N	5 A	16 A	–	–
	Ademir	N	40 A	15 A	20 A	30 A; 2 B
	Densipac (R-20)	N	5 A	17 A	–	–
	Myrobalan B	N	5 A; 8 B; 4 C	25 A	20 A; 7 C	8 C; 7 D ^b
	Ishtara® ‘Ferciana’	N	5 A	11 A	2 A	6 A
	Miral 3278 AD	N	30 A	20 A	20 A; 1 B	20 A; 4 B; 3 C
	Myrobalan 713 AD	N	10 A	5 A	22 A	20 A
	Myrobalan 29 C	N	10 A	–	–	2 C; 9 D ^b
	Myrobalan GF 3-1	N	10 A	5 A	3 C	10 A; 1 C; 3 D ^b
	Myrocal	N	5 A	–	9 A	11 A
	Marianna 2624	N	10 A	–	–	11 A
	Marianna GF 8-1	N	10 A	–	–	3 C; 8 D ^b
	PADAC 99-05	N	5 A	13 A	6 A	7 A
	PADAC 04-01	N	5 A	16 A	–	–
	Replantpac (RR)	N	5 A	17 A	–	–
Songold	Adafuel	N	10 A	6 A	–	–
	Adarcias	N	10 A	7 A	–	–
	GF 557	N	10 A	5 A	–	–
	GF 677	N	10 A	10 A	–	–
	Hansen 536	N	10 A	5 A	–	–
	Hansen 2168	N	10 A	7 A	–	–

Abbreviations: N, visual normal trees; Ab, abnormal scion behavior, reduction in vigor, leaf yellowing.

^a According to Mosse and Herrero (1951): A: Perfect; B: Good unions; C: Unions with discontinuities in the bark; D: Unions showing vascular and wood discontinuities; and E: Observed breakage of the tree at the graft union in the nursery or orchard.

^b Narrow strip of brown to dark-brown cambial tissue (brownline) together with stem pitting in the wood cylinder at the junction of the scion and rootstock.



Fig. 4. Narrow strip of brown to dark-brown cambial tissue (brownline), stem pitting, and discontinuities in the woody external cylinder at the junction of ‘Golden Japan’ and Myrobalan GF 3-1.

(Boonprakob et al., 2001), but ‘Golden Japan’ could also have *P. cerasifera* in its ancestry (Duval, 1999). In addition, Hoy and Mircetich (1984) also reported that PBL results from the hypersensitive reaction of prune scions to TomRV infections in peach and Myrobalan rootstocks. The unclear parentage of ‘Golden Japan’ and the putative

hypersensitivity of this cultivar to TomRV could help to explain the possible incompatibility (wood discontinuities) between ‘Golden Japan’ and peach and Myrobalan based rootstocks.

The study of stem circumferences above, below and at the graft union did not show any significant correlation with the ‘localized’ graft incompatibility occurrence (data not shown), in contrast with peach and apricot graft compatibility studies (Zarrouk et al., 2006; das Neves et al., 2017; Reig et al., 2018c).

The predominant type of incompatibility found in this study, mostly concerning the peach-almond hybrids and European plums (‘Stanley’ cv.), is an interesting result, as ‘localized’ incompatibility can be solved by the use of mutually compatible interstocks. Consequently, peach-almond hybrids could be used as rootstocks in calcareous soils, typical of the Mediterranean area, to avoid iron chlorosis in plum orchards, as also reported with cherries (López-Ortega et al., 2016).

4. Conclusions

In general, when graft incompatibility was early detected between European and Japanese plums and rootstocks, it also appeared continuously over the years of evaluation, with the exception of the Japanese cv. ‘Golden Japan’. Previous testing should be made when peach × almond hybrids rootstocks are going to be used with plum cultivars, as graft compatibility is strongly dependent on the budded cultivars. Japanese plums seem to be, in general, less exigent in terms of graft compatibility than European plums. However, special attention should be paid when they include in their genetic background other species than *P. salicina*, especially when budded on Myrobalan and

peach based rootstocks. In addition, this study confirmed the interest of *P. insititia* specie as well as several interspecific *Prunus* hybrids as a good source of rootstocks for the plum industry.

Acknowledgements

Financial support was provided by the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness (MINECO) grants CDTI IDEI-20130949, AGL2011-24576 and AGL2014-52063-R, and was co-funded by the FEDER and the Regional Government of Aragón (A44). G. Reig and C. Font i Forcada were supported by the Spanish Ministry of Economy, Industry and Competitiveness (MINECO) and Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). O. Zarrouk was supported by a fellowship from the Spanish Agency for International Cooperation (AECI). A. Salazar was supported by a fellowship from the Secretary of Education, Science and Technology (SENESCYT) of the Ecuadorian Government.

References

- Ben Yahmed, J.B., Ghrab, M., Ben Mimoun, M., 2016. Eco-physiological evaluation of different scion-rootstock combinations of almond grown in Mediterranean conditions. *Fruits* 71, 185–193.
- Boonprakob, U., Byrne, D.H., Graham, C.J., Okie, W.R., Beckman, T., Smith, B.R., 2001. Genetic relationships among cultivated diploid plums and their progenitors as determined by RAPD markers. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 126 (4), 451–461.
- Byrne, D.H., Raseira, M.B., Bassi, D., Piagnani, M.C., Gasic, K., Reighard, G.L., Moreno, M.A., Pérez, S., 2012. The peach. In: Badenes, M.L., Byrne, D.H. (Eds.), *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding* 8. Springer Science + Business Media, pp. 505–569.
- Ciobotari, G., Brinza, M., Morariu, A., Gradinariu, G., 2010. Graft incompatibility influence on assimilating pigments and soluble sugars amount of some pear (*Pyrus sativa*) cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 38, 187–192.
- Darikova, J.A., Savva, Y.V., Vaganov, E.A., Grachev, A.M., Kuznetsova, G.V., 2011. Grafts of woody plants and the problem of incompatibility between scion and rootstocks (a review). *J. Siberian Fed. Univ. Biol.* 4, 54–63.
- das Neves, T.R., Mayer, N.A., Ueno, B., 2017. Graft incompatibility in *Prunus* spp. Preceded by SPAD index reduction. *Semina Cienc. Agrar.* 38, 635–648.
- Desvignes, J.C., Boyé, R., 1988. Different diseases caused by the Chlorotic leaf spot virus on the fruit trees. *Acta Hort.* 235, 31–35.
- Dogra, K., Kour, K., Kumar, R., Bkshi, P., Kumar, V., 2018. Graft-incompatibility in horticultural crops. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7 (2), 1805–1820.
- Duval, H., 1999. Prunes japonaises: un défi à relever. *Arboricult. Fruitière* 524, 35–42.
- Duval, H., 2004. Agronomic evaluation of INRA *Prunus* rootstocks for two Japanese plum cultivars: 'Friar' and 'Black Amber'. *Acta Hort.* 663, 957–960.
- Ferlito, F., Continella, A., Nicolosi, E., Dimauro, B., Brugaletta, M., Cicala, A., La Malfa, S., 2015. Bio-agronomic characterization of twelve plum cultivars on two clonal rootstocks in a semi-arid environment in Sicily. *Fruits* 70 (4), 249–256.
- Fernández, C., Pinochet, J., Esmenjaud, D., Salesses, G., Felipe, A., 1994. Resistance among new *Prunus* rootstocks and selections to root-knot nematodes in Spain and France. *HortScience* 29 (9), 1064–1067.
- Font i Forcada, C., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., 2012. Agronomical and fruit quality traits of two peach cultivars on peach–almond hybrid rootstocks growing on Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 140, 157–163.
- Goldschmidt, E.E., 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Front. Plant Sci.* 5, 1–9.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Geneve, R.L., 2002. Plant propagation. Principles and practices. In: Education, Pearson (Ed.), *Principles of Grafting and Budding*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, pp. 411–460.
- Hoy, J.W., Mircetich, S.M., 1984. Prune brownline disease: susceptibility of prune rootstocks and Tomato Ringspot Virus detection. *Phytopathology* 74 (3), 273–276.
- Jiménez, S., Pinochet, J., Abadía, A., Moreno, M.A., Gogorcena, Y., 2008. Tolerance response to iron chlorosis of *Prunus* selections as rootstocks. *HortScience* 43 (2), 304–309.
- López-Ortega, G., García-Montiel, F., Bayo-Canha, A., Frutos-Ruiz, C., Frutos-Tomás, D., 2016. Rootstock effects on the growth, yield and fruit quality of sweet cherry cv. 'Newstar' in the growing conditions of the Region of Murcia. *Sci. Hortic.* 198, 326–335.
- Martínez-Ballesta, M.C., Alcaraz-López, C., Muries, B., Mota-Cadenas, C., Carvajal, M., 2010. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Sci. Hortic.* 127, 112–118.
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J.A., Pinochet, J., Moreno, M.A., 2015. Influence of peach–almond hybrids and plum-based rootstocks on mineral nutrition and yield characteristics of 'Big Top' nectarine in replant and heavy-calcareous soil conditions. *Sci. Hortic.* 192, 475–481.
- Mestre, L., Reig, G., Betrán, J., Moreno, M.A., 2017. Influence of plum rootstocks on agronomic performance, leaf mineral nutrition and fruit quality of 'Catherina' peach cultivar in heavy-calcareous soil conditions. *Span. J. Agric. Res.* 15 (1), e0901.
- Moreno, M.A., 2004. Breeding and selection of *Prunus* rootstocks at the Aula Dei Experimental Station, Zaragoza, Spain. *Acta Hort.* 658, 519–528.
- Moreno, M.A., Moing, A., Lansac, M., Gaudillère, J.P., Salesses, G., 1993. Peach/Myrobalan plum graft incompatibility in the nursery. *J. Hortic. Sci.* 68 (5), 705–714.
- Moreno, M.A., Gaudillère, J.P., Moing, A., 1994. Protein and amino acid content in compatible and incompatible peach/plum grafts. *J. Hortic. Sci.* 69 (6), 955–962.
- Moreno, M.A., Gella, R., Aparicio, J., Tabuenca, M.C., 1995a. Incompatibilidad entre patrón e injerto. Variedades de ciruelo injertadas sobre híbridos almendro x melocotonero. *An. Aula Dei.* 21 (3), 217–220.
- Moreno, M.A., Tabuenca, M.C., Cambra, R., 1995b. Adesoto 101, a plum rootstock for peaches and other stone fruit. *HortScience* 30 (6), 1314–1315.
- Moreno, M.A., Tabuenca, M.C., Cambra, R., 1995c. Adara, a plum rootstock for cherries and other stone fruit species. *HortScience* 30 (6), 1316–1317.
- Moreno, M.A., Adrada, R., Aparicio, J., Betrán, J., 2001. Performance of 'Sunburst' sweet cherry grafted on different rootstocks. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76 (2), 167–173.
- Mosse, B., 1960. Graft incompatibility in plums; observations on a ten year-old field trial. *J. Hortic. Sci.* 35, 260–265.
- Mosse, B., 1962. Graft-incompatibility in Fruit Trees. *Tech. Commun. No. 28, Comm. Bur. Hort. And Plant Crops East Malling, England.*
- Mosse, B., Herrero, J., 1951. Studies on incompatibility between some pear and quince grafts. *J. Hortic. Sci.* 26, 238–245.
- Nyczcepr, A.P., Esmenjaud, D., 2008. Nematodes. In: Layne, D.R., Bassi, D. (Eds.), *The Peach: Botany, Production and Uses*. CABI publishing, Oxfordshire, pp. 505–535.
- Okie, W.R., 1987. Plum rootstocks. In: Rom, R.C., Carlson, R.F. (Eds.), *Rootstocks for Fruit Crops*. John Wiley and Sons, NY, pp. 321–360.
- Pina, A., Errea, P., Schulz, A., Martens, H.J., 2009. Cell-to-cell transport through plasmodesmata in tree callus cultures. *Tree Physiol.* 29, 809–818.
- Pina, A., Errea, P., Martens, H.J., 2012. Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. *Sci. Hortic.* 143, 144–150.
- Pina, A., Cookson, S.J., Calatayud, A., Trinchera, A., Errea, P., 2017. Physiological and molecular mechanisms underlying graft compatibility. In: Colla, G., Pérez-Alfocea, F., Schwarz, D. (Eds.), *Vegetable grafting: Principles and Practices*. CAB International, pp. 132–154.
- Pinochet, J., Calvet, C., Hernández-Dorrego, A., Bonet, A., Felipe, A., Moreno, M.A., 1999. Resistance of peach and plum rootstocks from Spain, France, and Italy to root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *HortScience* 34 (7), 1259–1262.
- Pinochet, J., Cunill, M., Torrents, J., Eremín, G., Eremín, V., Nicotra, A., Penyalver, R., López, M.M., Jiménez, S., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., 2012. Response of low and medium vigour rootstocks for peach to biotic and abiotic stresses. *Acta Hort.* 962, 627–632.
- Reig, G., Font i Forcada, C., Mestre, L., Jiménez, S., Betrán, J.A., Moreno, M.A., 2018a. Horticultural, leaf mineral and fruit quality traits of two 'Greengage' plum cultivars budded on plum based rootstocks in Mediterranean conditions. *Sci. Hortic.* 232, 84–91.
- Reig, G., Font i Forcada, C., Mestre, L., Betrán, J.A., Moreno, M.A., 2018b. Potential of new *Prunus cerasifera* based rootstocks for adapting under heavy and calcareous soil conditions. *Sci. Hortic.* 234, 193–200.
- Reig, G., Zarrouk, O., Font i Forcada, C., Moreno, M.A., 2018c. Anatomical graft compatibility study between apricot cultivars and different plum based rootstocks. *Sci. Hortic.* 237, 67–73.
- Topp, B.L., Russell, D.M., Neumüller, M., Dalbó, M.A., Liu, W., 2012. Plum. In: Badenes, M.L., Byrne, D.H. (Eds.), *Fruit Breeding, Handbook of Plant Breeding* 8. Springer Science + Business Media, pp. 571–621.
- Usenik, V., Krška, B., Vičan, M., Štampar, F., 2006. Early detection of graft incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.) using phenol analysis. *Sci. Hortic.* 109, 332–338.
- Zarrouk, O., Pinochet, J., Gogorcena, Y., Moreno, M.A., 2006. Graft compatibility between peach cultivars and *Prunus* rootstocks. *HortScience* 41 (6), 1389–1394.
- Zarrouk, O., Testillano, P.S., Risueño, M.C., Moreno, M.A., Gogorcena, Y., 2010. Changes in cell/tissue organization and peroxidase activity as markers for early detection of graft incompatibility in peach/plum combinations. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 135, 9–17.