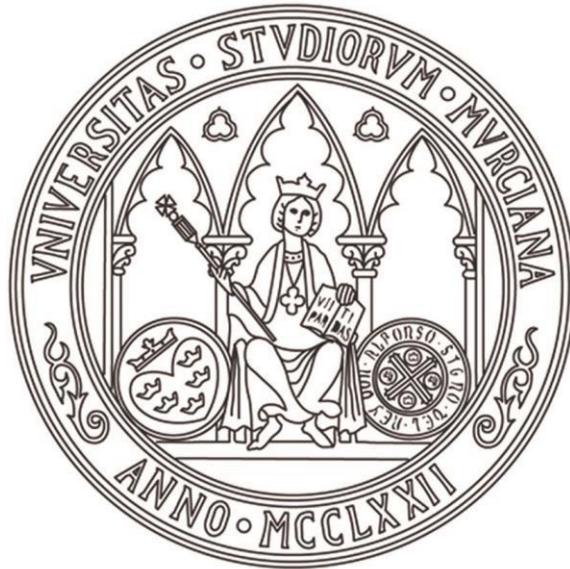




UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
TESIS DOCTORAL

TÉCNICAS CULTURALES PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD DEL RIEGO EN *Prunus persica*

D.^a Lidia López Martínez
2024



UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
TESIS DOCTORAL

TÉCNICAS CULTURALES PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD DEL RIEGO EN *Prunus persica*

Autor: D.^a Lidia López Martínez

Director/es: D.^a María del Carmen Ruiz Sánchez

D.^a María del Rosario Conesa Saura



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022

D./Dña. LIDIA LÓPEZ MARTÍNEZ

doctorando del Programa de Doctorado en

BIOLOGÍA VEGETAL

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

TÉCNICAS CULTURALES PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL RIEGO EN Prunus persica

y dirigida por,

D./Dña. M^a CARMEN RUIZ SÁNCHEZ

D./Dña. M^a ROSARIO CONESA SAURA

D./Dña.

DECLARO QUE:

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:

- La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 25 de septiembre de 2024

Fdo.: LIDIA LÓPEZ MARTÍNEZ

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia



CENTRO DE EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA
APLICADA DEL SEGURA

TESIS DOCTORAL

TÉCNICAS CULTURALES PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD DEL RIEGO EN *Prunus persica*

Autora: D.^a Lidia López Martínez

Director/as: D.^a María del Carmen Ruiz Sánchez
D.^a María del Rosario Conesa Saura

Este trabajo de Tesis se ha realizado en el Departamento de Riego del CEBAS-CSIC y se encuadra en las actividades de los proyectos de investigación financiados por el MICINN: “Caracterización del sistema radical de frutales de hueso en diferentes regímenes de riego localizado (AGL2010-14861)”; MINECO-FEDER: “Sostenibilidad del riego deficitario automatizado con aguas regeneradas en cítricos y frutales. Índices agro-fisiológicos (AGL2013-49047-C2-2R)”, “Riego de precisión sostenible en cítricos y frutales de hueso con aguas de diferente calidad. (PRECIFRUT) (AGL2016-77282-C3-1R)”; MICIU: “Riego deficitario de precisión basado en indicadores de suelo y planta en cultivos leñosos con aguas de distinta calidad (PID2019-106226RB-C2-1)”, “Riego sostenible de cultivos leñosos basado en algoritmos de suelo y planta (SP-IRRICROP) (PID2023-147690OB-I00)”; por la Fundación Séneca de la Región de Murcia-Ayuda a Grupos de Excelencia (9903/GERM/15) y por el MICINN con Fondos Next Generation-EU y la Fundación Séneca de la Región de Murcia: “Optimización del uso del agua mediante el riego de precisión, manejo del cultivo y estrategias de riego deficitario en condiciones semiáridas. AGROALNEXT (PRTR-C17.11)”.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE LA DOCTORANDA DURANTE EL PERIODO DE TESIS

Publicaciones científicas

En revistas científicas incluidas en el SCI

- Abrisqueta, I., **López-Martínez, L.**, Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2017. Root and aerial growth in early-maturing peach trees under two crop load treatments. *Spanish Journal of Agricultural Research*: 15 (2):31-35. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017152-10714>
- Conesa, M.R., **López-Martínez, L.**, Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2019. Summer pruning on *Prunus persica*: water implications. *Scientia Horticulturae* 256: 108539. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.066>
- Conesa, M.R., **López-Martínez, L.**, Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungus stimulates field-grown young nectarine trees. *Sustainability* 13: 8804. <https://doi.org/10.3390/su13168804>.

En revistas científicas internacionales no incluidas en el SCI

- Ruiz-Sánchez, M.C., Abrisqueta, I., **López-Martínez, L.**, Conejero, W., Vera, J. 2022. Long-term summer pruning in peach trees. Is it an advisable cultural practice? *Acta Horticulturae* 1335: 491-498. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1335.61>

En revistas científicas nacionales no incluidas en el SCI

- Abrisqueta, I., **López-Martínez, L.**, Abrisqueta, J.M., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C., Quezada-Martín, R., Munguía-López, J.P. 2012. ¿Afecta el riego deficitario a la composición mineral foliar del melocotonero? *Agricultura* 948: 142-146.
- Abrisqueta, I., **López-Martínez, L.**, Abrisqueta, J.M., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2012. Estudio de la dinámica de raíces en frutales. *Agrícola Vergel* 357: 203-207.

Participación en Congresos Científicos

Internacionales

- Abrisqueta, I., **López-Martínez, L.**, Abrisqueta, J.M., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2011. Relaciones hídricas de melocotoneros bajo distintas condiciones de manejo del cultivo. *XIX Reunión de la Sociedad Española Fisiología Vegetal y XII Congreso Hispano-Luso de Fisiología Vegetal* (Castelló de la Plana). Libro de Resúmenes 119. (<http://www.sefv2010.uji.es/>).
- Vera, J., **López-Martínez, L.**, Abrisqueta, I., Conejero, W., Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C. 2012. Huella y eficiencia hídricas del melocotonero extratemprano con riego localizado. *XI Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas*. (Sevilla), 142-145. (<http://www.rhsevilla2012.com/>).
- Ruiz-Sánchez, M.C., Abrisqueta, I., **López-Martínez, L.**, Conejero, W., Conesa, M.R., Vera, J. 2019. Long-term summer pruning in peach trees: is it an advisable cultural practice? *IX International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*. ISHS (Matera, Italy), 146.
- Conesa, M.R., **López-Martínez, L.**, Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2021. Potential of *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum* to enhance field establishment of young nectarine trees. *XXIV Reunión de la Sociedad Española Fisiología Vegetal y XVII Spanish Portuguese Congress of Plant Physiology (BP 2021)*, Vigo.

Nacionales

- Vera, J., Abrisqueta, I., **López-Martínez, L.**, Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C. 2012. Dinámica espacial de perfiles de humedad del suelo con sondas capacitivas en riego localizado. *XXX Congreso Nacional de Riegos (AERYD)* (Albacete), (<http://www.congresoriegos-aeryd.org/>).
- Conesa, M.R., **López-Martínez, L.**, Vera, J., Conejero, W., Ruiz-Sánchez, M.C. 2018. Poda en verde en frutales ¿práctica cultural recomendable? *1er Congreso de jóvenes investigadores en ciencias agro-alimentarias. "Hacia la sostenibilidad hídrica en España. Gestión integrada de recursos hídricos"*. (Almería), 194-195.
- Conesa, M.R., Conejero, W., **López-Martínez, L.**, Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. 2023 ¿Afecta la superficie humectada del riego localizado al rendimiento de frutales de hueso? *XXXIX Congreso Nacional de Riegos (Úbeda, Jaén)*, PB-04, (<https://aeryd.es/39-congreso-nacional-de-riegos-ubeda-2023/>).

ÍNDICE

ÍNDICE

Resumen y Abstract.....	1
1. Justificación y Objetivos.....	7
2. Antecedentes	11
2.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DE <i>PRUNUS PERSICA</i> (L.) BATSCH.....	13
2.2. IMPORTANCIA DEL CULTIVO.....	20
2.3. TÉCNICAS CULTURALES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO EN FRUTALES.....	23
2.3.1. <i>Manejo de la carga productiva</i>	24
2.3.2. <i>Aplicación de bioestimulantes</i>	26
2.3.3. <i>Manejo de la poda: poda en verde</i>	27
3. Condiciones experimentales	29
3.1. PARCELAS EXPERIMENTALES	31
3.1.1. <i>Localización y material vegetal</i>	31
3.1.2. <i>Suelo</i>	33
3.1.3. <i>Riego</i>	34
3.1.4. <i>Labores de cultivo</i>	36
3.2. CLIMA	37
3.3. MEDIDAS	40
3.3.1. <i>Estado hídrico</i>	40
3.3.2. <i>Crecimiento vegetativo</i>	41
3.3.3. <i>Crecimiento del fruto</i>	47
3.3.4. <i>Producción y calidad del fruto</i>	47
4. Efectos de la carga productiva en la respuesta agronómica y fisiológica de melocotoneros adultos.....	51
4.1. INTRODUCCIÓN.....	53
4.2. MATERIAL Y MÉTODOS	54
4.2.1. <i>Parcela experimental y tratamientos</i>	54
4.2.2. <i>Medidas</i>	55
4.2.3. <i>Análisis estadístico</i>	59
4.3. RESULTADOS.....	60
4.3.1. <i>Procedimientos metodológicos con minirrizotrones</i>	60
4.3.2. <i>Patrón de crecimiento de raíces y parte aérea</i>	61
4.3.3. <i>Efecto de la carga productiva en el estado hídrico y crecimiento vegetativo y del fruto</i> .	64
4.3.4. <i>Efecto de la carga productiva en la producción y distribución de calibres</i>	66
4.4. DISCUSIÓN	67
4.4.1. <i>Procedimientos metodológicos con minirrizotrones</i>	67
4.4.2. <i>Patrón de crecimiento de raíces y parte aérea</i>	68
4.4.3. <i>Efecto de la carga productiva en el estado hídrico, el crecimiento y la producción</i>	69
4.5. CONCLUSIONES.....	72

5. Efectos de la aplicación de micorrizas en la respuesta agronómica y fisiológica de nectarinos jóvenes 73

5.1.	INTRODUCCIÓN.....	75
5.2.	MATERIAL Y MÉTODOS	76
5.2.1.	<i>Parcela experimental y tratamientos</i>	76
5.2.2.	<i>Medidas.....</i>	78
5.3.	RESULTADOS.....	81
5.3.1.	<i>Datos meteorológicos y estado hídrico del árbol</i>	81
5.3.2.	<i>Crecimiento vegetativo raíces vs. parte aérea</i>	82
5.3.3.	<i>Parámetros productivos y eficiencias</i>	88
5.3.4.	<i>Calidad del fruto. Relaciones alométricas</i>	89
5.4.	DISCUSIÓN	91
5.5.	CONCLUSIONES.....	95

6. Efectos del manejo de la poda en la respuesta agronómica y fisiológica de melocotoneros adultos y nectarinos jóvenes 97

6.1.	INTRODUCCIÓN.....	99
6.2.	MATERIAL Y MÉTODOS	100
6.2.1.	<i>Parcelas experimentales y tratamientos</i>	100
6.2.2.	<i>Medidas.....</i>	102
6.3.	RESULTADOS.....	104
6.3.1.	<i>Peso de poda</i>	104
6.3.2.	<i>Cobertura foliar</i>	105
6.3.3.	<i>Estado hídrico.....</i>	107
6.3.4.	<i>Efectos sobre el rendimiento y la calidad del fruto</i>	109
6.3.5.	<i>Eficiencia económica de la poda en verde.....</i>	111
6.4.	DISCUSIÓN	112
6.5.	CONCLUSIONES.....	115

7. Conclusiones Generales 117

8. Bibliografía 123

Listado de Abreviaturas y Símbolos 145

Índice de Figuras, Tablas y Fotografías 153

Resumen y Abstract

Resumen

El cultivo de frutales en zonas afectadas por el cambio climático reclama el desarrollo de técnicas que permitan mitigar los efectos adversos de los déficits hídricos asociados, aprovechando los limitados recursos hídricos. Por ello el objetivo de esta Tesis fue el de mejorar la productividad del riego mediante la aplicación de técnicas culturales de dos variedades de *Prunus persica* (melocotón y nectarina) de maduración temprana, de las que la Región de Murcia es la tercera comunidad española en superficie y producción. Se estudia la respuesta agronómica y fisiológica del cultivo, en su estado juvenil y adulto, al manejo de la carga productiva y de la poda en verde, así como la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares. Los ensayos se han realizado en condiciones de campo en la finca experimental del CEBAS-CSIC, en Santomera (Murcia), evaluando los efectos de las tres técnicas culturales sobre la dinámica de raíces, el crecimiento vegetativo, las relaciones agua-planta, la producción y la calidad de la cosecha en árboles regados por goteo en condiciones no limitantes de agua.

A nivel metodológico se ha constatado que el uso de minirrizotrones, junto al escáner circular y los programas de análisis de imágenes, han resultado una técnica muy útil para estudiar la dinámica del sistema radical en condiciones de campo. El crecimiento de las raíces, tanto de melocotoneros adultos como de nectarinos jóvenes, fue continuo durante la estación, en las condiciones de cultivo estudiadas. Las raíces crecieron de forma alternante con la parte aérea de los árboles, y con distintas velocidades: bajas durante el crecimiento activo de los frutos y altas después de la cosecha.

Las prácticas de manejo de la carga productiva, mediante distintos grados de aclareo de frutos (carga comercial y carga baja) en melocotoneros adultos se tradujeron en un mayor crecimiento de ramos, frutos y raíces (es este caso no significativo) en los árboles con carga baja que en los de carga comercial. La producción total fue menor en los árboles con carga baja, aunque el tamaño individual de los frutos fue mayor, lo que podría aumentar la rentabilidad del cultivo cuando el mercado exija frutos de tamaño extra. Las prácticas de aclareo deben adaptarse al tamaño del árbol y a las condiciones de

riego (riego total o deficitario) a fin de garantizar una adecuada exposición a la luz de los frutos.

La aplicación de micorrizas (*Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*) en nectarinos jóvenes aumentó en un 50 % el crecimiento de las raíces, con respecto al de árboles sin inocular. La mayor producción de nectarinas en los árboles inoculados con micorrizas indujo un incremento del 20 % en la eficiencia del uso del agua (kg de fruta cosechada por m³ de agua de riego aplicada). La biomasa aérea y el estado hídrico de los árboles fue similar en las dos condiciones estudiadas, con y sin micorrizas, debido posiblemente al carácter joven del cultivo. La mejora en el establecimiento del cultivo en sus primeros años de vida sugiere la adopción de este tipo de simbiosis en frutales a fin de aumentar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas.

La poda en verde, consistente en eliminar los brotes verdes tras la recolección, ha resultado ser una práctica cultural muy adecuada en términos de productividad tanto en árboles adultos como en jóvenes de *Prunus persica*, ya que el rendimiento y la calidad del fruto fueron similares a los obtenidos en árboles podados sólo en invierno. La cobertura foliar, evaluada a partir del análisis de imágenes cenitales, fue menor en los árboles con poda en verde, lo que propició un mejor estado hídrico en estos árboles durante la poscosecha coincidiendo con unas condiciones ambientales de alta demanda hídrica, lo que implica una reducción en el consumo de agua en este periodo.

Estos resultados contribuyen a incrementar la productividad del agua de riego, con la aplicación de técnicas de cultivo de fácil acceso al sector agrario, como son el manejo de la carga productiva, la aplicación de micorrizas o la poda en verde, suponiendo además, un avance en el conocimiento de la respuesta agronómica y fisiológica a estas técnicas culturales en variedades de *Prunus persica* de maduración temprana y bajos requerimientos hídricos, y por lo tanto mejor adaptadas para soportar los efectos de la sequía que augura el escenario de emergencia climática en el que nos encontramos.

Abstract

The fruit tree culture in areas affected by climate change demands the development of techniques to mitigate the adverse effects of the associated water deficits, taking advantage of limited water resources. Therefore, the objective of this Thesis was to improve irrigation productivity through the application of cultural techniques in two cultivars of *Prunus persica* (peach and nectarine) of early ripening, of which the Region of Murcia is the third largest Spanish producer. The agronomic and physiological responses of the crop, in its young and adult state, to crop load and summer pruning practices, as well as the application of arbuscular mycorrhizae fungi, is studied. The trials were carried out in field conditions at the experimental station of CEBAS-CSIC, in Santomera (Murcia), evaluating the effects of the three cultural techniques on root dynamics, vegetative growth, plant-water relations, yield and fruit quality in drip irrigated trees under non-limiting water conditions.

At the methodological level, it was found that the use of minirhizotrons, together with the circular scanner and image analysis programs, is a very useful technique to study the root system dynamics under field conditions. The growth of the roots, both of adult peach and young nectarine trees, was continuous during the season, under the studied conditions. The roots grow alternately with the aerial part of the trees, and at different rates: low during the active fruit growth period and high after harvest.

The crop load practices in adult peach trees, through different degrees of fruit thinning (commercial and low crop load), resulted in a greater growth of branches, fruits and roots (in this case not significant) in trees with low crop load compared to those with commercial load. Total yield was lower in low-load trees, although individual fruit size was larger, which could increase crop profitability when the market demands oversized fruits. Thinning practices should be adapted to the size of the tree and the irrigation conditions (full or deficit irrigation) to ensure adequate fruits light exposure.

The application of mycorrhizae (*Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*) in young nectarine trees increased root growth by 50 % compared to that of non-inoculated trees. The increased production of nectarines induced a 20 % increase

in water use efficiency (kg of fruit harvested per m³ of irrigation water applied) in the trees inoculated with mycorrhizae. The aboveground biomass and the plant water status were similar in the two studied conditions, with and without mycorrhizae, possibly due to the young nature of the trees. The improvement of the establishment of the crop in its first years of life suggests the adoption of this type of symbiosis in fruit trees in order to increase the sustainability of agricultural practices.

Summer pruning, consisting of removing green shoots after harvest, applied to both adult and young trees of *Prunus persica*, has revealed as a good cultural practice in terms of productivity, since the yield and quality of the fruits were similar to those obtained from trees pruned only in winter. Canopy cover, evaluated from the analysis of zenithal images, was lower in summer pruned trees, which led to a better water status in these trees during the post-harvest coinciding with high water demand environmental conditions, which implies a reduction in plant water consumption during this period.

These results will contribute to the optimization of irrigation (increasing the irrigation water productivity) with the application of cultural techniques that are easily accessible to the agricultural sector, such as the management of the crop load, the application of mycorrhizae or summer pruning, also representing an advance in the knowledge of the agronomic and physiological responses to these cultural techniques in early maturing *Prunus persica* with low water requirements, and therefore better adapted to withstand the effects of the drought that augurs the climate emergency scenario in which we find ourselves.

1. Justificación y Objetivos

El cambio climático es una realidad que está perturbando el ciclo del agua en todo el planeta. En la agricultura de regadío, principal consumidor de agua dulce, sus efectos se traducen, entre otros, en una disminución de la disponibilidad de agua. Este escenario insta a realizar esfuerzos para aprovechar al máximo los limitados recursos hídricos y desarrollar técnicas que permitan a los cultivos mitigar los efectos adversos de los déficits hídricos esperados.

El melocotón y la nectarina son, juntos, la cuarta especie frutal cultivada más importante del mundo. España es el segundo país productor de la cuenca Mediterránea, después de Italia, y la Región de Murcia es la tercera comunidad autónoma española, contribuyendo al 66 % de la producción de frutales no cítricos en la región.

Para el cultivo de frutales en las condiciones semiáridas del clima mediterráneo se han propuesto diversas acciones orientadas a optimizar el uso del agua de riego, entre ellas la adopción de estrategias de riego deficitario (controlado, sostenido, riego parcial de raíces), el uso de fuentes de agua alternativas (desaladas, regeneradas), la programación del riego ajustada a las necesidades hídricas del cultivo con el uso de sensores del continuo suelo-planta-atmósfera (los riegos de precisión), o la aplicación de técnicas agronómicas (micorrizas, bacterias, sombreado, manejo de poda y de la carga productiva, etc.).

El objetivo global de esta Tesis se centra en **mejorar la productividad del riego en dos cultivares de *Prunus persica* (L.) Batsch: melocotoneros adultos (cv. Flordastar) y nectarinos jóvenes (cv. Flariba), mediante la aplicación de técnicas culturales, estudiando la respuesta agronómica y fisiológica del cultivo**. Las técnicas de cultivo estudiadas incluyen el manejo de la carga productiva y de la poda en verde y la aplicación al suelo de hongos micorrízicos arbusculares. Los ensayos se han realizado en condiciones de campo en la finca experimental del CEBAS-CSIC, en Santomera (Murcia), evaluando los efectos de dichas técnicas culturales sobre la dinámica de raíces, el crecimiento vegetativo, las relaciones agua-planta, la producción y la calidad de la cosecha.

Este objetivo general se aborda a través de los siguientes objetivos parciales:

1. Evaluación de la respuesta agro-fisiológica de melocotoneros adultos al manejo de la carga productiva, mediante el aclareo de frutos con carga comercial y carga baja.
2. Estudio de la dinámica y distribución del sistema radical con minirrizotrones, en *Prunus persica*, en distintas condiciones de manejo del cultivo.
3. Evaluación del patrón de crecimiento de la raíz de nectarinos jóvenes en relación con el de otros órganos aéreos de la planta (tronco, frutos y ramos).
4. Evaluación de la respuesta agro-fisiológica de nectarinos jóvenes a la aplicación al suelo del hongo arbuscular micorrícico (*Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*), orientada a mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo y el establecimiento del cultivo en condiciones de campo.
5. Evaluación de la respuesta agro-fisiológica del cultivo a la aplicación de poda en verde (eliminación de brotes verdes tras la recolección), orientada a reducir el consumo de agua en los meses de máxima demanda evapotranspirativa. Estudio comparativo en árboles adultos (melocotoneros) y jóvenes (nectarinos).

Los resultados pretenden contribuir a optimizar el riego aplicando técnicas de cultivo tradicionales de fácil acceso al sector agrario. Además, éstos supondrán un avance en el conocimiento de la respuesta agronómica y fisiológica de las variedades de *Prunus persica* estudiadas, ambas de maduración temprana y bajos requerimientos hídricos, y por lo tanto mejor adaptadas para soportar los efectos de la sequía, que augura el escenario de emergencia climática en el que nos encontramos.

2. Antecedentes

2.1. Origen y características botánicas de *Prunus persica* (L.) Batsch

Prunus persica (L.) Batsch, comúnmente conocido como melocotonero, es un árbol frutal cuyo nombre puede hacer creer que es originario de Persia, sin embargo, su variabilidad genética ha confirmado que es originario de China, donde podría haberse cultivado hace más de 4000 años (Scorza y Okie, 1990). Desde China, pudo llegar a través de las distintas rutas comerciales a Persia, donde fue domesticado, de ahí su nombre. Se cree que fue introducido en Europa por Alejandro Magno, quien descubrió este fruto en las distintas rutas comerciales de la Ruta de la Seda y lo llevó a Grecia durante el siglo IV a.C, aunque otros autores indican que fue introducido por los romanos. Sin embargo, no fue hasta bien avanzada la Edad Media cuando el cultivo y consumo de este fruto se extendió por toda Europa desarrollando una expansión definitiva a lo largo del siglo XIX.

La expansión mundial como alimento de primera magnitud es relativamente reciente, a principios del siglo XX, cuando se comienzan a seleccionar los genotipos más productivos procedentes de semillas y se realizan los injertos e hibridaciones (Cambra, 1985; Badenes, 2000).

El lugar de origen de la **nectarina** es desconocido, aunque se cree que puede ser igualmente China. Nectarina deriva de la palabra néctar, que significa bebida de los dioses. El primer caso registrado de un melocotonero que producía nectarinas tuvo lugar en 1741, según indican Childers y Sherman (1988).

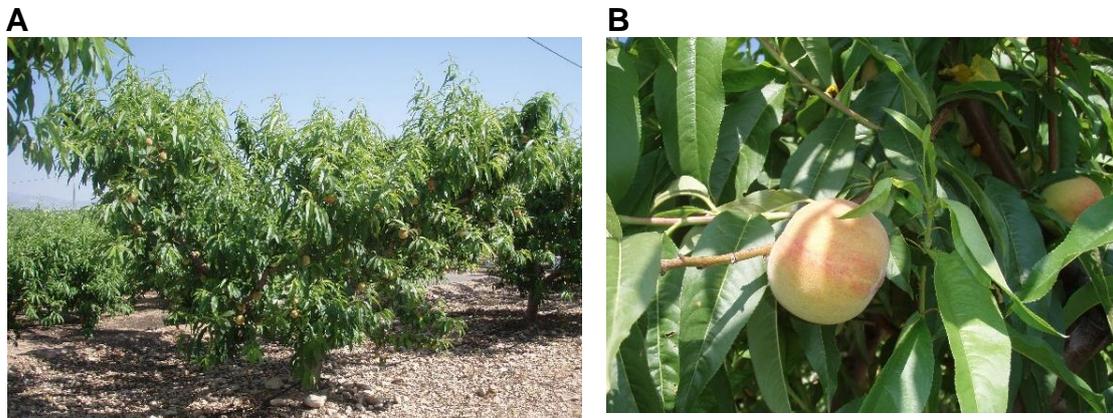
La sistemática del melocotonero/nectarino es la siguiente:

Tipo: Espermatofitas
 Subtipo: Angiospermas
 Clase: Dicotiledóneas
 Orden: Rosales
 Familia: *Rosaceae*
 Subfamilia: *Prunoidea*
 Género: *Prunus*
 Subgénero: *Amygdalus*
 Especie: *persica*

El melocotonero es una especie de árbol caducifolio e inerte de tamaño mediano que puede alcanzar de 4 a 8 metros de altura según variedad (Fotografía 2.1A). Tiene un aspecto globoso, corteza lisa de color pardo que se desprende en láminas, hojas simples, alternas y lanceoladas de 7,5 - 15 cm de longitud y 2 - 3,5 cm de anchura, acabadas en punta, con el margen finamente aserrado, haz verde brillante y pecíolo de 1 a 1,5 cm de longitud, con 2 a 4 glándulas cerca del limbo. Las flores generalmente son solitarias, a veces en parejas, hermafroditas, de color rosa o rojo y de 2 - 3.5 cm de diámetro con diferencias según variedad, aparecen en el árbol antes de las hojas.

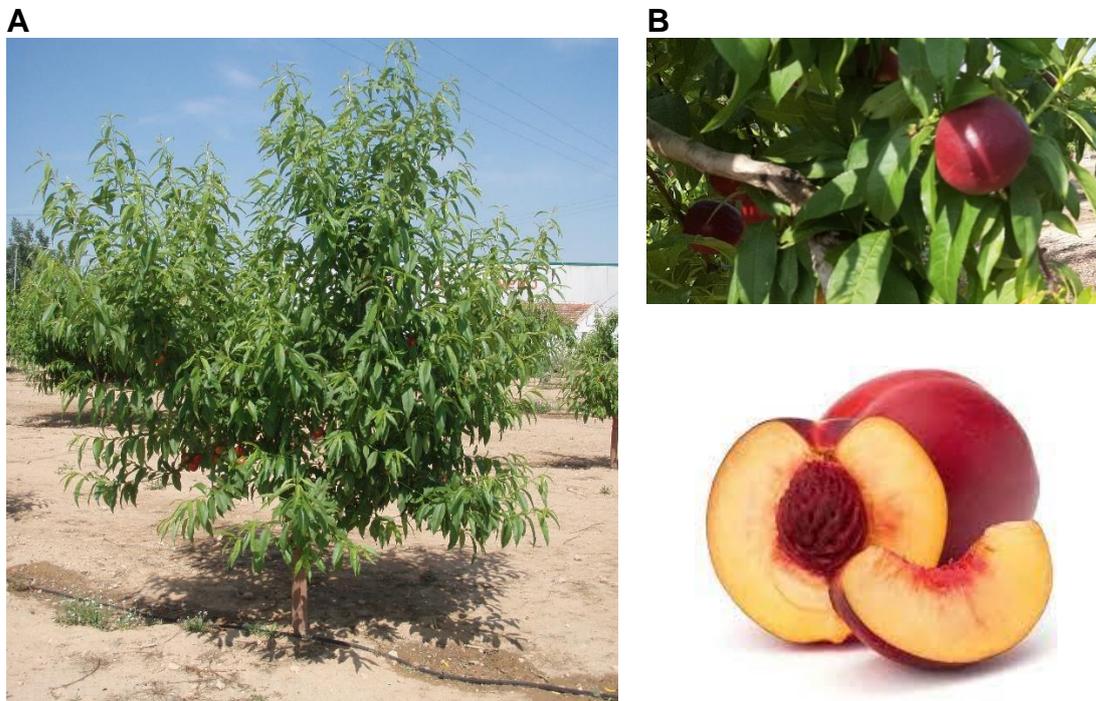
El fruto es globoso, tomentoso, de 5 - 7,5 cm de diámetro, amarillento con tonalidades rojizas en la parte expuesta al sol y un surco longitudinal más o menos marcado (Mostacero, 2011). El mesocarpio es carnoso y dulce. El endocarpio es amaderado, elipsoide u ovoide, con ápice apiculado, sutura ventral y surcos profundos, de 30-35 x 20-25 mm, marrón o marrón rojizo. Contiene una única semilla encerrada en una cáscara dura, el 'hueso'. Esta fruta, normalmente de piel aterciopelada, posee una carne amarilla o blanquecina de sabor dulce y aroma delicado.

La variedad **Flordastar** (que se emplea en esta Tesis) es de fruto redondo, color rojo intenso en el 70 - 80 % del fruto sobre fondo amarillo-anaranjado (Fotografía 2.1B), con una firmeza media y un calibre predominante A-B, es decir con diámetros entre 61 y 73 cm. Tiene un sabor ligeramente dulce, pubescencia corta, es atractivo y de buena calidad.



Fotografía 2.1. (A) Árbol y (B) fruto de melocón Flordastar.

El **nectarino** es derivado por mutación del gen dominante de la tomentosidad del melocotonero común por el gen recesivo de la piel suave (Childers y Sherman, 1988), por ello los únicos caracteres diferenciales son la ausencia de vellosidad en la piel del fruto (Fotografía 2.2B). El aspecto del árbol es idéntico al melocotonero, con altura que no superan los 3 m en las variedades actuales (Fotografía 2.2A). La variedad empleada en esta Tesis es la **Flariba**. El sistema radicular de estos árboles es muy ramificado y superficial. En las plantaciones de alta densidad se observar que los sistemas radiculares no se mezclan entre ellos, pero su extensión puede superar a la superficie demarcada por su copa.



Fotografía 2.2. (A) Árbol y (B) fruto de nectarino Flariba.

En la Figura 2.1 se muestran los principales estados fenológicos y reproductivos del melocotonero Flordastar cultivado en condiciones mediterráneas, según estudio de Mounzer *et al.* (2008), usando la escala general de BBCH (Lancashire *et al.*, 1989), que consiste en un sistema decimal de dos dígitos, el primero describe el estado principal y el segundo el secundario (ambos de 0 a 9). Los estados reproductivos o de flor se describen según la nomenclatura tradicional de Baggiolini, con letras A-I (Baggiolini, 1980). A continuación, se describen los estados principales y algunos de los secundarios:

Estado 0. Desarrollo de las yemas

- 00: Latencia: yemas foliares y las yemas de la inflorescencia (estado A del código Baggiolini) más gruesas, pero cerradas y cubiertas por escamas de color marrón oscuro (Figura 2.1).
- 01: Comienzo del hinchamiento de las yemas: escamas de color marrón claro visibles.
- 03: Fin del hinchamiento del botón foliar: escamas separadas, botón de color verde claro visible.
- 09: Puntas de las hojas verdes visibles: escamas marrones caídas, yemas encerradas por escamas de color verde claro.

Estado 1. Desarrollo de la hoja

- 10: Primeras hojas separándose: escamas verdes ligeramente abiertas, hojas emergentes.
- 11: Primeras hojas desplegadas: eje de los brotes en desarrollo visible (Figura 2.1).
- 19: Primeras hojas completamente desplegadas (Figura 2.1).

Estado 3. Desarrollo de los brotes

- 31: Comienzo del crecimiento de los brotes: ejes de los brotes visibles.
- 32: Brotes alrededor del 20 % de su longitud final.
- 33: Brotes alrededor del 30 % de la longitud final (Figura 2.1).
- 39: Brotes en torno al 90 % de la longitud final.

Estado 5. Aparición de la inflorescencia

- 51: Yema de la inflorescencia cerradas, escamas de color marrón claro visibles. Estado B del código Baggiolini (Figura 2.1).
- 53: Inflorescencia hinchada: yemas separadas, escamas de color verde claro visibles.
- 55: Botones florales individuales visibles (aún cerrados) en tallos cortos, con escamas verdes ligeramente abiertas. Estado C del código Baggiolini (Figura 2.1).
- 56: Pedicelo de la flor alargándose: sépalos cerrados, flores simples separándose.

- 57: Sépalos abiertos: puntas de los pétalos visibles, flores simples con pétalos blancos o rosados (aún cerrados). Estado D del código Baggiolini (Figura 2.1).
- 59: La mayoría de las flores con pétalos formando una bola hueca. Estado E del código Baggiolini (Figura 2.1).

Estado 6. Floración

- 60: Apertura de las primeras flores.
- 65: Plena floración: al menos el 50 % de las flores abiertas, primeros pétalos cayendo. Estado F del código Baggiolini (Figura 2.1).
- 67: Desvanecimiento de las flores: mayoría de los pétalos caídos. Estado G del código Baggiolini (Figura 2.1).
- 69: Fin de la floración: todos los pétalos caídos.

Estado 7. Desarrollo del fruto

- 71: Ovario en crecimiento.
- 72: Ovario verde rodeado de una corona de sépalos que empiezan a caer. Estado H del código Baggiolini (Figura 2.1).
- 75: Fruto de aproximadamente la mitad del tamaño final. Estado I del código Baggiolini. (Figura 2.1).

Estado 8. Madurez del fruto y de la semilla

- 81: Comienzo de la coloración del fruto.
- 87: Fruto maduro para la recolección (Figura 2.1).

Estado 9. Senescencia, comienzo del letargo

- 96: Más del 50 % de las hojas decoloradas o caídas (Figura 2.1).
- 97: Todas las hojas caídas (Figura 2.1).

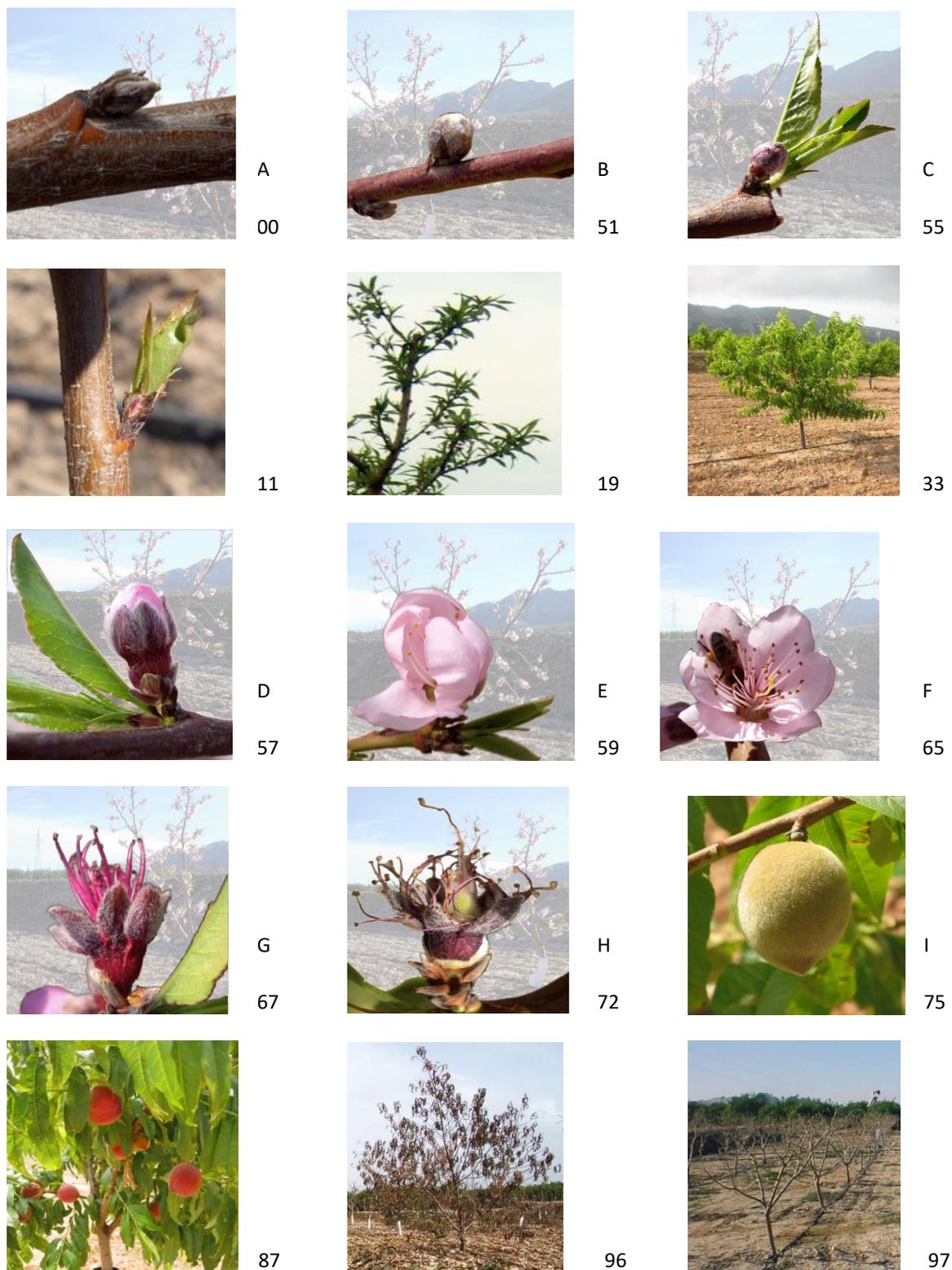


Figura 2.1. Estados fenológicos de melocotonero temprano (*Prunus persica* (L.) Batsch, cv. Flordastar, según código BBCH (números) y Baggiolini (letras) (Mounzer *et al.*, 2008).

Tras la floración tiene lugar el cuajado y crecimiento del fruto, que sucede en tres fases bien definidas siguiendo un patrón en doble sigmoide (un ejemplo se presenta en la Figura 2.2), característico de los frutales de hueso (Chalmers

y van den Ende, 1975; Lichou y Audubert, 1989; Baldini, 1992). Se diferencian las siguientes fases:

- Fase I: Multiplicación celular o citoquinesis. En esta fase se produce una intensa división celular, se genera el número total de células que va a tener el fruto y se produce un rápido crecimiento del pericarpio.
- Fase II: De crecimiento lento. Se produce el endurecimiento del hueso y el embrión alcanza sus dimensiones máximas.
- Fase III: Engrosamiento celular. Comienza la acumulación de agua y sustancias hidrocarbonadas en las células. Segunda fase de rápido crecimiento, se produce un aumento de peso y volumen del fruto hasta alcanzar su tamaño final.
- Se considera una fase de maduración: Se produce una secuencia de cambios físico-químicos en el interior del fruto que determinan su color, sabor, olor y textura que lo hacen apto para ser consumido.

En las variedades de maduración temprana, como las utilizadas en esta Tesis, las tres fases se acortan en el tiempo, la fase I dura unos 20 - 30 días, la II unos 5 - 8 días y la III entre 30 - 35 días. La fase de maduración también es muy corta ya que, al ser los primeros frutos de la temporada en llegar al mercado, se recolectan tan pronto alcanzan el tamaño óptimo.

Un hecho importante es la identificación de estas fases fenológicas, en concreto la fase de endurecimiento del hueso (II), que en estas variedades tempranas es difícil de identificar. Por el contrario, en las de maduración media y tardía, donde el crecimiento exterior del fruto casi se detiene, es más fácil distinguir el cambio de fase (Figura 2.2A). La consideración de la velocidad de crecimiento relativa (VCR) puede ayudar a la delimitación de las distintas fases de crecimiento del fruto, por los puntos de inflexión que resultan de un cambio significativo en la pendiente de la VCR (Figura 2.2B). La disminución de la VCR durante la fase III respecto a la de la fase I se debe a una limitación de los recursos disponibles para los distintos procesos de crecimiento de la planta (Grossman y DeJong, 1995), mientras que la reducción del crecimiento durante la fase II podría resultar de alguna restricción genética (Pavel y DeJong, 1993; Grossman y DeJong, 1995).

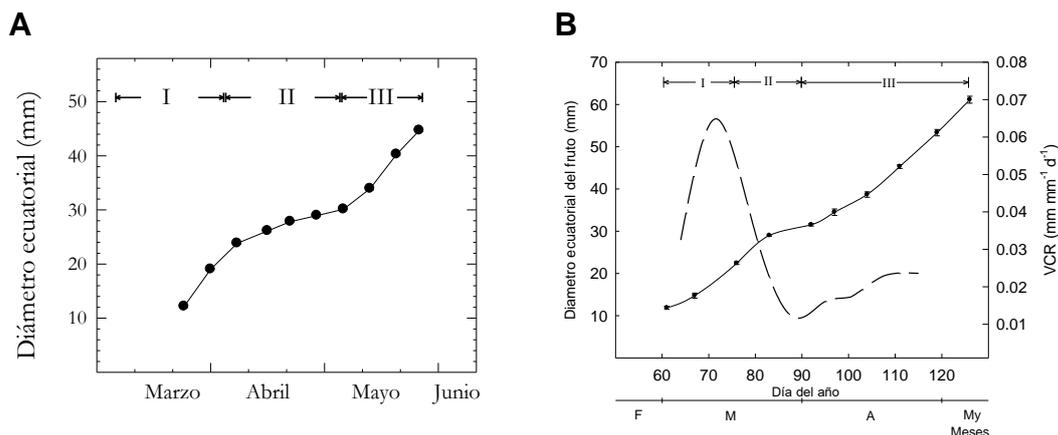


Figura 2.2. Crecimiento en diámetro ecuatorial de frutos de: **(A)** albaricoquero (*Prunus armeniaca* (L.) cv. Búlida (Pérez-Pastor, 2001) y **(B)** melocotonero temprano (*Prunus persica* (L.) Batsch) cv. Flordastar (●) diámetro y (- -) velocidad de crecimiento relativa, VCR (Mounzer, 2005).

2.2. Importancia del cultivo

La producción **mundial** de melocotones y nectarinas (*Prunus persica* (L.) Batsch) ha aumentado de manera constante durante la última década, oscilando entre 21,2 y 24,9 millones de toneladas (Mt) en 2011 y 2021, respectivamente (FAOSTAT, 2023). China por sí sola representa más del 45 % de la producción mundial, liderando también la superficie cosechada que fue máxima en el año 2015.

La Figura 2.3 muestra la tendencia ascendente en la producción y superficie dedicada al cultivo de melocotón y nectarina en estos últimos años. El hecho de que la producción esté creciendo más rápido que la superficie significa que la productividad de las plantaciones ha aumentado y, por tanto, su eficiencia. Esto se ha debido principalmente a la continua innovación en la tecnología de producción, en particular con respecto al establecimiento de nuevas variedades y portainjertos más adaptadas a las condiciones edafoclimáticas locales y con mayor valor comercial (Musacchi *et al.*, 2021).

En **Europa**, la superficie cultivada de estos frutales alcanza las 248.938 ha, lo que representa el 17,7 % de la superficie mundial. Con esta superficie, Europa produce 3.987.670 t de melocotón y nectarina, con un rendimiento medio de 16,03 t ha⁻¹ (Figura 2.3). Si bien la producción de melocotón y nectarina ha incrementado a nivel mundial, en Europa este incremento no se observa, ya que

se mantiene bastante constante, con un ligero descenso en los años que coinciden con la pandemia de COVID-19.

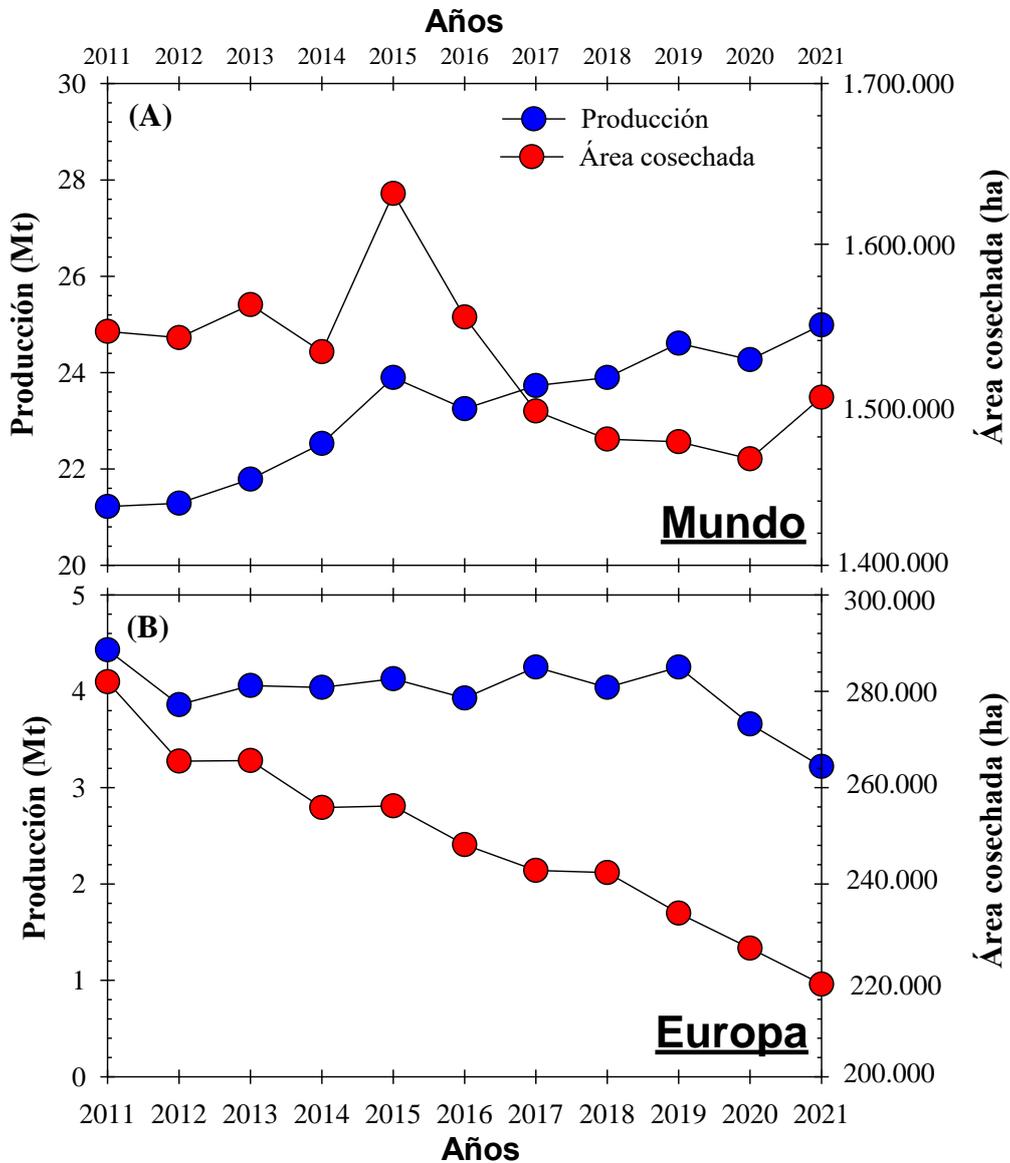


Figura 2.3. (A) Evolución de la producción (Mt, ●) y superficie de cultivo (ha, ●) de melocotón y nectarina en el mundo y (B) en Europa en el periodo 2010-2021. Fuente: FAOSTAT, 2023.

A nivel europeo, **España** lidera la producción comercial de melocotón y nectarina en la cuenca mediterránea (seguida de Italia), con una media de 1,42 Mt año⁻¹ en el periodo 2011-2022 (Figura 2.4A). De los frutales de hueso, los melocotones y nectarinos representaron alrededor del 55 %, seguidos de los cerezos con un 21 % y los albaricoqueros con un 13 %. El melocotón y el nectarino son los frutales de hueso más productivos, registrando el valor máximo en el año 2017. El impacto de la pandemia COVID-19 también se observó a

escala nacional (Figura 2.4A). Durante la última década, la media de superficie cosechada en el país ascendió a 80.322 ha (Figura 2.4B). Las regiones con mayor superficie dedicada al cultivo del melocotón y la nectarina son, por este orden, Cataluña, Aragón y la Región de Murcia (MAPA, 2022).

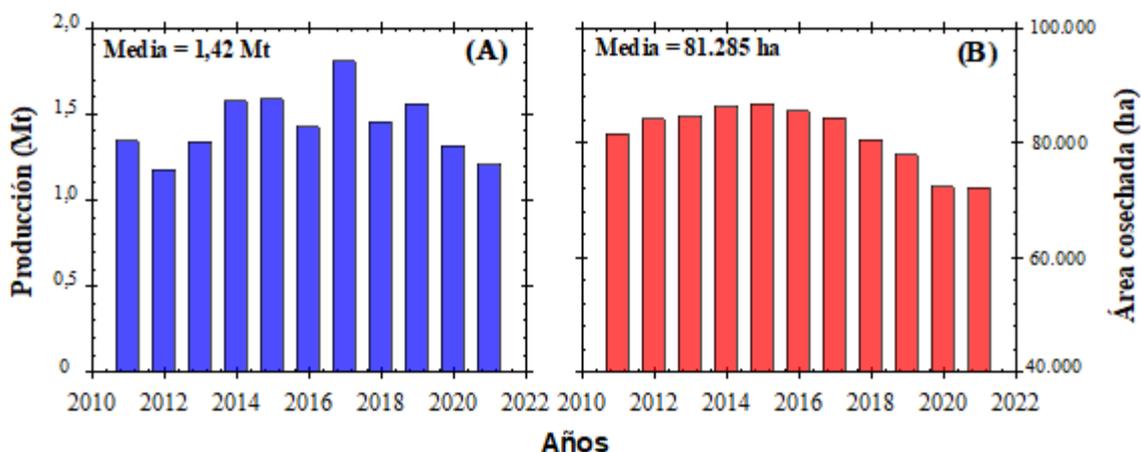


Figura 2.4. Evolución de la: **(A)** producción (Mt) y **(B)** superficie de cultivo (ha) de melocotón y nectarina en España en el periodo 2010-2021. Fuente: FAOSTAT, 2023.

La **Región de Murcia** es pues la tercera comunidad autónoma del país en importancia del cultivo de melocotonero y nectarino, tanto en superficie cultivada (≈ 14.000 ha) como en producción total (≈ 357 Mt), según las estadísticas agrarias del Ministerio de Agricultura correspondiente a 2022 (MAPA, 2022). Del total de cultivos leñosos en la región, la mayor superficie se dedica al almendro, seguida de los cítricos y en tercer lugar el melocotonero, que contribuye solo un 7 % de los cultivos leñosos y un 13 % de la superficie dedicada a frutales no cítricos. Sin embargo, es importante destacar que la producción total de melocotón y nectarina supone el 66 % de la producción de frutales no cítricos en la región, según datos de la estadística agraria de la Región de Murcia (<https://esam.carm.es>).

La producción se concentra en los municipios de Cieza (la zona de mayor producción), Blanca, Abarán, Calaparra, Molina de Segura y Ulea, abarcando la época de recolección desde de mayo a septiembre.

2.3. Técnicas culturales para la optimización del riego en frutales

Las dos terceras partes del agua disponible a nivel mundial se emplean para producir alimentos. El aumento de la población incrementará la demanda de agua. A este escenario se suman los efectos del cambio climático que prevé un aumento de la temperatura del aire acompañado de una reducción de las precipitaciones, lo que aumentará la intensidad y la frecuencia de los episodios de sequía. Es por esto que el uso de los recursos hídricos por el sector agrícola es una preocupación cada vez mayor a nivel mundial.

En España el cultivo de frutales se localiza especialmente en áreas de la cuenca mediterránea donde los recursos hídricos son limitados. La agricultura de regadío en estas zonas está obligada a realizar los máximos esfuerzos para usar de forma eficiente el agua disponible

En este sentido, son numerosos los estudios en los que se presentan resultados prometedores con la aplicación de estrategias de riego deficitario controlado en melocotonero (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995; Girona *et al.*, 2005; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2010), y específicamente en la variedad temprana 'Flordastar' (Abrisqueta *et al.*, 2010; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2018; Vera *et al.*, 2013). El manejo del suelo ha resultado una técnica de cultivo interesante para aprovechar el agua de lluvia y mejorar así la eficiencia del riego en el cultivo de frutales de hueso como el albaricoquero (Plana, 2003; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2005; Abrisqueta *et al.*, 2007). Igualmente, la programación del riego utilizando información del estado hídrico del suelo y la planta suministrada con sensores, ha permitido reducir los aportes hídricos sin mermas importantes en la producción de melocotón y nectarina (Vera *et al.*, 2013, 2019; Conesa *et al.*, 2021, 2022). Dichos sensores permiten monitorizar de forma robusta y en tiempo real las variaciones diarias del estado hídrico en respuesta a las condiciones ambientales y de riego soportadas por el cultivo.

Así mismo, la aplicación de técnicas culturales, como las que van a ser objeto de estudio en este trabajo de Tesis (manejo de la carga productiva, uso de bioestimulantes como las micorrizas y manejo de la poda) son herramientas eficaces para hacer frente al reto de conseguir un uso eficiente del agua en

agricultura y mejorar la productividad del agua de riego. A continuación, se describen de forma escueta, discutiéndose en profundidad en los capítulos correspondientes.

2.3.1. Manejo de la carga productiva

En condiciones óptimas de cultivo, en la mayoría de las especies frutales el número de flores que se convierten en frutos (que cuajan) es mayor que los necesarios para obtener una buena cosecha desde el punto de vista comercial. Por ello, en la mayoría de los casos es necesario eliminar frutos, para así recolectar un menor número de frutos, pero de mejor tamaño y calidad, es decir conseguir una carga productiva (número de frutos por árbol) óptima.

El aclareo es una práctica cultural agrícola que consiste en la eliminación selectiva de frutos, orientada a mejorar el valor comercial de la fruta (Carew y Smith, 2004). Esta eliminación selectiva se fundamenta en la competencia entre frutos por los fotoasimilados existentes (Wünsche y Ferguson, 2005). Con el aclareo se pretende conseguir un determinado calibre a la vez que la producción se acerque lo más posible a la potencial, es decir, a la máxima que sería esperable en las condiciones locales del cultivo. Los beneficios derivados del aclareo se orientan no solo al aumento del tamaño del fruto, sino también a la mejora de ciertas propiedades organolépticas: color, sabor, etc., reducción del peligro de rotura de ramas (por peso excesivo de rama), aumento de la precocidad del fruto y de los procesos de inducción floral para la campaña siguiente.

Es claro que el tamaño del fruto se reduce al aumentar la carga productiva y *viceversa* (Wünsche y Ferguson, 2005). Esto es debido a que la síntesis de fotoasimilados es limitada, mientras que la demanda aumenta con el aumento del número de frutos por árbol (Berman y Dejong, 1996). Este efecto es aún mayor en árboles sometidos a estrés hídrico, donde la tasa fotosintética es menor. Por lo tanto, los frutos disminuyen su velocidad de crecimiento cuando la demanda por los fotoasimilados es mayor que el suministro de carbono proporcionado por la fotosíntesis (Berman y Dejong, 1996).

A la hora de realizar el aclareo existen diversos factores a tener en cuenta: (i) la especie a la que vamos a someter esta técnica; (ii) el momento del aclareo, que es variable en función de la especie considerada, y (iii) el destino de la producción, en función de gustos de los diferentes mercados de exportación. Por ejemplo, en el caso del melocotón el aclareo debe adaptarse a si el producto cosechado se destina al consumo en fresco (mesa) o para su procesamiento en la industria (almibar, etc.).

Diversos estudios han demostrado que el aclareo de frutales de hueso es más eficaz si este se lleva a cabo después de la caída de los pequeños frutos no fecundados y antes del endurecimiento del hueso (esto suele ocurrir en torno a los 30 días después de la floración) (Costa y Vizzotto, 2000). En algunos casos también se realiza el aclareo de flores coincidiendo con la fase de plena floración, aunque lo más común es directamente una vez que se ha completado el cujado. Asimismo, tal y como indican Pavel y DeJong (1993), se aconseja combinar este aclareo anticipado con una poda en verde, para disminuir la competencia que ejercen los brotes en el crecimiento. Si se realiza precozmente se consigue un mejor tamaño de los frutos, una coloración más intensa, una maduración más precoz y más uniforme, una mejor calidad de los frutos, una mayor diferenciación de yemas de flor para el año siguiente, una más completa lignificación de los ramos y una mayor nutrición de la planta (Costa y Vizzotto, 2000). Sin embargo, un aclareo demasiado anticipado, realizado en variedades precoces sensibles a presentar frutos y huesos rajados u otras fisiopatías relacionadas, puede acentuar este efecto y, en ocasiones, afectar a la inducción floral de la campaña siguiente por una reducción en la cantidad de giberelinas sintetizadas (Southwick *et al.*, 1995).

El aclareo puede ser manual, químico o mecánico. El primero precisa de mucha mano de obra y tiene por ello un elevado coste. El aclareo químico se realiza pulverizando la copa de los árboles con productos de tal efecto (por ejemplo, el Ethrel[®], a una dosis de 3 g por hectolitro de agua y unos 34 - 35 días después de la floración). El aclareo mecánico se basa en el empleo de pequeños vibradores que permiten acceder a las zonas interiores del árbol, adaptándose a cualquier sistema de formación (por ejemplo, los aclareadores SAFLOWERS[®], son capaces de aclarar flores a razón de 3 minutos por árbol).

En frutales de hueso, el aclareo comercial consiste, generalmente, en eliminar frutos para dejar un fruto por cada 15 - 30 cm de rama (de la Rosa *et al.*, 2016) y se realiza mayoritariamente de forma manual.

2.3.2. Aplicación de bioestimulantes

El uso de bioestimulantes se está incrementado en los últimos años como una alternativa biológica de bajo coste para la fertilización en cultivos de interés agroeconómico (Calvo *et al.*, 2014). Se entiende por bioestimulador a cualquier sustancia o microorganismo aplicado a las plantas con el objetivo de mejorar la eficiencia nutricional, la tolerancia al estrés abiótico y/o los rasgos de calidad de los cultivos (Du Jardin, 2015).

Uno de los bioestimulantes más utilizados actualmente son las **micorrizas**, que consisten en una simbiosis entre un hongo y las raíces de las plantas vasculares (Rouphael *et al.*, 2015). Las micorrizas son capaces de mejorar el establecimiento y crecimiento de las plantas, transfiriendo a sus huéspedes nutrientes y aumentando su absorción, especialmente fósforo y micronutrientes (Bucher *et al.*, 2009; Gómez-Bellot *et al.*, 2015). Dentro de éstas, las micorrizas arbusculares (AMF, *Arbuscular mycorrhizal fungí*) son las más frecuentes y generalizadas (Smith y Read, 2008), cuyos efectos beneficiosos sobre las plantas se resumen, según Rouphael *et al.* (2015), en: (i) efecto biofertilizante: mejora la nutrición mineral de las plantas, (ii) efecto bioregulador: potencia el equilibrio hormonal de las plantas huésped y (iii) efecto bioestimulante: induciendo tolerancia ante condiciones adversas del suelo y de la atmósfera (estrés hídrico, salinidad, etc.).

El empleo de micorrizas, con o sin aportes de abonos orgánicos, tiene un comportamiento en condiciones de campo mucho más respetuoso con el medioambiente, con muchos menos impactos negativos que otras alternativas convencionales. Los resultados son favorables o inocuos, y no hay constancia de impactos negativos sobre los cultivos (más allá del coste del insumo). Por ello es una práctica utilizada habitualmente en agricultura ecológica.

Además, la colonización de este hongo en la raíz disminuye la capacidad de otros patógenos y nemátodos de colonizar y afectar a la planta. La aplicación

de micorrizas también ha demostrado ser beneficiosa en procesos de biorremediación de suelos por metales pesados (Kumar *et al.*, 2021). La efectividad de la simbiosis parece depender del grado de tolerancia de los hongos a los metales pesados en el suelo. Las micorrizas aumentan exponencialmente el volumen de suelo que las raíces exploran debido al incremento de micelio desarrollado, lo que facilita la absorción y el transporte de agua y nutrientes, incluyendo los elementos de reducida movilidad (Du Jardin *et al.*, 2015).

2.3.3. Manejo de la poda: poda en verde

La poda es una práctica cultural rutinaria que de carácter anual ha de llevarse a cabo en los frutales a fin de conseguir mantener la arquitectura del árbol y el equilibrio entre crecimiento vegetativo y reproductivo del árbol (Dye, 1967). Se realiza durante el periodo de reposo invernal cuando el árbol ha perdido la mayor parte de sus hojas. Esta poda permite regular la producción a lo largo de los años por la renovación de los ramos productivos, mejorando la calidad de los frutos. La intensidad de este tipo de poda debe ser gradual, intensificándose conforme se produce la fase de plena producción, normalmente 3 o 4 años desde su plantación (Kumar *et al.*, 2010). De la intensidad de la poda, dependerán otros factores si bien el factor más importante, es la fertilidad de la campaña siguiente.

La poda en verde (o de verano) es una práctica cultural típicamente estival que se realiza en árboles frutales. Se realiza justo cuando el árbol se encuentra en pleno crecimiento vegetativo y, según sea la maduración de la fruta, antes (en las variedades medias y tardías) o después (en las de maduración temprana) de la recolección (Mika *et al.*, 2011). Esta práctica consiste en eliminar los brotes improductivos o 'chupones' del árbol, cuyo objetivo principal es el de limitar el crecimiento vegetativo, así como el de incrementar la calidad de los frutos, al mejorar la iluminación y el reparto de carbohidratos, esto es importante cuando se realiza antes de la recolección (Choi *et al.*, 2011; Neri y Massetani, 2011; Mika *et al.*, 2011). Su aplicación resulta más fácil para el operario que la poda de invierno, ya que se eliminan brotes verdes y tiernos, más sencillo que las ramas ya lignificadas.

La aireación conseguida en el árbol tras la aplicación de esta técnica, es una excelente estrategia para combatir enfermedades fúngicas. Asimismo, la realización de la poda en verde ha demostrado mejorar la productividad del agua de riego, dado que el grado de cobertura foliar es un factor determinante en el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, por lo que la disminución de la cobertura del árbol reduciría los consumos de agua coincidiendo, además, con periodos de alta demanda evaporativa de la atmósfera (verano).

3. Condiciones experimentales

3.1. Parcelas experimentales

3.1.1. Localización y material vegetal

Los ensayos se realizaron durante los años 2010 a 2013 en la finca experimental del CEBAS-CSIC, situada, en el término municipal de Santomera en Murcia (38° 06' Norte, 1° 02' Oeste, a 110 m de altitud). En ella se seleccionaron dos parcelas de *Prunus persica* (L.) Batsch, una de melocotoneros adultos y otra de nectarinos jóvenes, ambas de maduración temprana, bien adaptadas a las condiciones de baja acumulación de horas frío prevalentes en la zona (Figura 3.1) y cuyas características se describen a continuación.

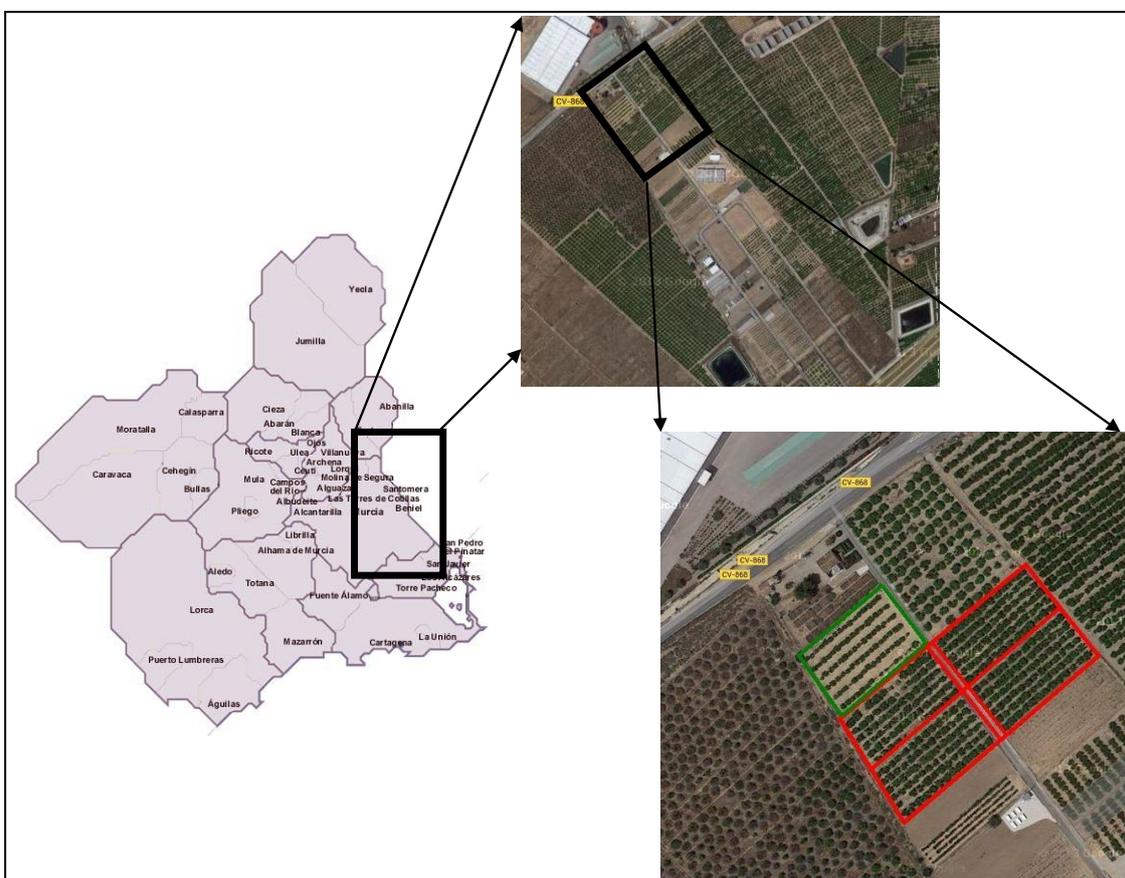


Figura 3.1. Plano de situación y fotografías aéreas de la finca experimental del CEBAS-CSIC, en Santomera (Murcia) y de las parcelas experimentales de melocotoneros adultos (borde rojo) y nectarinos jóvenes (borde verde).

Melocotoneros adultos

Melocotoneros (*Prunus persica* (L.) Batsch) cv. Flordastar, injertados sobre patrón híbrido de melocotonero x almendro GF-677 se plantaron en febrero de 2002, a un marco de plantación de 5 m x 5 m. La parcela de 0,8 ha, estaba dividida en 4 subparcelas de 78 árboles cada una (6 hileras x 13 árboles) (Figura 3.1). Los árboles se regaron por goteo con una línea porta-goteros por hilera de árboles, situada junto a los troncos, con 8 goteros autocompensantes por árbol, de un caudal de 2 L h⁻¹ cada uno, dispuestos a 50, 100, 150 y 200 cm a cada lado del tronco (Fotografía 3.1).



Fotografía 3.1. (A) Vista general de la parcela de melocotoneros adultos Flordastar, **(B)** Detalle del fruto.

Nectarinos jóvenes

Nectarinos (*Prunus persica* (L.) Batsch) cv. Flariba, injertados sobre GxN-15 (Garnem), un cruce entre almendro Garfi (*Prunus amygdalus*) y melocotonero Nemared (*Prunus persica*), se plantaron en febrero de 2010, a un marco de plantación de 6,5 m x 3,5 m en una parcela de 60 m x 40 m (Figura 3.1). Los árboles se regaron por goteo con una línea porta-goteros por hilera de árboles, situada junto a los troncos, con 1 gotero autocompensante de 2 L h⁻¹ por árbol durante el primer año (2010), ubicado a 50 cm del tronco. En el segundo año (2011), se añadió un segundo gotero al otro lado del tronco y a partir del tercer año (2012) se añadieron 2 goteros 130 cm a cada lado del tronco de un caudal de 4 L h⁻¹ (total 4 goteros por árbol) (Fotografía 3.2).



Fotografía 3.2. (A) Vista general de la parcela de nectarino joven Flariba, **(B)** Detalle de fruto.

La fecha en la que acontecieron los principales estados fenológicos de ambos cultivos fue:

- Floración: fin enero.
- Fases I y II de crecimiento de fruto: febrero-marzo.
- Fase III (2ª fase de crecimiento rápido del fruto): abril.
- Recolección: primera semana mayo.
- Postcosecha: mayo-octubre.
- Reposo (caída de las hojas a floración): noviembre-enero.

3.1.2. Suelo

El suelo de la parcela experimental es del tipo Lithic Xeric Haploxeroll (Soil Survey Staff, 1998), pedregoso, poco profundo y de textura franco-arcillosa, según los datos de la Tabla 3.1. La fracción de arcilla constaba de 41 % de ilita, 17 % de esmectita y 30 % de paligorsquita. La densidad aparente del suelo (d_a) se determinó por gravimetría a partir de muestras de suelo inalterado recogidas en 4 puntos elegidos al azar en capas de 10 cm a lo largo de un perfil de 80 cm de profundidad y luego secadas en estufa a 105 °C. Los resultados mostraron un valor medio de 1,42 g cm⁻³, si bien a partir de 50 cm de profundidad está muy compactado con una densidad aparente de 1,7 g cm⁻³.

Los contenidos volumétricos de humedad a capacidad de campo ($\theta_{cc} = 0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) y en el punto de marchitez ($\theta_{PM} = 0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Tabla 3.2) se determinaron en muestras inalteradas mediante la técnica de las placas de presión de Richards (Richards, 1965). El análisis químico indica que se trata de

un suelo con bajos niveles de sales solubles y de materia orgánica, bajo contenido de potasio asimilable, un nivel medio de sodio soluble, elevado contenido de carbonato cálcico total y activo y capacidad de intercambio catiónico baja, lo que es indicativo de un alto poder clorosante (Tabla 3.2).

Tabla 3.1. Análisis textural del suelo de las parcelas experimentales.

Profundidad	Arena fina	Arena gruesa	Limo	Arcilla	da (g cm ⁻³)
0-10	5,8	19,4	43,9	30,9	1,41
10-20	3,9	25,4	44,4	26,3	1,36
20-30	3,2	22,7	44,5	29,6	1,44
30-40	2,4	19,7	46,9	31,0	1,44
40-50	2,0	18,3	52,1	27,6	1,59
50-60	2,4	17,9	51,5	28,2	1,65
60-70	2,1	16,3	53,9	27,7	1,71
70-80	1,9	14,1	52,9	31,1	1,74
80-90	1,7	12,1	56,9	29,3	1,66
90-100	1,4	12,7	54,5	31,4	1,58
Media	2,68	17,86	50,15	29,31	1,56

Tabla 3.2. Análisis físico-químico del suelo de las parcelas experimentales.

Propiedades químicas		
Conductividad eléctrica _{1:5}	dS m ⁻¹	0,47
Capacidad de cambio cationes	mmol kg ⁻¹	97,90
Materia orgánica oxidable	%	1,36
Carbonato cálcico total	%	48,81
Carbonato cálcico activo	%	13,81
Fósforo asimilable	mmol kg ⁻¹	0,95
Potasio asimilable	mmol kg ⁻¹	6,07
Sodio soluble 1:5	mmol kg ⁻¹	4,17
Cloruros 1:5	mmol kg ⁻¹	2,26
Sulfato	mmol kg ⁻¹	1,52
Propiedades físicas		
Capacidad de campo	m ³ m ⁻³	0,29
Punto de marchitez	m ³ m ⁻³	0,14
Saturación	m ³ m ⁻³	0,50
Agua útil	m ³ m ⁻³	0,15

3.1.3. Riego

Todos los árboles se regaron al 100 % de la evapotranspiración del cultivo (ET_c), que fue estimada como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET₀) calculada con la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), según los datos agro-meteorológicos (ver apartado 2.1.3) y los coeficientes de cultivo locales (K_c) definidos por Abrisqueta *et al.* (2011, 2013) para esta especie y en

las mismas condiciones experimentales. Para los nectarinos la ETc se corrigió por el factor de cobertura (K_r) para árboles jóvenes (Fererres *et al.*, 1982).

La gestión del riego se realizó semanalmente por tiempos, con los datos de la semana anterior, empleando un programador de riego tipo NTC 116 instalado en el cabezal de riego independiente que actúa sobre electroválvulas. El riego aplicado durante la noche se monitorizó mediante contadores volumétricos de pulsos con salida digital (ARAD).

El agua de riego, procedente del trasvase Tajo-Segura, era conducida y almacenada en un embalse ubicado a una cota de 30 m por encima de las parcelas experimentales, lo que permitía disponer de la presión necesaria a pie de la parcela para el normal funcionamiento de la instalación de riego. La Tabla 3.3. recoge los resultados del análisis de una muestra del agua de riego tomada al inicio de la estación (aproximadamente febrero) durante el periodo experimental. Según los criterios establecidos por Rhoades (1977) y Oster y Schroer (1979), el agua no representa ningún riesgo sobre la estabilidad de la estructura del suelo y no generará problemas de infiltración por lo que los requerimientos de lavado son mínimos, y tiene un valor negativo del Índice de Saturación de Langelier ($LSI = -0,2895$), lo que supone un riesgo bajo de obturación por precipitaciones de CO_3Ca .

Tabla 3.3. Análisis del agua de riego empleada en la parcela experimental (valores medios durante el periodo experimental).

pH	7,54
CE ($dS\ m^{-1}$)	1,74
Dureza ($^{\circ}Fr$)	55,00
Sólidos disueltos ($g\ L^{-1}$)	1,14
Cl^{-} ($mmol\ L^{-1}$)	5,50
SO_4^{-2} ($mmol\ L^{-1}$)	4,69
CO_3H^{-} ($mmol\ L^{-1}$)	3,00
Na^{+} ($mmol\ L^{-1}$)	7,17
K^{+} ($mmol\ L^{-1}$)	0,12
Ca^{+2} ($mmol\ L^{-1}$)	0,80
Mg^{+2} ($mmol\ L^{-1}$)	4,70
RAS	3,05
$RAS_{ajustado}$	3,08

3.1.4. Labores de cultivo

Las labores de cultivo fueron las típicas para frutales de hueso de la zona y consistieron, además de la programación del riego ya mencionada (apartado 3.1.3), en la fertilización, el control de enfermedades, plagas y malas hierbas, el aclareo de frutos y la poda.

La fertilización se aplicó en el agua (fertirriego), según indican Vera y de la Peña (1994), mediante una bomba de pistón (200 L h^{-1}) conectada a la tubería principal del sistema de riego por goteo. Los árboles recibieron $61,2 \text{ UF de N año}^{-1}$, $21,2 \text{ UF de P}_2\text{O}_5 \text{ año}^{-1}$ y $20 \text{ UF de K}_2\text{O año}^{-1}$. Los abonos empleados y su distribución anual se presentan en la Tabla 3.4 para los melocotoneros adultos, y para los nectarinos jóvenes el equilibrio fue de $83\text{--}56\text{--}109 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente.

El tratamiento fitosanitario de invierno se aplicó entre el estado B y C (Figura 2.1), antes de la aparición de pétalos, para controlar hongos, larvas y huevos de cochinillas e insectos (metidation 40 %, aceite mineral Volk 1 % y oxiclورو de cobre 30 %). En postcosecha se aplicó un tratamiento dirigido (Lambda Cihalotrin 2,5 %, Penconazol 10 %, Fenbutaestan 55 %, Ciproconazol 5 % y Metomil 20 %) contra enfermedades criptogamitas (*Sphaerotecha pannosa*, *Monilia*) y plagas (*Anarsia lineatella*, orugas minadoras, pulgones y acaros tetraniquidos).

El control de las malas hierbas se realizó mediante dos aplicaciones localizadas de glifosato; la primera en abril y la segunda en diciembre.

Tabla 3.4. Programa de fertilización (kg ha^{-1}) aplicado para los melocotoneros Flordastar de 4 años de edad.

	N32	NA	AF	NP	AH	QFe	NMg
Enero	32,8		26,8				
Febrero				10	2	1,2	
Marzo				22	2,8	1,6	8,4
Abril		10,4		7,2	1,2	0,4	
Mayo		22,8		4	2,8	1,6	
Junio		28,8	10		0,8	2	
Julio		54	4				
Agosto		12,4			1,6	2,8	
Total	32,8	128,4	40,8	43,2	11,2	9,6	8,4

N32: Solución nitrogenada (32 % N)	AH: Acido húmico
NA: Nitrato amónico (34,5 % N)	QFe: Quelato de hierro (6 % EDDHA-Fe)
AF: Ácido fosfórico (54 % P ₂ O ₅)	NMg: Nitrato magnesio (7 % N; 9,5 % MgO)
NP: Nitrato potásico (13,5 % N; 46,2 % K ₂ O)	

El aclareo de frutos es una tarea imprescindible en los frutales, debido a los efectos que tiene sobre el calibre y la precocidad. En la parcela se realizó un aclareo manual todos los años cuando el fruto hubo adquirido un tamaño de 2 cm, dejando un fruto por cada 15 - 20 cm de longitud de ramo (carga comercial).

La poda se realizó anualmente en la primera quincena de diciembre, coincidiendo con el periodo de reposo para mantener una estructura en vaso.

3.2. Clima

Los datos agro-meteorológicos (temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y lluvia) se obtuvieron de una estación agroclimática automática situada en la propia finca experimental (Fotografía 3.3) con acceso en tiempo real (http://www.cebas.csic.es/general_spain/est_meteo.html), que lee valores cada 5 min y registra la media cada 15 min. En base a estos datos se calcularon los valores horarios y diarios la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET₀, Penman-Monteith) y el déficit de presión de vapor (DPV) (Allen *et al.*, 1998).



Fotografía 3.3. Estación meteorológica automática en la finca experimental del CEBAS.

La zona se caracteriza por un clima típicamente mediterráneo con rasgos subdesérticos y con una marcada aridez e irregularidad pluviométrica.

Los datos correspondientes al periodo experimental (2010 a 2013) indicaron unos valores medios de 17,9 °C de temperatura media, con mínimas de 14 - 15 °C en diciembre-enero y máximas de 32 °C en los meses de julio y agosto (Tabla 3.5).

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) diaria osciló entre los 1,04 mm d⁻¹ en diciembre de 2013 y los 6,11 mm d⁻¹ de junio de 2012, con un valor medio anual de 1279 mm y 309 mm de lluvia. Esta última tiene una gran variabilidad interanual con 417 mm registrados en 2010, mientras que el resto de los años no se superaron los 300 mm (Tabla 3.5). Los valores de ambos parámetros son característicos del clima semiárido mediterráneo.

Tabla 3.5. Valores medios mensuales de temperatura del aire máxima ($T_{m\acute{a}x}$), mínima ($T_{m\acute{i}n}$) y media (T_{med}), humedad relativa media (HR_{med}), lluvia, evapotranspiración de referencia (ET_0), velocidad del viento (a 2 m) y radiación global diurna (R_g) en la finca del CEBAS-CSIC en Santomera durante el periodo experimental: 2010, 2011, 2012 y 2013.

	Temperatura (°C)			HR_{med} (%)	Lluvia		ET_0 mm d ⁻¹	Viento m s ⁻¹	R_g W m ⁻² d ⁻¹
	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{i}n}$	T_{med}		mm mes ⁻¹	Días			
2010									
E	14,4	6,2	9,8	69,3	57,6	12	1,45	6,48	102,1
F	15,8	6,8	10,8	67,4	27,6	11	1,83	5,80	125,7
Mr	17,6	7,6	12,0	67,5	44,2	8	2,46	5,33	180,5
A	21,7	10,2	15,4	66,6	13,4	6	3,52	5,99	240,8
My	25,3	12,8	18,7	56,9	58,6	8	5,09	7,82	290,9
Jn	28,5	16,8	22,4	60,2	39,8	6	5,40	6,24	296,6
Jl	32,5	20,5	26,4	61,7	0,6	2	5,97	6,41	303,2
Ag	32,5	21,1	26,3	64,0	31,2	6	5,10	6,33	248,3
S	29,1	17,8	22,8	63,7	33,6	3	4,03	4,86	202,4
O	24,4	12,9	17,9	63,5	32,6	6	2,81	4,30	155,6
N	18,4	9,7	13,3	61,0	54,8	9	2,07	5,95	104,3
D	15,0	5,7	9,5	69,0	22,2	10	1,23	4,31	75,9
Media Total	22,9	12,3	17,1	64,2	34,7	7,3	3,41	5,82	193,9
					417		1245		
2011	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{i}n}$	T_{med}	HR_{med}	Lluvia	Días	ET_0	Viento	R_g
E	15,6	6,1	10,2	68,9	6,0	1	1,35	3,68	90,2
F	18,3	6,7	11,6	57,8	12,6	2	2,39	6,02	133,7
Mr	17,7	8,5	12,6	68,1	87,2	9	2,50	8,58	149,9
A	23,3	11,6	17,0	64,2	34,0	6	3,63	5,57	204,8
My	26,2	14,4	20,0	61,9	7,4	3	4,35	6,29	228,0
Jn	29,4	17,4	23,0	65,3	8,4	3	5,07	6,84	252,5
Jl	32,8	20,6	26,2	61,4	0,0	0	5,65	7,52	258,0
Ag	33,4	21,1	26,7	60,2	2,0	2	5,46	6,80	242,9
S	30,2	18,2	23,7	64,2	19,4	3	4,22	5,45	202,0

O	25,9	14,4	19,4	65,0	9,2	5	2,69	3,72	137,0
N	19,5	11,5	14,8	72,4	100,6	9	1,57	5,76	82,5
D	17,5	7,7	11,7	61,6	9,4	2	1,55	4,15	87,8
Media Total	24,2	13,2	18,1	64,3	24,7	3,8	3,37	5,86	172,4
2012	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{i}n}$	T_{med}	HR_{med}	Lluvia	Días	ET_0	Viento	Rg
E	17,0	6,5	11,0	64,8	16,4	3	1,62	4,00	98,7
F	15,1	2,9	8,4	52,6	3,6	1	2,44	6,57	143,4
Mr	19,8	6,8	12,6	60,3	47,0	2	3,18	5,39	196,7
A	22,3	10,8	16,0	57,2	21,8	6	4,06	8,32	214,9
My	27,6	14,0	20,6	54,4	1,0	1	5,42	6,92	268,8
Jn	32,5	19,0	25,6	56,3	0,0	0	6,11	7,07	274,7
Jl	31,8	20,1	25,8	61,1	0,0	0	5,69	7,30	264,0
Ag	35,0	22,0	27,8	60,7	0,4	1	5,44	6,17	237,2
S	29,1	17,5	22,8	61,6	91,0	3	3,81	5,54	179,1
O	25,3	14,0	18,9	66,0	40,8	8	2,56	4,04	141,6
N	18,3	10,8	13,9	72,9	64,6	11	1,29	3,87	77,5
D	17,4	7,3	11,6	61,8	0,6	1	1,15	4,01	82,5
Media Total	24,9	13,2	18,6	60,4	24,6	3,1	3,74	5,93	189,1
2013	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{i}n}$	T_{med}	HR_{med}	Lluvia	Días	ET_0	Viento	Rg
E	17,7	7,2	12,0	52,1	9,0	1	2,26	9,1	99,0
F	16,1	6,6	11,0	53,1	19,8	4	2,74	11,2	127,3
Mr	19,2	9,4	14,0	59,8	29,8	7	2,75	7,8	146,2
A	21,6	10,5	15,6	60,4	59,0	7	3,51	7,4	186,8
My	24,3	12,9	18,2	59,0	42,0	3	4,63	7,9	248,3
Jn	28,2	16,0	22,0	55,7	0,0	0	5,83	7,6	285,8
Jl	32,0	19,3	25,7	58,0	0,0	0	6,11	6,4	283,5
Ag	31,4	20,0	25,5	64,5	24,2	2	4,89	6,0	228,3
S	29,0	18,0	22,9	67,0	4,8	2	3,42	4,6	167,2
O	27,4	16,7	21,2	62,3	0,0	0	2,74	4,0	135,0
N	19,6	9,2	13,8	52,6	4,4	3	2,00	7,1	104,3
D	15,9	6,7	10,5	65,5	36,2	2	1,04	3,8	71,6
Media Total	24,9	13,2	18,6	60,4	24,6	3,1	3,74	5,93	189,1
2010-2013	$T_{m\acute{a}x}$	$T_{m\acute{i}n}$	T_{med}	HR_{med}	Lluvia	Días	ET_0	Viento	Rg
Media Total	24,0	12,9	17,9	63,0	28,0	4,7	3,51	5,87	185,1
Total					309		1279		

3.3. Medidas

3.3.1. Estado hídrico

Suelo

El contenido de agua en el suelo (θ_v) fue monitoreado en continuo con sondas de capacitancia EnviroScan[®] (Sentek Sensor Technologies, Adelaida, Australia), previamente calibradas (Evelt *et al.*, 2006; Abrisqueta *et al.*, 2012). Los tubos de acceso de PVC fueron instalados a 10 cm del emisor situado más cerca del tronco en árboles representativos de ambos cultivos. Cada sonda de capacitancia tenía sensores a 10, 30, 50 y 70 cm de profundidad que estaban conectados de forma inalámbrica a una unidad de transmisión de radio. Los sensores leen cada 5 min y la media de 15 min es enviada a través de un sistema de telemetría (ADCON Telemetry Smart Solutions, Austria). La visualización y procesamiento de los datos se realizó en la plataforma web addVANTAGE versión pro 6.6. Más detalles sobre este tipo de sensores se describen en Vera *et al.* (2019, 2021).

Planta

El estado hídrico de los árboles se determinó en base a las medidas del potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}) para lo que se empleó una cámara de presión (Soil Moisture Equipment Co., modelo 3000, Santa Barbara, CA, USA) (Fotografía 3.4A). Las medidas se realizaron a mediodía solar (12:00 - 13:30 h GMT), en hojas sanas y adultas, cercanas al tronco y localizadas en la zona sombreada del árbol (Norte). Las hojas se cubrieron previamente con papel de aluminio (Fotografía 3.4B) al menos dos horas antes de la medida para evitar la transpiración, siendo esta medida más estable que la realizada en hojas soleadas descubiertas (McCutchan y Shackel, 1992; Shackel *et al.*, 1997). Además, se siguieron las recomendaciones de Hsiao (1990).



Fotografía 3.4. (A) Cámara de presión utilizada para la medida del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) y **(B)** Detalle de una hoja tapada en el árbol de melocotonero.

3.3.2. Crecimiento vegetativo

Raíces

La dinámica de crecimiento de las raíces de melocotoneros y nectarinos se evaluó utilizando minirrizotrones, que consisten en un tubo de plástico transparente (Fotografía 3.5A) que se instala en el suelo con un ángulo de 45° , utilizando una máquina hidráulica perforadora adaptada (Fotografía 3.5B). Los tubos tienen una longitud de 1,8 m y unos diámetros exterior e interior de 70 y 64 mm, respectivamente. La longitud del tubo enterrado es de 1,4 m, de modo que se alcanza una profundidad total de 1 m. La porción enterrada lleva al final un tapón totalmente sellado y el extremo que queda en la superficie (0,40 m) está pintado de blanco y con un tapón desmontable para evitar que lluvia, polvo u otros objetos puedan entrar en el tubo.

A



B



C



D



E



Fotografía 3.5. (A) Minirizotrón antes de su instalación en el suelo (1,4 m tubo transparente + 0,4 m blanco), (B) Equipo perforador durante la instalación, (C) Escáner circular, (D) Equipos para la medida de raíces en campo: minirizotrón, escáner con varilla, ordenador portátil, (E) Medida de DLR en el suelo de un nectarino.

En cada tubo se introduce un escáner (CI-600) (Fotografía 3.5C) que rota automáticamente 360° y crea una imagen completa de 21,59 cm x 19,56 cm del suelo y de las raíces, a una resolución de 600 píxeles. El escáner se desplaza mediante una varilla que se engancha en la parte superior del propio escáner, que dispone de 8 muescas separadas 20 cm entre sí. La porción entre la primera muesca y el final de la cabeza del escáner mide 40 cm, distancia que coincide con la parte pintada en blanco del minirizotrón y que se utiliza para calibrar el escáner, actividad que se debe realizar cada vez que se inicia una medida. Las siguientes siete muescas de la varilla son las que sirven para situar la cabeza del escáner en una determinada profundidad de la porción transparente del minirizotrón.

El escáner se conecta a un ordenador portátil en el que se almacenan las imágenes (Fotografía 3.5 D, E). Las imágenes en color de las raíces escaneadas, se analizaron utilizando el software CI-400CIAS Computer Imaging Analysis proporcionado con el software WinRHIZO-Tron[®] v.2008 (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá).

El sistema determina el número de puntos radiculares, la longitud y el diámetro de las raíces a las distintas profundidades, en nuestro caso: 0-10, 10-25, 25-40, 40-55, 55-70, 70-85 y 85-100 cm. Las raíces se clasificaron en tres rangos de diámetro: muy fino (<0,5 mm), fino (0,5 - 2 mm) y grueso (>2 mm).

La densidad de longitud de raíces (DLR) se calculó como el cociente entre la longitud de raíces (cm) y el volumen de suelo muestreado (cm³).

Tronco y ramos

El diámetro del tronco se midió con un calibre forestal (Codimex-C 100 cm, Warszawa, Polonia), en la misma zona marcada de cada árbol a 30 cm de la superficie del suelo. Asumiendo un círculo los datos se expresaron en sección transversal del tronco (STT).

Durante 2010, el crecimiento del tronco de melocotoneros adultos se monitorizó de forma continua utilizando dendrómetros (transductores de desplazamiento variable lineal (en inglés LVDT) (modelo DF $\pm 2,5$ mm, precisión ± 10 μ m, Solartron Metrology, Bognor Regis, UK) instalados en el tronco a unos 30 cm del injerto (Fotografía 3.6). Las medidas se tomaron cada 2 s y se registraban las medias de 15 minutos en un datalogger (modelo CR10X con multiplexor AM25T, Campbell Scientific, Logan, UT, USA).



Fotografía 3.6. Dendrómetro instalado en el tronco de un melocotonero.

La longitud de los ramos se midió con una cinta métrica en cuatro ramos por árbol (uno en cada dirección) marcados al inicio de la estación.

Cobertura foliar

Para la determinación de la cobertura foliar (CF), que nos da idea del tamaño de la copa del árbol, se tomaron fotografías cenitales en la vertical de la copa del árbol con una cámara fotográfica digital Logitech Pro Webcam C910, situando la cámara a una altura de unos 7 m sobre el eje del árbol, para lo que se habilitó un sistema de pértiga móvil. Para aumentar la nitidez de la superficie foliar, el suelo se cubrió con un film de plástico blanco (5 m × 5 m), dejando el tronco del árbol en el centro, de forma que el dosel vegetal quedase dentro de un fondo bien diferenciado. Para facilitar el análisis de las imágenes, éstas se tomaron inmediatamente después del alba o en días nublados, para evitar que la incidencia de los rayos solares en las ramas generase alguna sombra en la superficie del suelo.

Las imágenes se analizaron con un software de tratamiento de imágenes (Corel PHOTO-PAINT X4), siguiendo el siguiente protocolo: sobre la imagen original se registra el valor de la longitud virtual de la escala (Figura 3.2A). A continuación, se discrimina de la imagen todo lo que no sea dosel vegetal y se aumentan el brillo y el contraste, de manera que el fondo de la imagen quede

totalmente blanco (Figura 3.2B) y, por último, todo píxel perteneciente al dosel vegetal se convierte en negro (1 bit) mediante conversión lineal (Figura 3.2C). De la imagen resultante se obtiene el valor, en porcentaje, de la fracción en negro correspondiente al histograma, para lo cual es necesario convertir la imagen a escala de grises (8 bits).

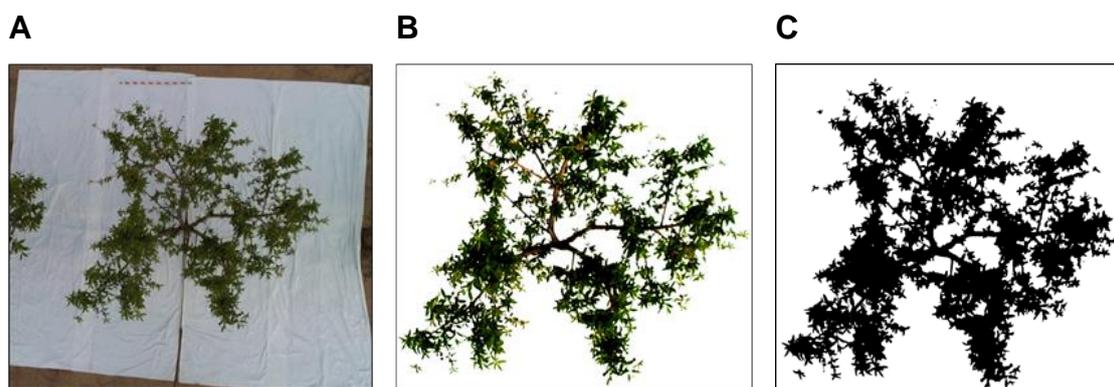


Figura 3.2. Proceso de edición de una imagen para la determinación de la cobertura foliar (CF) en nectarino: **(A)** Imagen original, **(B)** Depuración del dosel vegetal, **(C)** Imagen convertida en blanco y negro.

Con los datos del porcentaje de bits negros (cobertura vegetal) y las dimensiones reales de la imagen se calculó el área de cobertura proyectada verticalmente al suelo, realizando algunos ajustes. El primero consiste en corregir la heterogeneidad del dosel vegetal al convertir los píxeles negros dispersos en la imagen en un círculo ideal con diámetro (D). El efecto óptico que produce la visualización de la copa del árbol por el foco (ojo), desde el que se obtiene la imagen fotográfica, hace que D sea mayor de lo que lo es en realidad. Para corregir dicho efecto, y obtener el diámetro del círculo que representa al área de cobertura proyectada verticalmente al suelo (D'), se emplea la siguiente ecuación (Ecuación 3.1):

$$D' = D \times (1 - H_D / F) \quad [\text{Ecuación 3.1}]$$

siendo: F la altura de foco al suelo, y H_D la altura del árbol que define su máxima envergadura vista desde el foco (medida en campo el día que se hace la fotografía). La altura de foco fue semejante entre todas las fotografías (≈ 7 m) pero específica para cada una, y se calcula en función del factor de escala, las dimensiones virtuales de la imagen original y del ángulo α (Figura 3.3A), siendo

α el ángulo de visión horizontal de la cámara con que se capturan las imágenes y que se alinea con la línea porta-goteros. El segundo ajuste permite estimar la sombra efectiva del árbol (Allen *et al.*, 2009), en función del ángulo solar a mediodía, que varía diariamente (<http://www.timeanddate.com/>). El cálculo considera la transformación del círculo ideal de CF (Figura 3.3A) en una elipse sombreada en el suelo (Figura 3.3B).

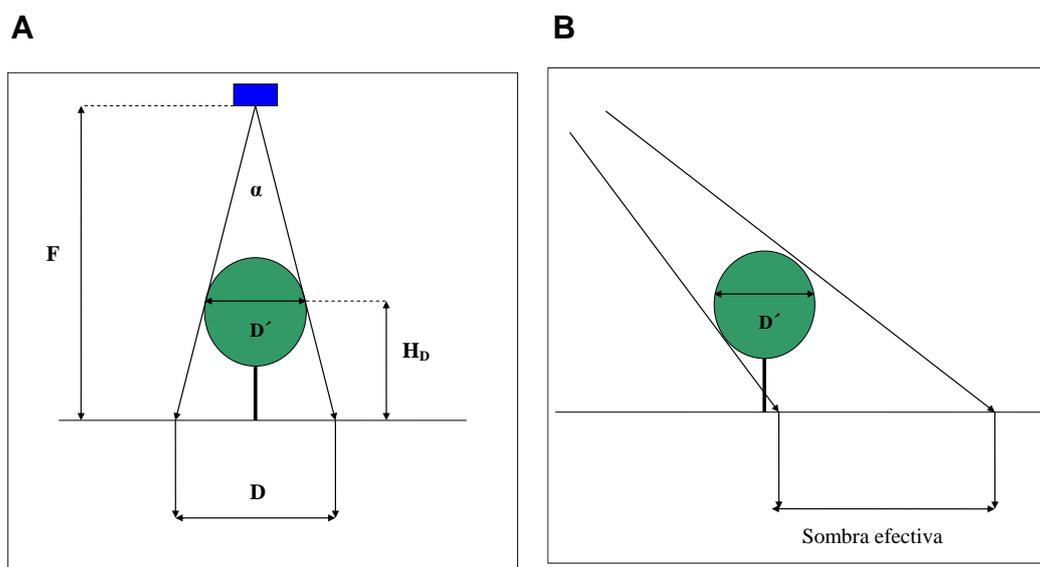


Figura 3.3. Parámetros para el cálculo del porcentaje de área sombreada: **(A)** altura de foco (F), altura del árbol que define su máxima envergadura vista desde el foco (H_D), diámetro del círculo ideal (D), diámetro del círculo corregido (D') y ángulo horizontal de visión (α), **(B)** Sombra efectiva en función del ángulo solar a mediodía.

De forma complementaria, el tamaño de los árboles se evaluó con medidas anuales (realizadas en verano) de la altura y anchura de la copa del árbol utilizando jalones graduados.

Poda

La madera y brotes eliminados en las labores de poda, tanto en invierno, (realizada anualmente en el periodo de reposo vegetativo), como en verano (poda en verde, después de la cosecha) se pesaron en el campo individualmente en cada árbol (peso fresco), utilizando una balanza digital de precisión ($0-6000 \pm 2$ g, Scaltec, Modelo SSH 92, Dania Beach, FL, USA.). Unas muestras representativas se llevaron al laboratorio para obtener el peso seco, después de estar 48 h a 65 °C en una estufa ventilada (Modelo 2005142, J.P. Selecta, Madrid, España).

3.3.3. Crecimiento del fruto.

El crecimiento de los melocotones y nectarinas se determinó con la medida semanal en campo del diámetro ecuatorial de los frutos, tomados al azar alrededor del árbol, con un calibre digital (0-150 \pm 0,01 mm; Mitutoyo, CD-15D, Kawasaki, Japón) (Fotografía 3.7).



Fotografía 3.7. Medida de crecimiento del diámetro del fruto (nectarino) en árbol utilizando un calibre digital (CRAFSTMAN).

Además, en nectarinos jóvenes se tomaron muestras de frutos durante las distintas fases de crecimiento del fruto, para obtener las relaciones alométricas. En el laboratorio se realizaron medidas individuales de los diámetros ecuatorial y longitudinal, con un calibre digital, el peso fresco con una balanza (Mettler PE 360 DeltaRange, Greifensee, Suiza, con una precisión de \pm 0,001 g), y el peso seco, tras 24 - 48 h a 60 °C en una estufa ventilada (Modelo 2005142, J.P. Selecta, Madrid, España).

3.3.4. Producción y calidad del fruto

Cosecha

En el momento de la óptima madurez organoléptica del fruto se realizó la recolección de los melocotones y las nectarinas, en uno o tres cortes, generalmente durante la primera quincena de mayo. Se controló el peso total por

árbol, usando una balanza digital de precisión (0-6000 ± 2 g, Scaltec, Modelo SSH 92, Dania Beach, FL, EE.UU.), contando el número de frutos por árbol y, en su caso, el porcentaje de frutos agrietados.

Los frutos de melocotón y nectarina se separaron en el campo mediante calibre manual, diferenciando 7 categorías de diámetro de fruto: AAA, 80 mm ≤ 90 mm; AA, 73 mm ≤ 80 mm; A, 67 mm ≤ 73 mm; B, 61 mm ≤ 67 mm; C, 56 mm ≤ 61 mm; D, 51 mm ≤ 56 mm, y en clase no Extra < 51 mm. En el caso del ensayo de carga productiva en melocotoneros adultos (capítulo 4) se distribuyeron agrupados en 5 categorías (<56 mm, 56-60 mm, 61-67 mm y 68-73 mm y >73 mm). Los frutos de cada categoría se pesaron en la balanza digital, y los datos se registraron como porcentaje de cada categoría.

La eficiencia productiva (EP) fue estimada como el cociente entre la producción total y la sección transversal del tronco (STT). La eficiencia de uso del agua (EUA) fue determinada como el cociente entre la producción total y el volumen de riego aplicado en cada tratamiento.

Calidad

En cada corte de los dos cultivos se tomaron muestras representativas de unos 20-25 frutos por repetición, que se transportaron a la cámara de almacenamiento frigorífico situada en las instalaciones del CEBAS-CSIC, realizándose las siguientes medidas, con los equipos que se muestran en la Fotografía 3.8:

- Diámetro ecuatorial y longitudinal, con calibre digital (0-150 ± 0,01 mm; Mitutoyo, CD-15D, Kawasaki, Japón).
- Peso unitario, en balanza (Mettler PE 360 DeltaRange, Greifensee, Suiza, precisión de ± 0,001 g).
- Color: con colorímetro (Minolta CR-10, Osaka, Japón) según el sistema de coordenadas cromáticas CIE L*a*b*, donde L*=luminosidad, a*=componente rojo-verde y b*= componente azul-amarillo.

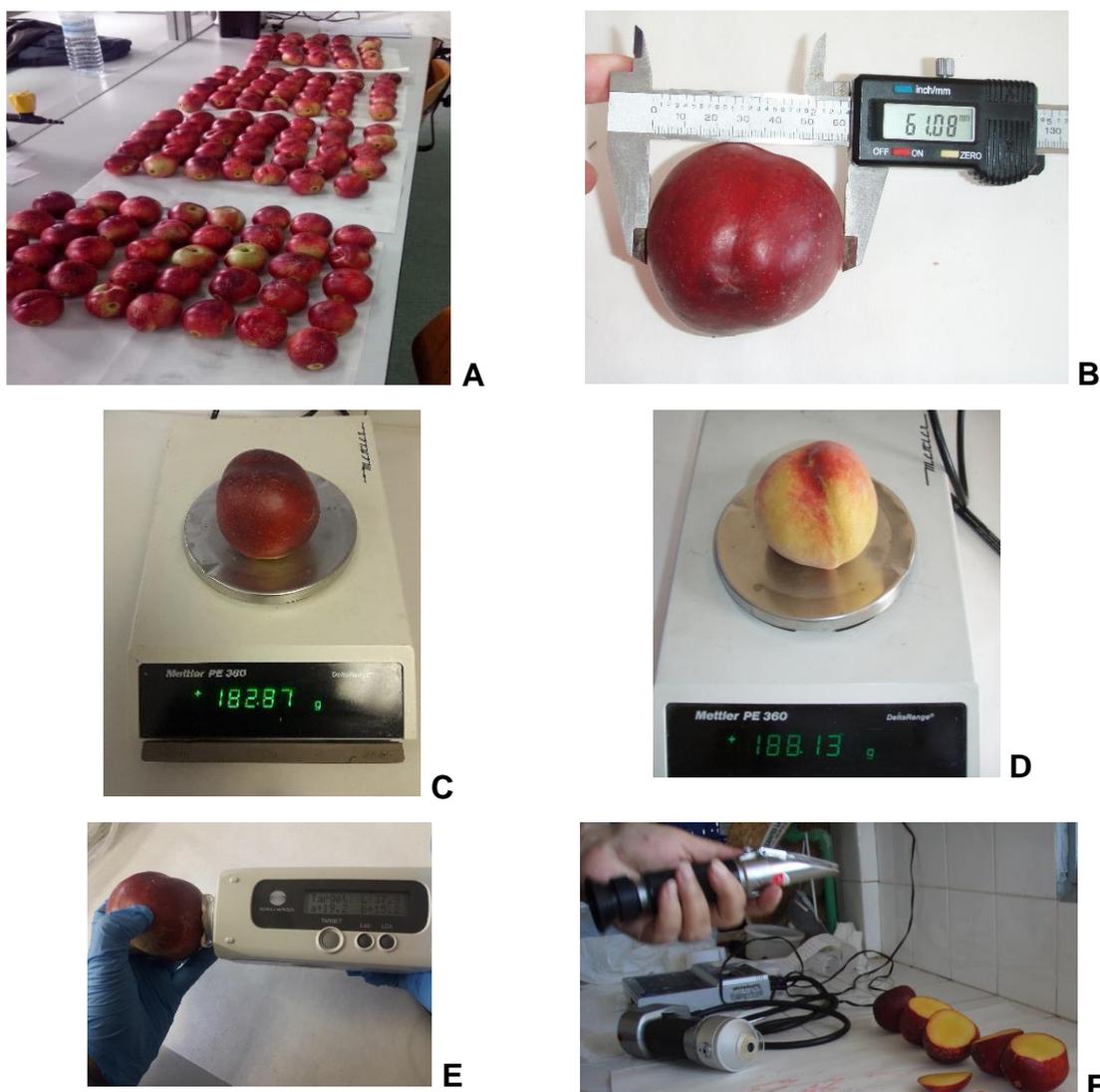
A partir de estos valores, el color se calculó como cromaticidad o Cromo (C*):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [\text{Ecuación 3.2}]$$

y la tonalidad o ángulo de matiz HUE (h°):

$$HUE = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad [\text{Ecuación 3.3}]$$

- Sólidos solubles totales (SST) expresados en $^\circ\text{Brix}$: con refractómetro manual digital (Atago ATC-1, Tokio, Japón).



Fotografía 3.8. Medida de parámetros físicos de calidad del fruto: **(A)** Vista general de los frutos en el laboratorio, **(B)** Diámetro ecuatorial con calibre digital, **(C)** Peso unitario nectarina, **(D)** Peso unitario melocotón, **(E)** Color con colorímetro y **(F)** Sólidos solubles totales con refractómetro.

**4. Efectos de la carga productiva
en la respuesta agronómica y
fisiológica de melocotoneros
adultos**

4.1. Introducción

La disponibilidad de carbohidratos limita el crecimiento reproductivo, de forma que factores como el número y posición de los frutos (aclareo), el crecimiento vegetativo y la configuración del árbol (poda), afectan al rendimiento del melocotonero (DeJong, 1999; Naor *et al.*, 1999; López *et al.*, 2006).

En los árboles caducifolios, como el melocotonero, el crecimiento inicial de los órganos reproductivos y vegetativos depende de la movilización de las reservas de carbohidratos en las raíces (Kozolowski, 1992); además, los frutos compiten entre ellos y con el crecimiento vegetativo por estos recursos (DeJong *et al.*, 1987). Se ha relacionado una reducción en el número de frutos con un mayor crecimiento del sistema radicular (Marsal *et al.*, 2003; López *et al.*, 2008). Asimismo, varios estudios han revelado que la carga del cultivo afecta a la distribución de carbohidratos, siendo los cultivares de maduración temprana más sensibles a una carga excesiva que los de maduración tardía y, por lo tanto, requieren un aclareo más intenso (Pavel y DeJong, 1993; Miranda y Royo, 2002).

Abrisqueta *et al.* (2008) han demostrado que el riego deficitario reduce el crecimiento de las raíces de melocotoneros Flordastar. Estos autores utilizan minirrizotrones, técnica no destructiva para monitorear el crecimiento de las raíces que consta de un escáner para ver y registrar imágenes de raíces a través de un tubo transparente insertado en el suelo (Upchurch y Ritchie, 1983; McMichael y Taylor, 1987; Smit *et al.*, 2000; Hendricks *et al.*, 2006). Esta metodología ha sido ampliamente aplicada al estudio de la dinámica radicular en plantas anuales (Machado *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2003), árboles forestales (Day *et al.*, 2006) y frutales (Fernández *et al.*, 1992; Abrisqueta *et al.*, 1994; Wells *et al.*, 2002; Bernier y Robitaille, 2004). Sin embargo, ha sido poco utilizado para evaluar la respuesta a diferentes prácticas de manejo del cultivo.

Por ello, en este capítulo se estudian los efectos de prácticas de manejo de la carga, mediante distintos grados de aclareo de frutos, sobre el crecimiento vegetativo y productivo de melocotoneros adultos de maduración temprana regados por goteo en condiciones no limitantes de agua.

Se estableció un tratamiento de carga comercial y otro de carga baja en donde se estudió el patrón estacional del crecimiento de las raíces (medido con minirrizotrones) en relación con el de otros órganos de la planta (tronco, ramos y frutos) para explicar las interacciones entre el crecimiento radicular y el crecimiento de la parte aérea en las dos condiciones de carga estudiadas.

4.2. Material y Métodos

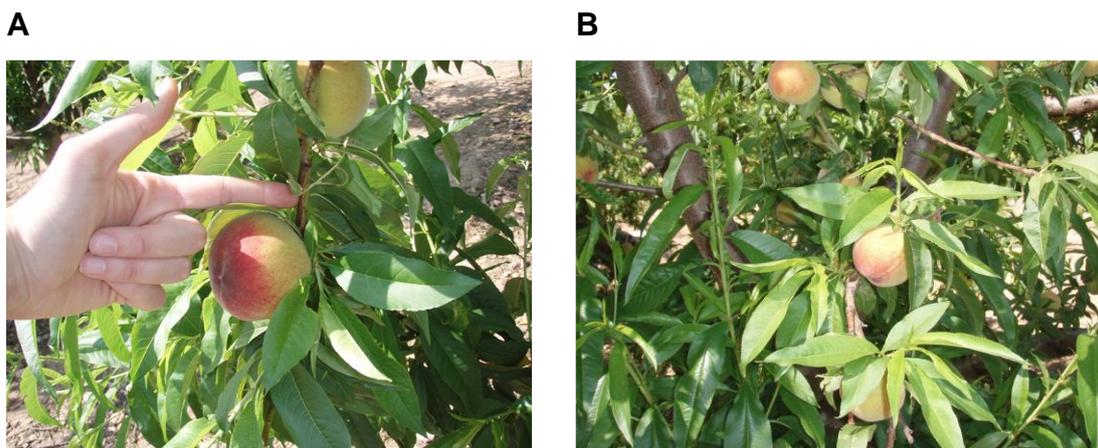
4.2.1. Parcela experimental y tratamientos

El ensayo se realizó durante el año 2010 en la parcela de melocotoneros adultos cv. Flordastar descrita en el capítulo 3 (apartado 3.1.1). Las condiciones climáticas de ese año fueron las típicas del clima mediterráneo con una marcada aridez e irregularidad pluviométrica. Los datos mensuales se muestran en la Tabla 3.5 del capítulo 3 (apartado 3.2), siendo los valores totales para el periodo experimental de $ET_0 = 1245$ mm y lluvia = 417 mm.

Todos los árboles se regaron al 100 % de la ET_c , siguiendo el protocolo indicado en el capítulo 3 (apartado 3.1.3). El agua aplicada durante el ciclo de cultivo correspondiente a la cosecha del año 2010 fue de 770 mm.

Se realizó el aclareo manual, que de forma rutinaria se realiza en todos los *Prunus persica*, en nuestro caso cuando los frutos tuvieron un tamaño de 2 mm (unos 40 días después de la máxima floración, 10 de marzo de 2010), estableciéndose dos tratamientos de carga productiva:

- Carga comercial (CC): dejando unos 20 cm de distancia entre frutos y eliminando el resto (Fotografía 4.1A).
- Carga baja (CB): dejando unos 40 cm de distancia entre frutos y eliminando el resto (Fotografía 4.1B).



Fotografía 4.1. (A) Carga comercial y (B) Carga baja en melocotoneros adultos.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente aleatorio, con 4 repeticiones de 5 árboles cada una (Figura 4.1).

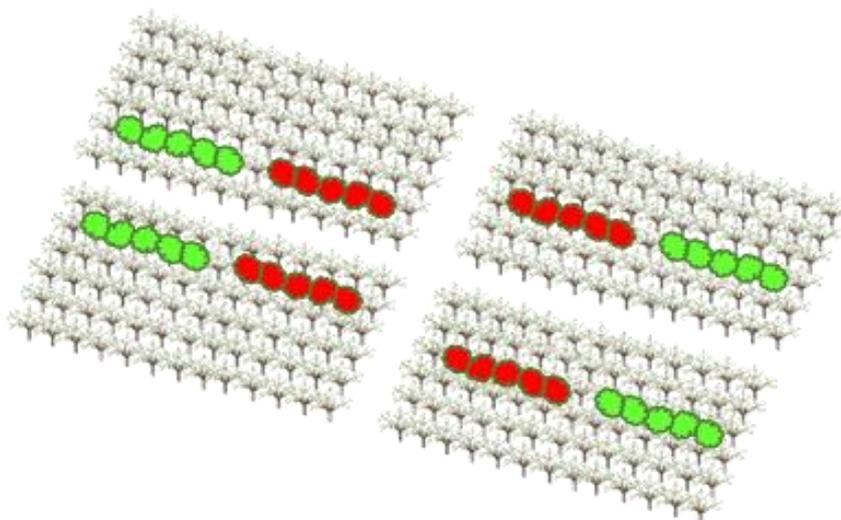


Figura 4.1. Distribución de los tratamientos de carga productiva: carga comercial (CC, ●) y carga baja (CB, ●) en la parcela de melocotoneros adultos.

4.2.2. Medidas

Se controlaron los parámetros siguientes, según la metodología descrita en detalle en el capítulo 3 (apartado 3.3):

Estado hídrico

Para evaluar el estado hídrico del cultivo se realizaron medidas cada 7 - 15 días del potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}) a mediodía solar, en una hoja por árbol y repetición (n=4) en cada tratamiento de carga productiva, con cámara de presión, siguiendo las indicaciones del capítulo 3 (apartado 3.3.1).

Raíces

El crecimiento de las raíces se evaluó con el análisis de las imágenes obtenidas con minirrizotrones, según se indica en el capítulo 3 (apartado 3.3.2). Los minirrizotrones estaban instalados en un árbol representativo en 3 de las 4 repeticiones de cada tratamiento de carga, según el diseño que se muestra en la Figura 4.2A.

Las imágenes del minirrizotrón de las 7 profundidades se analizaron con el software (WinRHIZO - Tron®, v.2008) y en cada una se determinó el número, longitud y diámetro de raíces, clasificándolas en tres diámetros: muy finas (<0,5 mm), finas (0,5–2,0 mm) y gruesas (>2 mm).

Se compararon dos métodos para obtener la densidad de longitud de raíces (DLR, longitud de raíces por volumen de suelo, cm cm^{-3}), uno basado en el número de raíces y otro en la longitud de raíces. El primero se basa en el método de intersección de línea, original de Newman (1966), y utiliza el número de puntos de raíz que intersectan el tubo de minirrizotrón dentro del marco de visión para calcular el valor esperado de la longitud de la raíz dentro del volumen de suelo ocupado por el tubo, pero estimándola como si el tubo no estuviera presente (Merrill y Upchurch, 1994). Así, Upchurch (1987) propuso la fórmula:

$$DLR_p = \frac{N \cdot d}{A \cdot d} \quad [\text{Ecuación 4.1}]$$

donde N es el número de raíces, A es el área del marco del minirrizotrón observada por el escáner ($439,82 \text{ cm}^2$) y d es el diámetro exterior del tubo de minirrizotrón (7 cm), usado como factor de conversión teórico para fines de consistencia dimensional.

Otro método se basa en la longitud total de la raíz (DLR_L), de acuerdo con la ecuación de Johnson *et al.* (2001):

$$DLR_L = \frac{L}{A \cdot DOF} \quad [\text{Ecuación 4.2}]$$

donde L es la longitud total de la raíz observada en el marco del minirrizotrón, A es el área del marco del minirrizotrón observada por el escáner ($439,82 \text{ cm}^2$) y DOF es la profundidad de campo alrededor del tubo ($0,65 \text{ cm}$).

Además, se compararon dos procedimientos de análisis de las imágenes: (i) el que determina todas las raíces que se observan en la imagen (raíces totales) y (ii) el que solo considera las raíces nuevas, caracterizadas por el distintivo color blanco (correspondiente a raíces nuevas).

De forma complementaria, en verano (12 julio, 2010) se tomaron muestras de suelo y raíces en los 3 árboles equipados con minirrizotrón del tratamiento de carga comercial utilizando una barrena de $5,2 \text{ cm}$ (452 cm^3), según una malla a 0 y a 30 cm a cada lado del segundo gotero del árbol, hasta una profundidad de 90 cm y a intervalos de 15 cm (Figura 4.2B). Para separar las raíces del suelo, las muestras se introdujeron en recipientes con agua (12 L) y hexametáfosfato sódico ($\approx 40 \text{ g}$), lo que provoca la floculación de las arcillas. Después se procedió al lavado y tamizado ($0,5 \text{ mm}$) de las raíces, que fueron evaluadas con un escáner de mesa (LA 1600+, Regent Instruments Inc., Canadá) con una resolución de 200 ppp (píxeles o puntos por pulgada). Las imágenes fueron analizadas con el programa WinRhizo Pro™ (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá), expresando los valores en DLR (cm raíz cm^{-3} suelo).

La comparación entre la DLR del muestreo con las medidas con minirrizotrón se realizó emparejando las secciones 2, 3, 6 and 7 del minirrizotrón con las muestras de suelo tomadas a 30 cm del gotero a $15, 30, 75$ and 90 cm , respectivamente, y las secciones 4 and 5 con las muestras tomadas debajo del gotero a 45 and 60 cm de profundidad, respectivamente (Figura 4.2A).

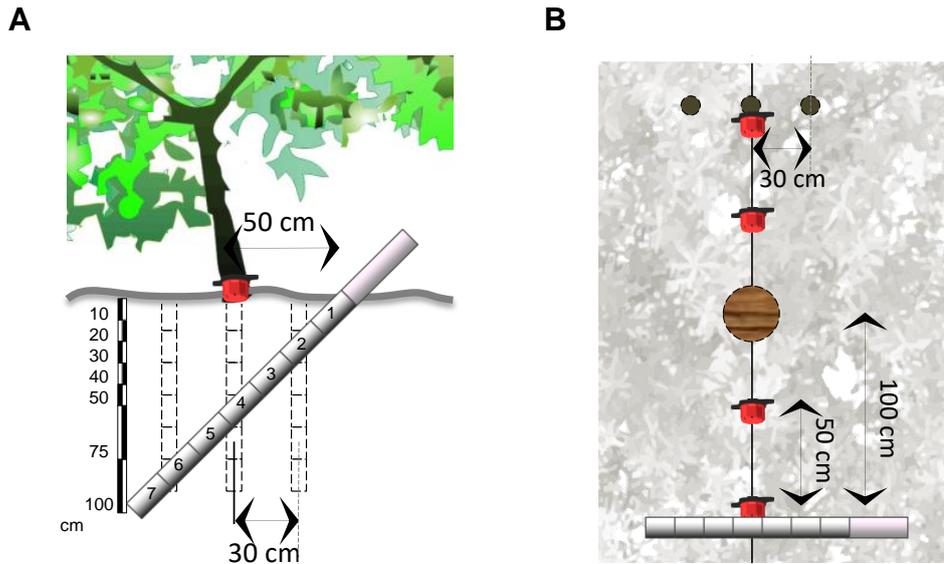


Figura 4.2. (A) Localización del tubo de minirrizotróon respecto al árbol y la superficie del suelo en la parcela de melocotoneros adultos, vista frontal, (B) Muestras de suelo (●), distancia respecto al árbol vista cenital (● gotero).

Crecimiento de ramos y tronco

La longitud de los ramos se determinó dos veces al mes, midiendo 4 ramos marcados por árbol, uno de cada dirección, en 4 árboles (uno por repetición) de cada tratamiento de carga productiva, utilizando una cinta métrica.

El diámetro del tronco se monitorizó de forma continua con dendrómetros (capítulo 3, apartado 3.3.2), instalados en el tronco de 4 árboles del tratamiento de carga comercial (uno en cada repetición).

Crecimiento del fruto

El diámetro ecuatorial del fruto se midió semanalmente desde principios de marzo hasta la cosecha en 100 frutos, seleccionados aleatoriamente de 4 árboles (uno de cada repetición, en cada tratamiento de carga productiva) utilizando un calibre digital. El diámetro del fruto (D, mm) se convirtió en peso seco del fruto (PS, g) utilizando la relación alométrica obtenida por Mounzer *et al.* (2008) para esta misma variedad:

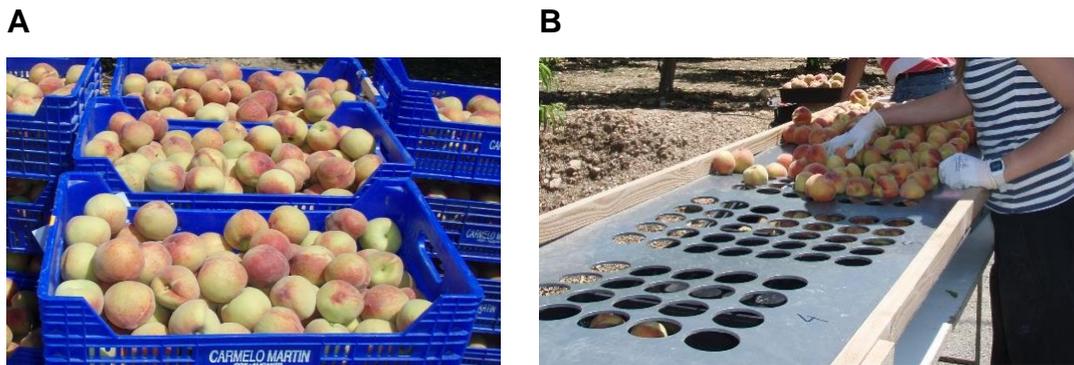
$$PS = 4 \cdot 10^{-4} \cdot D^{2,54} \quad (n = 190; r^2 = 0,90); p \leq 0,001 \quad [\text{Ecuación 4.3}]$$

La velocidad de crecimiento de raíces, ramos, tronco y frutos se expresó como aumentos en la longitud o el peso por día.

Producción y calidad de fruto

La producción de melocotón se evaluó durante la primera semana de mayo en dos fechas de recolección, pesando y contando el número total de frutos por árbol, en los 5 árboles de cada repetición y tratamiento de carga productiva. Mediante calibración manual, la fruta se distribuyó en el campo en 5 categorías de diámetro (<56, 56-61, 61-67 y 67-73 y >73 mm), pesándose todas las frutas de cada categoría en una balanza (Fotografía 4.2). De acuerdo con la Directiva EC (2008), 56 mm es el diámetro mínimo para que una fruta de melocotón se considere en la "clase Extra".

La calidad del melocotón se evaluó con la medida de los SST, en una muestra de 10 frutos de cada repetición y tratamiento de carga en cada fecha de recolección, utilizando un refractómetro de mano (capítulo 3, apartado 3.3.4). Los valores se expresaron como °Brix.



Fotografía 4.2. (A) Recolección de melocotón, **(B)** Distribución de calibres en campo.

4.2.3. Análisis estadístico

Los datos de crecimiento de raíces, ramos y frutos se analizaron mediante el modelo lineal general del análisis de la varianza de medidas repetidas, que considera el factor 'dentro del sujeto' como una serie de medidas de crecimiento tomadas en el mismo sujeto a lo largo del tiempo y el factor 'entre sujetos' el tratamiento de carga productiva. Se realizó un análisis de regresión en los procedimientos metodológicos utilizados para obtener los datos de DLR. Se presentan los valores medios \pm el error estándar (ES). Las comparaciones estadísticas se consideraron significativas al 95 % de confianza ($p \leq 0,05$) según el test de Mínima Diferencia Significativa ($MDS_{0,05}$). Además, se realizó una

transformación $\sqrt{\text{arccoseno}}$ de los datos en porcentaje. Para todo ello se utilizó el software SPSS v.20.

4.3. Resultados

4.3.1. Procedimientos metodológicos con minirrizotrones

Los datos de crecimiento radicular (densidad de longitud de raíces, DLR) obtenidos en el tratamiento de carga comercial durante todo el año se utilizaron para estudiar la validez de los dos métodos de cálculo de DLR: el de número de raíces o puntas (DLR_P) y el de longitud (DLR_L). Ambos métodos estaban estrechamente relacionados, con una pendiente cercana a la unidad (0,93) y un coeficiente de correlación altamente significativo (Figura 4.3A). Se observó una ligera sobreestimación de DLR con puntas con respecto a la de longitud. De antemano, parecería más lógico traducir la longitud de la raíz de la imagen a valores de DLR (Johnson *et al.*, 2001), sin embargo, la DLR_P es igualmente válido y este método tiene la ventaja de que tiene en cuenta todas las posibles orientaciones de la raíz y calcula el valor esperado de la longitud de la raíz dentro del volumen de suelo ocupado por el tubo si el tubo no estuviera (Merril y Upchurch, 1994). Este es el método que se ha utilizado en este estudio y se indica con la forma abreviada DLR sin subíndice.

Las imágenes de raíces capturadas en los minirrizotrones se analizaron con dos procedimientos: raíces totales (se dibujan todas las raíces que aparecen en la imagen) y raíces nuevas (solo se dibujan las raíces nuevas de un característico color blanco). La comparación realizada entre los datos de DLR (incluyendo todas las clases de diámetros) de los árboles de carga comercial calculados por los dos procedimientos mostró una buena correlación, con un coeficiente altamente significativo ($r^2=0,92^{***}$) (Figura 4.3B).

Por último, los resultados de la comparación realizada entre los datos de DLR de las muestras de suelo y los datos obtenidos por el minirrizotrón en la fecha de muestreo de verano revelaron una alta correlación, si bien con una clara tendencia del minirrizotrón a subestimar los datos de DLR (relación 1:100) en comparación con la DLR obtenida para las muestras de suelo (Figura 4.3C).

Igualmente, la DLR en el perfil del suelo se describió de manera similar por ambos métodos (muestreo y minirrizotrón), con una exploración radicular máxima ubicada en los primeros 45 cm (Figura 4.3C).

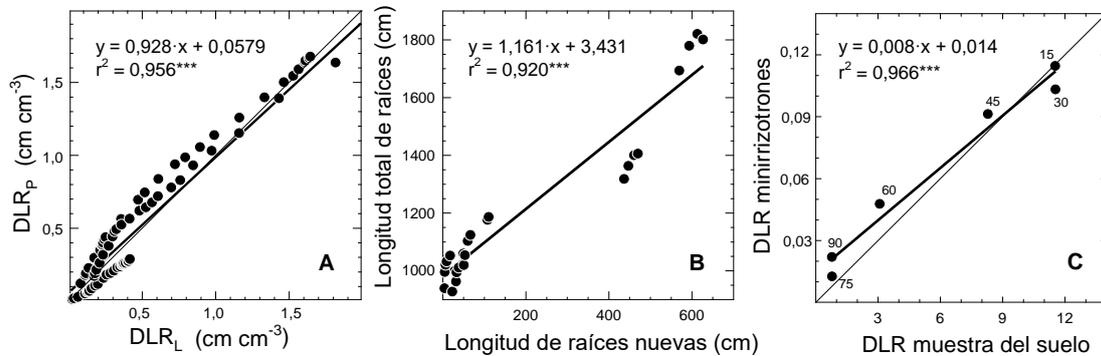


Figura 4.3. (A) Relación entre los datos de DLR de melocotoneros adultos de carga comercial calculados en base al número de puntos de raíz (DLR_P) y a la longitud de raíz (DLR_L). Los datos corresponden a la profundidad de 40 - 55 cm, (B) Relación entre los datos de DLR evaluados como raíces totales y raíces nuevas, (C) Relación entre los datos de DLR obtenidos con minirrizotrones y con muestras de suelo. Los números en los puntos corresponden a la profundidad (cm). *** ($p \leq 0,001$).

4.3.2. Patrón de crecimiento de raíces y parte aérea

El patrón de crecimiento anual de los diferentes órganos (raíces, frutos, ramos y tronco) de los melocotoneros adultos del tratamiento de carga comercial se muestra en la Figura 4.4, expresados como porcentaje del crecimiento total al final de la temporada (Figura 4.4B) y como velocidad de crecimiento diario (Figura 4.4C). La evapotranspiración del cultivo (ET_c) también se incluye para indicar el consumo estacional de agua de melocotonero, observándose los valores máximos de ET_c después de la cosecha y disminuyendo a partir de septiembre (Figura 4.4A).

Los datos de longitud de raíces incluyeron todos los diámetros, siendo la mayoría de las raíces (88 %) de diámetro muy finas (<0,5 mm), el 7 % raíces finas y el 5 % raíces gruesas.

Los datos de crecimiento y velocidad de crecimiento muestran dinámicas alternas entre la parte aérea (tronco, ramos y frutos) y las raíces. Los frutos completaron su crecimiento a principios de mayo, cuando las raíces y el tronco solo habían completado el 20 % de su crecimiento total en este momento,

mientras que los ramos ya habían alcanzado más del 60 % de su desarrollo final (Figura 4.4B).

La velocidad de crecimiento de las raíces aumentó inmediatamente después de la cosecha, con un pico a mediados del verano. Se observó un ligero aumento justo antes del periodo de reposo o latencia (Figura 4.4C). Se observaron velocidades de crecimiento radicular bajas durante la fase de crecimiento activo de los frutos. La velocidad máxima de crecimiento de los ramos coincidió con el crecimiento radicular más bajo. El crecimiento del tronco siguió el mismo patrón que las raíces, con un crecimiento máximo durante el período postcosecha (Figura 4.4C).

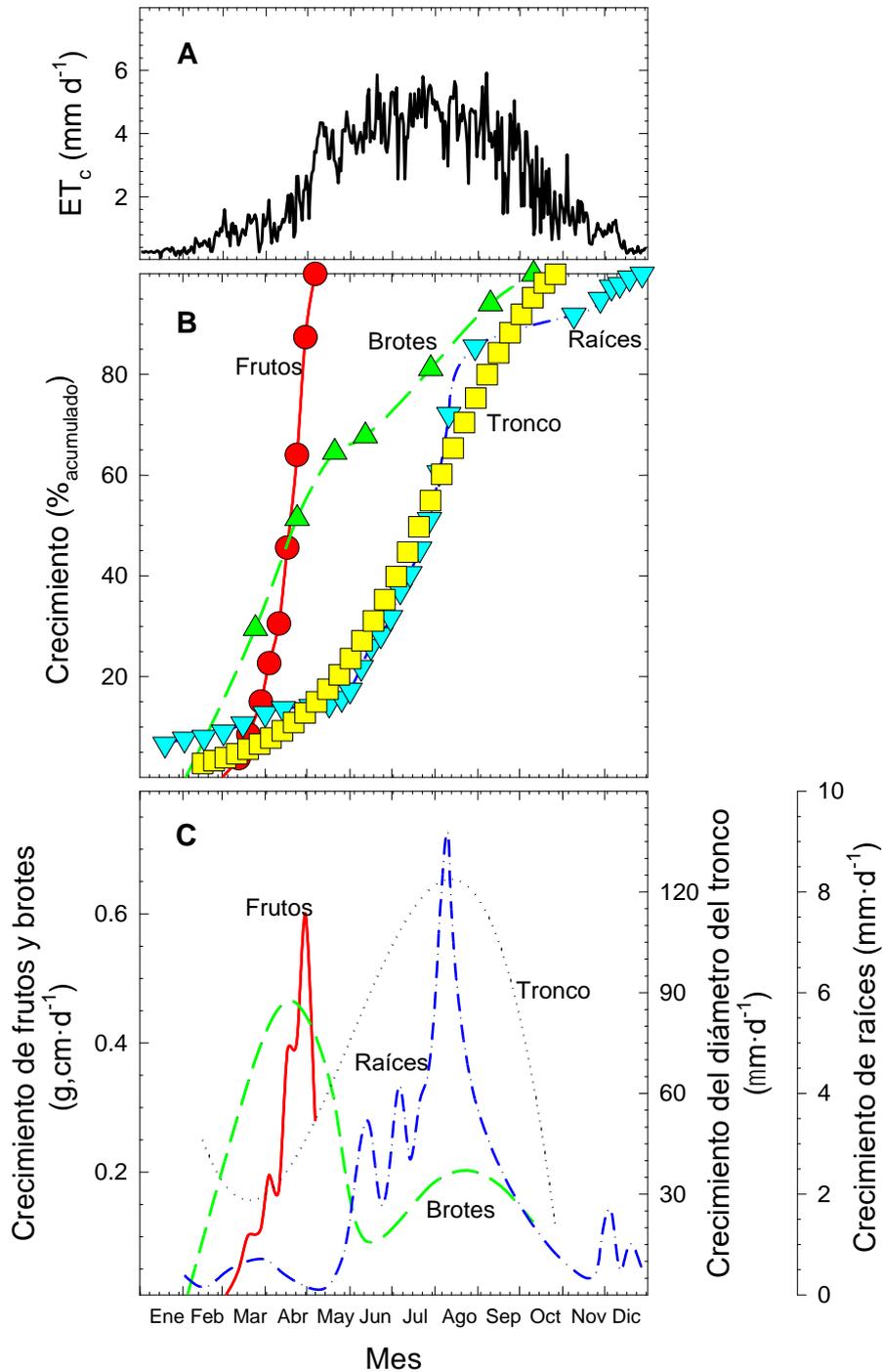


Figura 4.4. (A) Evapotranspiración del cultivo (ET_c) de melocotoneros, (B) Evolución estacional del peso del fruto (\bullet), la longitud de los ramos (\blacktriangle), el diámetro del tronco (\square) y longitud de la raíz (\blacktriangledown) de melocotoneros adultos en el tratamiento de carga comercial, expresado en porcentaje del crecimiento anual y (C) en velocidad de crecimiento diario.

4.3.3. Efecto de la carga productiva en el estado hídrico y crecimiento vegetativo y del fruto

El estado hídrico de los árboles no resultó afectado por la carga productiva, observándose valores similares de Ψ_{tallo} en los tratamientos de carga comercial y carga baja, oscilando entre -0,30 y -0,45 MPa durante las etapas II y III de crecimiento del fruto, respectivamente. Únicamente, el último día de muestreo antes de la recolección los árboles con carga baja mostraron valores significativamente más altos (menos negativos) que los de carga comercial (Figura 4.5). Los árboles se regaron para satisfacer sus necesidades hídricas y el contenido de agua del suelo en ambos tratamientos de carga de cultivo, medido con sondas de capacitancia, se mantuvo en torno a $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (cercano al valor de capacidad de campo = $0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) durante todo el ciclo de cultivo (datos no mostrados).

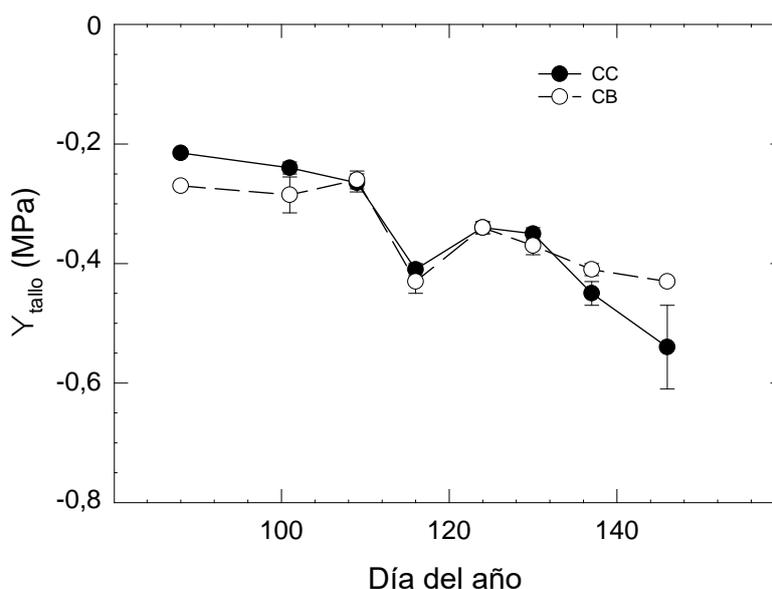


Figura 4.5. Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallos}) en melocotoneros con carga comercial (CC, ●) y carga baja (CB, ○). Las barras sobre los puntos son \pm ES de la media ($n=4$).

Sí se observaron diferencias en el crecimiento del fruto, de forma que los melocotones del tratamiento de carga comercial fueron significativamente ($p \leq 0,05$) más pequeños que los del tratamiento de carga baja en la etapa III del crecimiento del fruto (Figura 4.6A). También se observó que el crecimiento de los ramos se veía afectado por la carga del cultivo, con mayor longitud de ramos en los árboles con una carga baja en comparación con los del tratamiento de

carga comercial, aunque este efecto solo fue estadísticamente significativo después de la cosecha (Figura 4.6B).

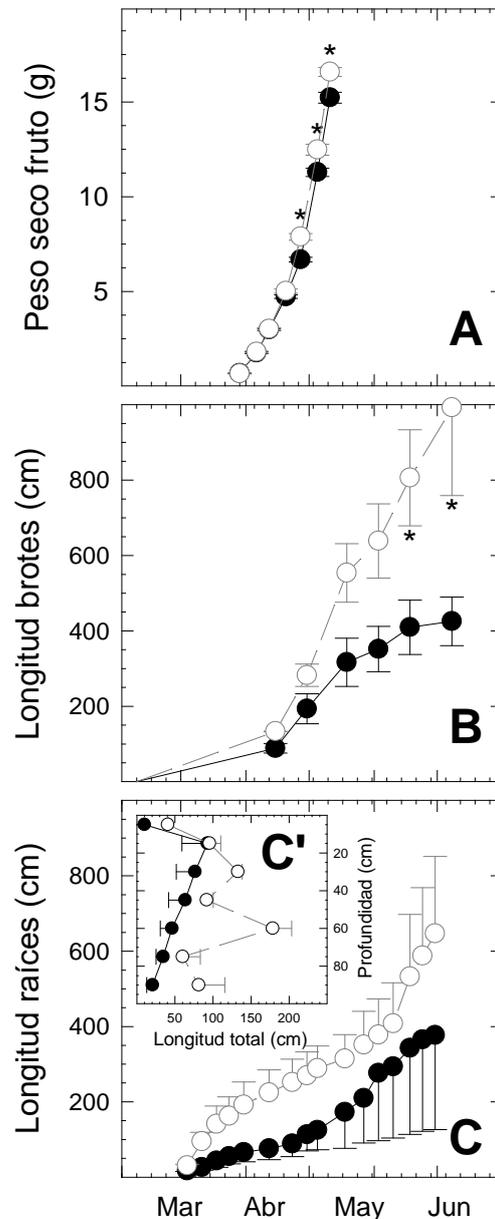


Figura 4.6. Crecimiento estacional de: **(A)** frutos (peso seco), **(B)** ramos (longitud), **(C)** raíces (longitud) en el perfil 0-100 cm y **(C')** a lo largo del perfil a final de junio, de melocotoneros adultos con carga comercial (●) y carga baja (○). Las barras sobre los puntos son \pm error estándar ($n=4$, frutos y ramos; $n=3$, raíces).

El crecimiento de raíces fue mayor en el tratamiento de CB (Figura 4.6C), siendo el período de crecimiento radicular más activo después de la cosecha, como ya se indicó anteriormente; sin embargo, según el análisis de la varianza, este efecto no fue estadísticamente significativo ($p=0,39$). El crecimiento

radicular a lo largo del perfil del suelo mostró que este aumento afectó principalmente a la capa de suelo comprendida entre 30 - 60 cm (Figura 4.6C').

4.3.4. Efecto de la carga productiva en la producción y distribución de calibres

La producción total de melocotón fue menor ($p \leq 0,001$) en los árboles con carga baja que, en los árboles de carga comercial, debido al menor número de frutos recolectados en la segunda cosecha (Tabla 4.1). Sin embargo, el tamaño promedio del fruto fue significativamente mayor en los árboles del tratamiento CB, con más del 90 % de los frutos cosechados de tamaño comercial (>61 mm de diámetro), en comparación con el 84 % en los de carga comercial (Tabla 4.2).

El análisis de la varianza de la distribución de calibres indicó diferencias estadísticamente significativas para los frutos de diámetro < 56 mm (1 y 4 % para CB y CC, respectivamente), mientras que lo contrario sucedió con los de diámetro > 73 mm (19 y 6 % para carga baja y comercial, respectivamente).

Tabla 4.1. Efecto de la carga productiva en la producción, calidad de melocotoneros (mayo, 2010).

Tratamiento	Producción (kg árbol ⁻¹)			Número de frutos árbol ⁻¹	Peso medio fruto (g)
	Corte I	Corte II	Total		
CC	12,7 a	14,6 a	27,3 a	205 a	133 a
CB	10,1 a	5,4 b	15,6 b	109 b	144 b

Valores de cada columna seguidos de letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con el test $MDS_{0,05}$ ($n=4$).

Tabla 4.2. Efecto de la carga productiva en la distribución de calibres en melocotoneros (mayo, 2010). *

Tratamiento	< 56 mm	56-60 mm	61-67 mm	67-73 mm	> 73 mm
CC	3,96 b	11,25 a	42,00 a	36,37 a	6,41 a
CB	1,16 a	7,31 a	31,97 a	40,88 a	18,68 b

Valores de cada columna seguidos de letras distintas indican diferencias significativas de acuerdo con el test $MDS_{0,05}$ ($n=4$). * Valores media de los dos cortes, transformados a $\sqrt{\text{arccoseno}}$, previamente al análisis estadístico.

La carga productiva tuvo un efecto significativo ($p=0,02$) sobre los SST de los frutos del primer corte, con valores de 6,65 y 7,87 °Brix para los tratamientos

CC y CB, respectivamente, y más altos en los frutos del segundo corte (10,5 y 10,9 °Brix para CC y CB, respectivamente).

4.4. Discusión

4.4.1. Procedimientos metodológicos con minirrizotrones

La técnica del minirrizotrófon fue diseñada para evaluar la dinámica de crecimiento radicular (Taylor, 1987; Comas *et al.*, 2000; Hendricks *et al.*, 2006; Krasowski *et al.*, 2010), facilitando un método fiable para medir el crecimiento de las raíces a lo largo del tiempo. WinRHIZO-Tron® requiere que las raíces sean rastreadas manualmente por el operador, la buena correlación obtenida entre las raíces totales y nuevas (Figura 4.3B) demostró que el método de simplemente rastrear las nuevas raíces es un enfoque más práctico para la evaluación de la dinámica de la raíz en el campo, ya que los datos se pueden obtener más rápidamente, acelerando el análisis.

Muchos autores consideran que el minirrizotrófon y el muestreo de suelo proporcionan diferentes evaluaciones de la longitud de raíces en condiciones de campo debido principalmente a la distribución heterogénea de las raíces y al efecto del muestreo vertical del suelo, lo que genera valores diferentes a los obtenidos en un ángulo de 45° del minirrizotrófon (Johnson *et al.*, 2001; Milchunas, 2009). Sin embargo, hay que recordar que el sistema radicular de los árboles frutales bajo riego por goteo, especialmente aquellos en zonas semiáridas como en el área mediterránea, está prácticamente restringido a la zona húmeda del suelo, con la mayor actividad radicular concentrada justo debajo de los emisores (Fernández *et al.*, 1992; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2005; Pérez-Pastor *et al.*, 2014). En cuanto a la efectividad del uso de minirrizotrones para estudiar la distribución de raíces de melocotoneros, los resultados de ambos métodos revelaron un alto grado de correlación ($r^2 = 0,96^{***}$, Figura 4.3C), pero hubo una clara tendencia del minirrizotrófon a subestimar los datos de DLR en comparación con los datos obtenidos de muestras de suelo. Esta subestimación se relacionó con las condiciones en la interfaz del tubo, que pueden inhibir el crecimiento de raíces al chocar contra la superficie del minirrizotrófon (Upchurch, 1987; Rytter y Rytter, 2012). Se han encontrado discrepancias similares en los valores absolutos de

longitud de la raíz entre el muestreo del suelo y el minirrizotrón en estudios realizados en almendro (Franco y Abrisqueta, 1997) y maíz (Majdi *et al.*, 1992). Sin embargo, dejando de lado la comparación de valores absolutos, el perfil de exploración del suelo de las raíces de melocotón se describió de manera similar por ambos métodos, con valores máximos de DLR en el horizonte 15 - 45 cm de profundidad del suelo (Figura 4.3C), lo que demuestra la idoneidad de los minirrizotrones para estudios sobre la dinámica y morfología de las raíces (Rytter y Rytter, 2012).

4.4.2. Patrón de crecimiento de raíces y parte aérea

La fenología de los árboles frutales puede definirse por la dinámica temporal del crecimiento de los órganos, y su conocimiento preciso es esencial para diseñar prácticas de manejo del cultivo como son el riego, el aclareo y la poda. El patrón de crecimiento de las raíces, frutos, ramos y tronco de melocotoneros adultos mostró una clara dinámica alterna entre partes aéreas (ramos, tronco y frutos) y radicales (Figura 4.4B). Coincidiendo con condiciones de baja demanda evapotranspirativa (Figura 4.4A), la tasa de crecimiento radicular fue baja durante la fase de crecimiento activo de los frutos (Figura 4.4B), ya que éstos actúan como potentes sumideros de los fotoasimilados. Se ha observado un comportamiento análogo en otras especies frutales caducifolias como el almendro (Ross y Catlin, 1978) y el albaricoque (Pérez-Pastor *et al.*, 2004) y en perennes, como los cítricos (Bevington y Castle, 1985). Además, una disminución en la producción de raíces se relacionó con la presencia de frutos en crecimiento activo en melocotonero de maduración tardía (Williamson y Coston, 1989) y nogal (Contador *et al.*, 2015), cuyas raíces siguieron una curva estacional unimodal.

Por su parte, la tasa máxima de crecimiento de los ramos coincidió con el mínimo de crecimiento de la raíz (Figura 4.4C). De forma similar en manzanos se han encontrado uno o dos máximos de crecimiento anual de las raíces en diferentes momentos, dependiendo del portainjerto utilizado, pero siempre asincrónico con el máximo de crecimiento de ramos (Ma *et al.*, 2013), y en aguacate, el crecimiento de la raíz fue más lento durante el desarrollo de los ramos (Mickelbart *et al.*, 2012).

El crecimiento de los ramos en árboles adultos es bastante independiente de la distribución del carbono durante la temporada de crecimiento, una vez que el alargamiento inicial se ha producido (Sprugel *et al.*, 1991), aunque algunos investigadores han sugerido que esta independencia no es total (Marsal *et al.*, 2003). En este sentido, Chalmers y van den Ende (1975) indicaron que el crecimiento del fruto, las raíces y la copa está competitivamente interrelacionado a lo largo de la vida del melocotonero, mientras que el crecimiento de las hojas y los ramos anuales que los sostienen es independiente.

Así se observó cómo el crecimiento de la raíz y el tronco de los melocotoneros aumentó una vez que se completó la cosecha y el dosel fue lo suficientemente grande como para distribuir los fotoasimilados a los órganos que asegurarían la producción de la temporada siguiente. Por otro lado, se observó que el crecimiento de la raíz continuó durante todo el año (Figura 4.4C), demostrando que tanto la temperatura como la humedad del suelo eran favorables para su crecimiento (datos no mostrados). Esto sugiere que las raíces no estaban latentes como lo estaban los ramos, lo que subraya la importancia de monitorear el crecimiento de las raíces también entre temporadas de crecimiento (Rytter y Rytter, 2012).

4.4.3. Efecto de la carga productiva en el estado hídrico, el crecimiento y la producción

La naturaleza de maduración temprana del cultivar de melocotón estudiado y el adecuado suministro de agua, como lo indicaron los altos valores de contenido de agua del suelo y de potencial hídrico de tallo (Figura 4.5) en ambos tratamientos de carga de cultivo, pueden haber sido responsables de la ausencia de diferencias significativas en el estado hídrico de la planta, lo que coincide con los resultados obtenidos por Naor *et al.* (1999), Conejero *et al.* (2010) y Alcobendas *et al.* (2012), que no observaron diferencias en los valores de Ψ_{tallo} , incluso entre los tratamientos de carga extrema de cultivos (sin aclareo y sin frutos). En este sentido, también, Berman y DeJong (1996) indicaron que, en melocotoneros bien regados, el estado hídrico de la planta era independiente de la carga del cultivo, mientras que en los árboles que recibían riego reducido, el grado de estrés hídrico aumentaba con el aumento de la carga del cultivo,

mostrando los árboles estresados con cargas altas unas demandas significativamente mayores, limitando así la fotosíntesis.

Comúnmente se asume que las reducciones en la carga del cultivo aumentan la cantidad total de carbohidratos disponibles para el crecimiento de otros órganos (Wardlaw, 1990; Grossman y DeJong, 1995; Marsal *et al.*, 2003). El mayor crecimiento del melocotonero en condiciones de baja carga productiva en comparación con los árboles con carga comercial (Figura 4.6) probablemente se debió a una mayor competencia por los fotoasimilados entre los propios frutos y, también, entre los frutos y otros órganos que se desarrollen al mismo tiempo (Grossman y DeJong, 1994). Los melocotoneros con carga alta generalmente tienen un crecimiento vegetativo reducido (Berman y DeJong, 2003) y un menor crecimiento de las raíces (Chalmers y Van den Ende, 1975). Resultados similares fueron observados por López *et al.* (2008) en melocotoneros de maduración tardía cultivados en macetas y por Ben Mimoun y DeJong, (2006) en condiciones de campo. Estos últimos autores, además, observaron que el crecimiento de las raíces fue significativamente mayor en los tratamientos de carga nula (aclareo total de frutos) que en los de carga comercial. Nii (1993) indicó que el volumen total de raíces y el contenido de almidón en la raíz (expresado en peso seco) de los melocotoneros con carga nula era mayor que en los árboles con carga comercial.

Los cambios en el crecimiento vegetativo podrían tener implicaciones importantes en lo que respecta a la capacidad de una planta para hacer frente a los déficits de agua del suelo. Los efectos negativos del estrés hídrico en el fruto podrían compensarse parcialmente con un aclareo de frutos más severo, como se ha observado en cultivares de melocotón de maduración media y tardía en condiciones mediterráneas (Marsal *et al.*, 2006; López *et al.*, 2010). Sin embargo, no se observó ninguna mejora en el tamaño de la fruta en melocotoneros de maduración temprana de baja carga en condiciones de riego deficitario (Alcobendas *et al.*, 2012).

El rendimiento del melocotón en el año estudiado, aunque considerado bajo con respecto a su rendimiento potencial (Vera *et al.*, 2013), fue menor en los árboles sometidos a condiciones de baja carga de cultivo que en los árboles con una carga de cultivo comercial debido al menor número de frutos

(aproximadamente la mitad que los de carga comercial) (Tabla 4.1). Sin embargo, el tamaño del melocotón mejoró en los árboles de carga baja (Tabla 4.1), mostrando niveles similares de SST a los árboles de carga comercial. Por lo tanto, la baja carga de cultivo mejoró la comerciabilidad, porque el tamaño es uno de los criterios de calidad más importantes. Mahhou *et al.* (2006) encontraron una relación negativa entre la carga y el tamaño del fruto en melocotoneros de maduración tardía. Esta relación resulta influenciada por el cultivar, de forma que los cultivares de maduración temprana son más sensibles al exceso de carga que los de maduración tardía (Pavel y DeJong, 1993; Alcobendas *et al.*, 2012). Cabe pues sugerir que los productores podrían adoptar prácticas de aclareo alto (tratamiento de baja carga de cultivo) cuando las demandas del mercado se orientan a frutos de tamaño más grande.

Está claro que, en zonas con escasos recursos hídricos, las estrategias de riego deficitario son muy recomendables, y su aplicación requiere un conocimiento preciso de los períodos fenológicos críticos durante los cuales la sensibilidad de las plantas al estrés hídrico es máxima. Por lo tanto, comprender la relación entre el crecimiento vegetativo y reproductivo proporciona información oportuna de los eventos de crecimiento y debería ayudar a los productores a adoptar las mejores prácticas culturales: riego, fertilización, tratamientos fitosanitarios y poda. La literatura describe la etapa II de crecimiento de frutos en cultivares de maduración media y tardía, y el período posterior a la cosecha como los más adecuados para reducir el riego en melocotoneros (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2010); sin embargo, las estrategias de riego deficitario deben ajustarse para limitar los déficits de agua durante el período extremadamente largo posterior a la cosecha (postcosecha) para los cultivares de melocotonero de maduración temprana (Vera *et al.*, 2013).

Por otro lado, el manejo de la carga de cultivo para aliviar parcialmente los efectos del déficit hídrico se ha considerado una técnica útil, que interactúa con el riego deficitario para decidir la asignación de carbono dentro del árbol (López *et al.*, 2006; Miras-Ávalos *et al.*, 2013). Las prácticas de aclareo en melocotoneros con riego deficitario deben adaptarse al tamaño real del árbol (especialmente la longitud del ramo), pero dejando una cierta distribución para garantizar su exposición a la luz solar.

4.5. Conclusiones

En conclusión, se propone la evaluación del crecimiento de nuevas raíces para estudiar la dinámica de la raíz de melocotoneros utilizando minirrizotrones. El crecimiento estacional de las raíces de los melocotoneros de maduración temprana sucedió de forma alternante con el de la parte aérea, especialmente con el de los ramos. El crecimiento de las raíces fue continuo durante toda la temporada, con velocidades más bajas durante la fase de crecimiento activo de los frutos. La velocidad de crecimiento de la raíz y del tronco aumentó inmediatamente después de la cosecha cuando el tamaño de la copa del árbol era lo suficientemente grande como para destinar los fotoasimilados a los órganos que asegurarían el rendimiento de la temporada siguiente.

Los árboles con carga productiva baja mostraron un crecimiento más activo de ramos y frutos que los árboles con carga comercial. Así mismo, se observó un aumento, si bien no significativo, en el crecimiento de las raíces en el tratamiento de carga productiva baja. El cambio en la arquitectura de los árboles podría tener implicaciones importantes para la planta en cuanto a su capacidad para hacer frente a los déficits de agua del suelo.

Las condiciones de carga baja condujeron a una menor producción total de fruta, aunque el tamaño individual de los melocotones fue mayor, lo que podría aumentar la rentabilidad del cultivo en situaciones en que los mercados exigen fruta de tamaño más grande.

5. Efectos de la aplicación de micorrizas en la respuesta agronómica y fisiológica de nectarinos jóvenes

5.1. Introducción

El uso de bioestimulantes en el sector agrícola se ha incrementado considerablemente en los últimos años (Calvo *et al.*, 2014). Entre los bioestimulantes más utilizados destacan las **micorrizas**, provenientes de la interacción simbiótica positiva entre un hongo micorrícico y el sistema radicular de la planta (Rouphael *et al.*, 2015). La planta le confiere al hongo alimento (productos fotosintéticos que por sí mismo es incapaz de sintetizar) y refugio; mientras que la planta adquiere del hongo ciertos beneficios entre los que destacan: aumento de biomasa aérea y radicular, mayor resistencia a estrés abióticos ambientales y mayor absorción de agua y nutrientes, especialmente P y N (Bucher *et al.*, 2009). El tipo de micorriza más frecuente utilizado comercialmente como práctica de bioestimulación, son las endomicorrizas conocidas como AMF (de sus siglas en inglés *Arbuscular mycorrhizal fungí*). En este tipo, las hifas del hongo penetran dentro de las células de las raíces de la planta (atravesando la pared celular), donde forman arbusculos (vesículas) que facilitan el desarrollo de raíces secundarias (pelos radicales) que promueven una mayor absorción de agua y nutrientes esenciales.

Por otra parte, dado que el sistema radicular juega un papel crucial en el desarrollo de las plantas, es esencial entender su dinámica y la competencia que existe con la parte aérea. En este sentido, la técnica de minirrizotrones es especialmente adecuada para estudiar el enraizamiento en condiciones de campo (Taylor, 1987). La posibilidad de utilizar esta técnica asociada a nuevas tecnologías de adquisición y análisis de imágenes, ha facilitado en gran medida el procedimiento para llevar a cabo la medida *in situ* del crecimiento radicular. En los últimos años, se ha estudiado la distribución y dinámica de raíces en árboles frutales (Fernández *et al.*, 1992; Abrisqueta *et al.*, 1994; Wells *et al.*, 2002; Bernier y Robitaille, 2004), pero pocos estudios han evaluado la respuesta de las raíces a diferentes prácticas de cultivo y, en su mayoría, éstos se han referido a la determinación del porcentaje de colonización micorrícica por métodos destructivos (Conesa *et al.*, 2020).

El objetivo principal de este capítulo fue estudiar la viabilidad de la aplicación de micorrizas como práctica de cultivo para mejorar el establecimiento

en campo de nectarinos jóvenes, con especial énfasis en su dinámica radicular utilizando minirrizotrones. Además, se evaluó la producción y calidad del fruto, así como la posible tolerancia al estrés hídrico del tratamiento micorrizado respecto a un tratamiento Control (sin inocular) durante una estación de crecimiento completa.

5.2. Material y Métodos

5.2.1. Parcela experimental y tratamientos

El ensayo se realizó durante la estación de crecimiento 2011/2012 en la parcela de nectarinos jóvenes Flariba (Fotografía 5.1) descrita en el capítulo 3 (apartado 3.1.1), coincidiendo con el establecimiento del cultivo (un año después de la plantación realizada en febrero de 2010).

Los árboles se regaron al 100 % de la ET_c, siguiendo el protocolo indicado en el capítulo 3 (apartado 3.1.3) con la corrección correspondiente indicada para árboles jóvenes.



Fotografía 5.1. Detalle de nectarinos jóvenes cv. Flariba (2011).

Se establecieron dos tratamientos (Figura 5.1):

- Tratamiento AMF (de sus siglas en inglés, *Arbuscular mycorrhizae Fungi*): al que se aplicó, a través del sistema de riego, el hongo micorrícico arbuscular.
- Tratamiento Control o testigo: que no recibió aplicación de AMF (sin inocular).

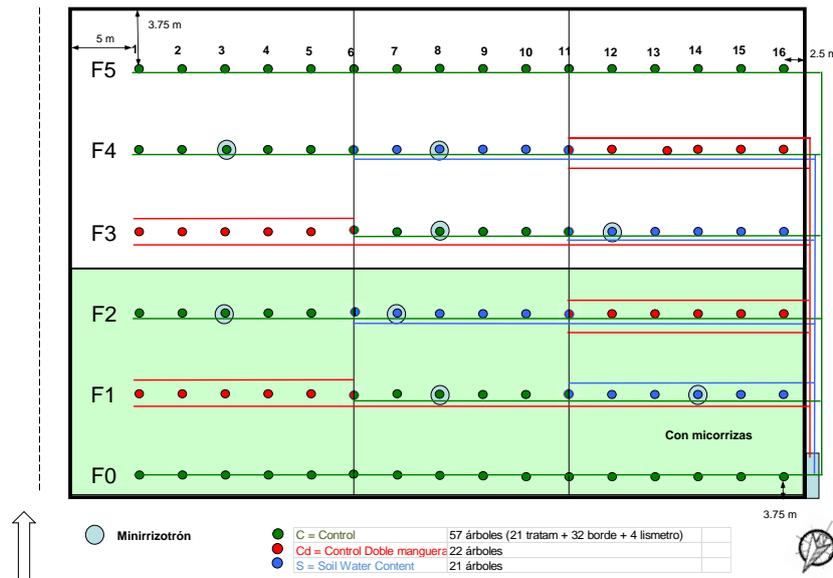


Figura 5.1. Distribución de los tratamientos de: AMF, inoculados con micorrizas (fondo verde) y CONTROL: sin inocular (fondo blanco) en la parcela de nectarinos jóvenes. O: Árbol equipado con minirrizotrófon.

El hongo formador de micorrizas utilizado fue *Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*, que está patentando por la empresa comercial *Symborg Corporate S.L.* (Fotografía 5.2). Esta especie produce un abundante micelio extramatricial que puede explorar un gran volumen de suelo. Se reproduce a partir de esporas generadas en el exterior de la raíz, lo cual facilita un mejor transporte de nutrientes dentro de las raíces hacia la planta, y tolera elevadas concentraciones de sales en el suelo, lo que garantiza una adecuada tolerancia a los protocolos de fertilización de la agricultura intensiva (Gómez-Bellot *et al.*, 2015).

La aplicación de AMF se realizó en primavera, directamente en el tanque de fertilización conectado a la red de riego, a una dosis de 3 kg ha^{-1} .



Fotografía 5.2. Detalle de raíces micorrizadas con *Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*. Fuente: www.symborg.com.

Los tratamientos se dispusieron en un diseño completamente aleatorio con seis repeticiones, cada una de las cuales constaba de seis árboles. Los cuatro centrales se utilizaron para las medidas y el resto se consideraron árboles bordes (ver Figura 5.1).

5.2.2. Medidas

Se controlaron los siguientes parámetros:

Estado hídrico

El estado hídrico de los árboles fue evaluado, a partir de medidas de potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_{tallo}) realizadas entre las 12:00 y las 13:30 hora solar, en 6 hojas sanas por tratamiento (1 hoja por árbol de cada repetición), utilizando una cámara de presión, según la metodología descrita en el capítulo 3 (apartado 3.3.1).

Raíces

La dinámica radicular se evaluó utilizando minirrizotrones (capítulo 3, apartado 3.3.2). Para ello, se instalaron tubos de plástico transparente en 2010, en un ángulo de 45° a 0,9 m del tronco del árbol, entre los dos emisores (Figura 5.2), en un árbol representativo de cuatro de las seis repeticiones ($n=4$) de ambos tratamientos.

Dos veces al mes se tomaron imágenes de las raíces y se calculó la densidad de longitud de raíces (DLR, longitud de raíces en cm por volumen de suelo muestreado, cm cm^{-3}) con la ecuación 5.1 (Upchurch, 1987):

$$DLR = \frac{N \cdot d}{A \cdot d} \quad [\text{Ecuación 5.1}]$$

donde N es el número de raíces, A es el área del marco del minirrizotrófon observada por el escáner ($439,82 \text{ cm}^2$) y d es el diámetro exterior del tubo de minirrizotrófon (7 cm), usado como factor de conversión teórico para fines de consistencia dimensional.

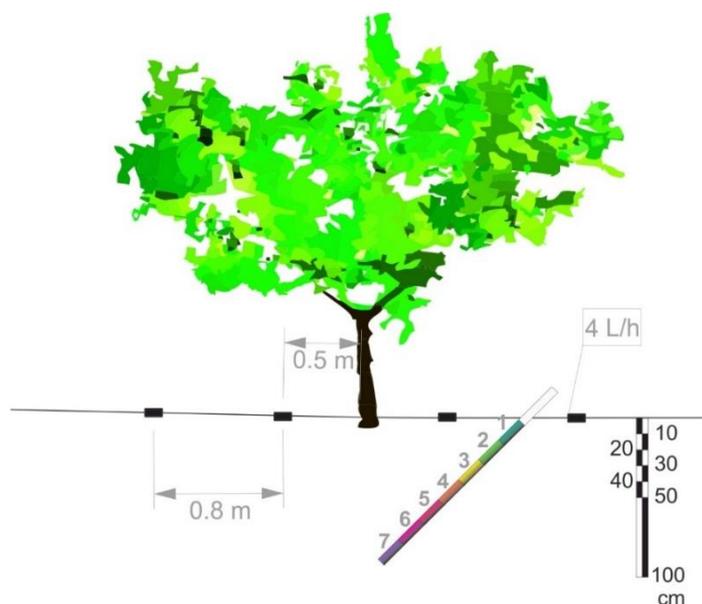


Figura 5.2. Posición del tubo de minirrizotrófon de 1,8 m de longitud y diámetro interior de 0,06 m en el perfil de suelo 0 - 100 cm. La línea horizontal indica la disposición de emisores (rectángulos negros) respecto al tronco de nectarino (4 emisores por árbol).

Crecimiento del fruto

Semanalmente, desde principios de marzo hasta la cosecha, se midió *in situ* el diámetro ecuatorial del fruto en 100 frutos seleccionados al azar de los cuatro árboles experimentales de cada repetición ($n=6$) y tratamiento, utilizando un calibre digital.

Además, se muestrearon alrededor de 20 - 30 nectarinas del tratamiento control durante las distintas fases de crecimiento del fruto para obtener las relaciones alométricas, determinándose los siguientes parámetros: diámetros ecuatorial y longitudinal (altura), medidos con un calibre digital, peso fresco con una balanza de precisión y el peso seco, tras 24 - 48 h a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ en una estufa ventilada.

Crecimiento vegetativo

La longitud de los ramos se midió dos veces al mes en cuatro brotes marcados por árbol, uno de cada dirección de la brújula (N-S-E-O), en seis árboles (un árbol por repetición) de cada tratamiento desde marzo a noviembre, utilizando una cinta métrica.

El diámetro del tronco se midió mensualmente con un calibre forestal en todos los árboles del experimento, en la misma zona marcada de cada árbol a 0,3 m de la superficie del suelo. El área de la sección transversal del tronco (STT) se estimó como el equivalente a la superficie de un círculo.

Las tasas de crecimiento de raíz, brote, tronco y frutos se calcularon como aumento de longitud o diámetro por día y también como porcentaje del crecimiento total/anual.

El peso de poda (expresado con % de materia seca) se determinó en seis árboles por repetición (n=36 por tratamiento), durante el invierno, en el reposo vegetativo, mientras que la poda en verde o de verano, se determinó justo después de la cosecha. Los brotes y madera eliminada en cada poda (invierno y verano) se pesaron en el campo y una muestra (alícuota) de cada una se llevó al laboratorio para obtener el porcentaje de peso seco.

La cobertura foliar (CF), en porcentaje, se estimó en verano con imágenes cenitales, que se analizaron siguiendo el procedimiento indicado en el capítulo 3 (apartado 3.3.2).

Las fracciones de biomasa vegetal, es decir, las porciones aéreas (incluyendo frutos) y radicular (IPCC, 2003) se estimaron como contribución de materia seca, siguiendo el procedimiento descrito en Carvajal *et al.* (2010).

Producción y calidad de fruto

La cosecha se evaluó en dos fechas de recolección (2 y 9 de mayo de 2012), pesando el peso de cada caja en una balanza digital de precisión y contando el número total de frutos por árbol en todos los árboles del experimento (n=36 árboles tratamiento). Una muestra de 10 frutos de cada repetición, en cada corte de cosecha, se llevó al laboratorio en bolsas herméticas para determinar los siguientes parámetros de calidad del fruto: (i) peso fresco con balanza de precisión; (ii) diámetros ecuatorial y longitudinal con calibre digital; (iii) sólidos

solubles totales (SST), con un refractómetro manual, expresando los valores como °Brix; y (iv) color externo con colorímetro. Los resultados del color se expresaron como coordenadas cromáticas CIE L*a*b*, a partir de las cuales se calcularon los valores de cromaticidad o Croma (C*) y tonalidad o ángulo de matiz HUE (h°), tal y como se indica en el capítulo 3 (apartado 3.3.4).

La eficiencia del uso del agua de riego (EUA, kg cm⁻³) se determinó como la relación entre el rendimiento total y el volumen de agua aplicado en cada tratamiento. La eficiencia productiva (EP, kg cm⁻²) se calculó como la relación entre el rendimiento y la sección transversal del tronco (STT). La eficiencia de la carga productiva (ECP, número de frutos cm⁻²) se determinó como la relación entre el número de frutos por árbol y la sección del tronco.

Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron con el programa SPSS 20 (IBM, Armonk, NY, USA.). Se utilizó el análisis de la varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos ensayados. Las comparaciones estadísticas se consideraron significativas al 95 % de confianza según el test de Mínima Diferencia Significativa (MDS_{0,05}).

5.3. Resultados

5.3.1. Datos meteorológicos y estado hídrico del árbol

Durante el periodo experimental, la climatología fue típicamente mediterránea, con veranos secos y calurosos (temperatura máxima del aire 38,7 °C) e inviernos suaves (temperatura media 8 °C). La precipitación total y la ET₀ fue de 246 y 1287 mm, respectivamente (Figura 5.3A). La ET₀ diaria registró los valores más altos en junio (8 mm) y los más bajos en noviembre (0,2 mm). Septiembre fue el mes más húmedo, con una precipitación total de 91 mm. Los valores medios diarios de DPV oscilaron entre 3,1 kPa en julio y 0,2 kPa en noviembre de 2011 (Figura 5.3A)

La tendencia estacional de los valores de Ψ_{tallo} mostraron un patrón dependiente de la climatología, registrando los valores más bajos en torno -1,3 MPa durante el verano (julio) en ambos tratamientos, coincidiendo con los

valores más altos de ET_0 . Los valores indicativos de un mejor estado hídrico de los nectarinos se alcanzaron antes de la cosecha, en torno a $-0,38$ MPa (Figura 5.3B). Al comparar los tratamientos AMF y Control, no se observaron diferencias significativas en Ψ_{tallo} durante el ciclo de crecimiento, promediando valores de $-0,82$ y $-0,42$ MPa durante los periodos de postcosecha y precosecha, respectivamente.

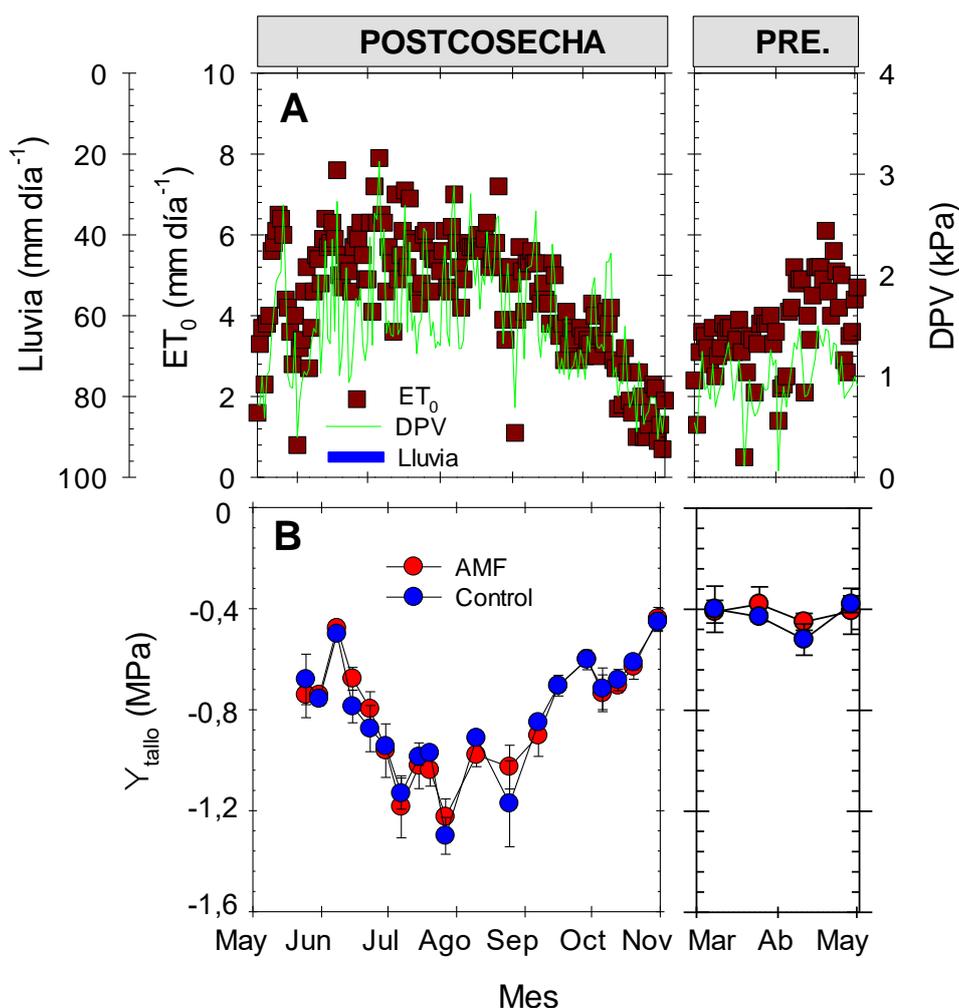


Figura 5.3. Evolución estacional de: **(A)** Evapotranspiración de referencia (ET_0), lluvia, y déficit de presión de vapor (DPV); y **(B)** Potencial hídrico del tallo a mediodía (Ψ_{tallo}) en nectarinos jóvenes en los tratamientos ensayados: inoculado con AMF y Control sin inocular. Las barras sobre los puntos son \pm ES de la media ($n=6$). PRE.: Precosecha.

5.3.2. Crecimiento vegetativo raíces vs. parte aérea

Durante el periodo experimental, la evapotranspiración del cultivo (ET_c) fue de 470 mm, próxima al volumen total de riego aplicado (Figura 5.4A). Los valores máximos de ET_c a escala diaria se observaron durante el verano,

disminuyendo a partir de octubre y aumentando de nuevo a principios de marzo (precosecha), coincidiendo con los periodos activos de crecimiento vegetativo y del fruto.

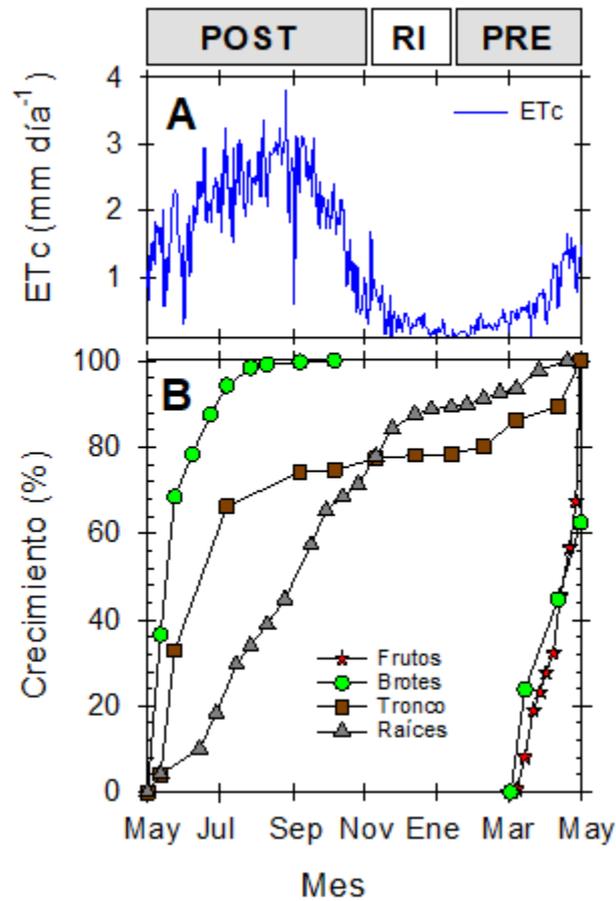


Figura 5.4. Evolución estacional de: **(A)** Evapotranspiración del cultivo (ETc) y **(B)** Diámetro del fruto (estrellas rojas), longitud de los brotes (círculos verdes), diámetro del tronco (cuadrados marrones) y longitud de la raíz (triángulos grises) de nectarinos jóvenes durante el periodo experimental, expresados como porcentaje del crecimiento estacional. Periodos fenológicos indicados por POST (postcosecha), RI (reposo invernacional) y PRE (precosecha).

La figura 5.4B ilustra los patrones de crecimiento estacional de cada órgano (raíces, frutos, brotes y tronco) de nectarinos de maduración temprana, en los árboles del tratamiento Control sin inocular, expresados como porcentaje del crecimiento total al final de la estación de crecimiento (mayo 2011 - mayo 2012). Se observa que el crecimiento vegetativo se produjo en los meses de verano, durante la postcosecha, cuando el crecimiento del tronco estaba más avanzado que el de las raíces. Las raíces siguieron creciendo durante toda la

temporada hasta el periodo de reposo vegetativo, donde su tasa de crecimiento disminuyó ligeramente.

El crecimiento de los brotes coincidió con el corto periodo de crecimiento de los frutos, característico de variedades de maduración temprana de frutales de hueso. Los frutos se recolectaron durante la primera semana de mayo, momento en el que los brotes habían alcanzado aproximadamente el 60 % de su desarrollo final (Figura 5.4B).

La dinámica de crecimiento de frutos, brotes y tronco fue similar en los tratamientos AMF y Control, con valores absolutos ligeramente superiores al final del ciclo de crecimiento en los árboles del tratamiento AMF (Figura 5.5 A, B, C).

Los valores de densidad de longitud de raíz (DLR), que tienen en cuenta todos los diámetros de raíz a lo largo del perfil del suelo (0-100 cm de profundidad), aumentaron continuamente durante la estación de crecimiento en ambos tratamientos (Figura 5.5D), observándose claras diferencias a partir de agosto, cuando los valores de DLR fueron significativamente mayores en los árboles inoculados con AMF a partir de octubre, con valores un 51 % superiores en los árboles inoculados con AMF que en los controles no inoculados al final del ensayo (Figura 5.5D).

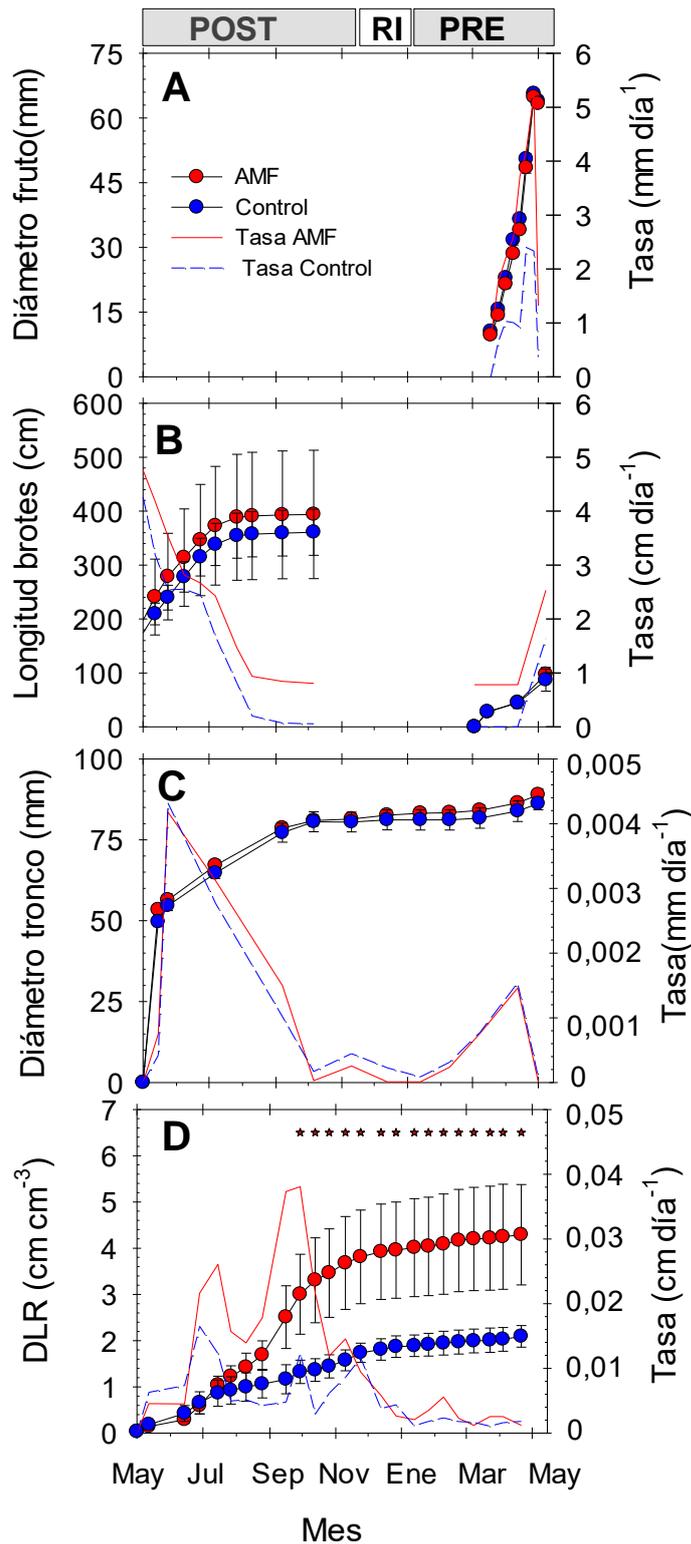


Figura 5.5. Crecimiento estacional (símbolos) y tasa de crecimiento diario (líneas) de: **(A)** Diámetro de fruto, **(B)** Longitud de brotes, **(C)** Diámetro de tronco y **(D)** Densidad de longitud de raíz (DLR) en el perfil de suelo 0 - 100 cm, en nectarinos jóvenes inoculados con AMF (●) y Control sin inocular (●). Las barras en los puntos de datos son \pm ES de la media ($n=100$ frutos, 16 brotes, 24 troncos y 4 minirrizotrones, respectivamente). Los asteriscos indican diferencias significativas en los valores de LDR según el test $MDS_{0,05}$. Períodos fenológicos indicados por POST (postcosecha), RI (reposo invernal) y PRE (precosecha).

La distribución de las raíces en el perfil del suelo a lo largo del periodo experimental indicó que la DLR, que partía de valores casi nulos, aumentó de forma diferente en ambos tratamientos (Figura 5.6A). Las raíces se distribuyeron homogéneamente en el perfil del suelo en los árboles Control, y el mayor crecimiento radicular se detectó en las capas profundas del suelo ($0,4 \text{ cm raiz cm}^{-3} \text{ suelo}$, a 70 - 85 cm) (Figura 5.6B). Sin embargo, en los árboles AMF, el crecimiento radicular fue alto en todo el perfil del suelo, registrando los valores más altos de DLR en la profundidad correspondiente a 45 - 70 cm de suelo (coincidiendo con la zona activa de raíces). El DLR medio en el perfil del suelo fue un 45 % mayor en el tratamiento AMF que en el tratamiento Control ($0,27$ y $0,15 \text{ cm raiz cm}^{-3} \text{ suelo}$, respectivamente) (Figura 5.6).

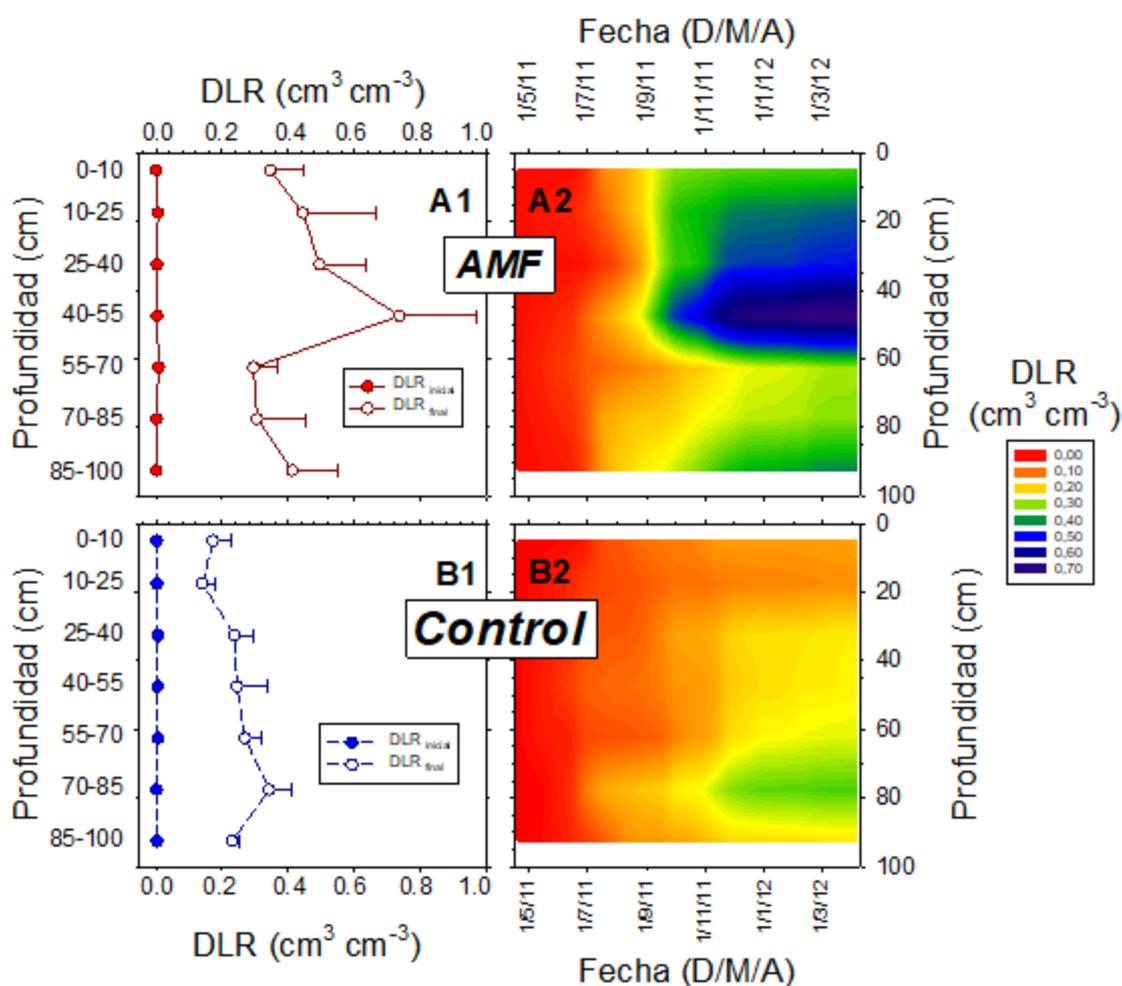


Figura 5.6. Perfiles de densidad de longitud de raíces (DLR) durante la estación de crecimiento en nectarinos jóvenes: **(A)** Inoculados con AMF y **(B)** Control, sin inocular, (1) al principio (\bullet , \blacktriangle , $\text{DLR}_{\text{inicial}}$) y al final (\circ , Δ , $\text{DLR}_{\text{final}}$) del periodo experimental y (2) a lo largo de la estación de crecimiento ($n=23$ medidas). Las barras horizontales en los puntos de datos son \pm ES de la media ($n=4$).

Las raíces se agruparon según su diámetro en 3 grupos principales: (D1 < 0,5 mm; D2: 0,5-2 mm; D3 > 2 mm). Al analizar los datos, se observó que la mayor concentración de raíces correspondía a la categoría D1 (raíces muy finas) (Figura 5.7). En los árboles inoculados con AMF, el 70 % de las raíces se clasificaron como raíces D1 y el 28 % como D2 (finas). Las raíces gruesas (D3) sólo se observaron en los árboles inoculados con AMF, donde representaron el 2 % del total de raíces observadas en este tratamiento (Figura 5.7A).

Los datos de longitud de las raíces de los árboles del tratamiento Control se dividieron en un 60 % de raíces D1 (muy finas) y un 40 % de raíces D2 (finas). No se observaron raíces gruesas en este tratamiento (Figura 5.7B).

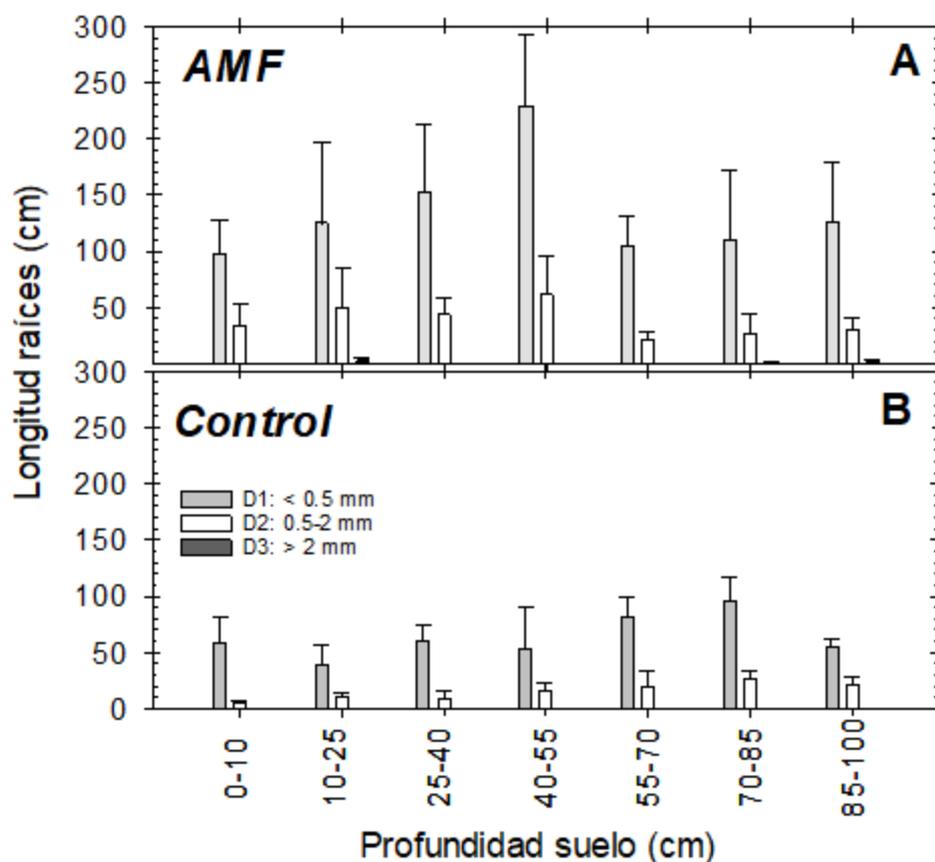


Figura 5.7. Longitud de las raíces a diferentes profundidades del suelo en: **(A)** nectarinos jóvenes inoculados con AMF y **(B)** Control sin inocular, al final del periodo vegetativo (30 de abril) para cada diámetro de raíz: D1 < 0,5 mm (barras grises); D2: 0,5-2 mm (barras blancas); D3 > 2 mm (barras negras). Las barras verticales son + ES de la media (n=4).

El peso total de poda fue similar en ambos tratamientos, registrando valores medios de 11,64 kg (AMF) y 11,10 kg (Control) por árbol, respectivamente (Figura 5.8). Sin embargo, la poda de verano (eliminación de brotes improductivos o 'chupones') fue ligeramente superior en los árboles Control, mientras que las necesidades de la poda de invierno fueron mayores en los árboles inoculados con AMF.

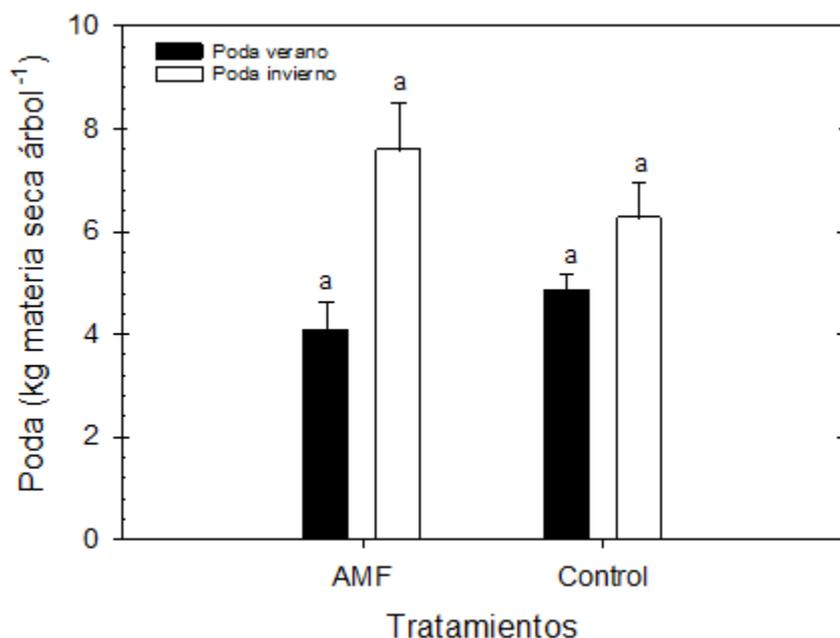


Figura 5.8. Peso de poda (materia seca) de poda en verde o de verano (barras negras) y de invierno (barras blancas) en nectarinos jóvenes inoculados con AMF y Control sin inocular. Las barras verticales son + ES de la media (n=6). La letra 'a' indica que no hay diferencias significativas entre tratamientos para cada tipo de poda según $MDS_{0,05}$.

5.3.3. Parámetros productivos y eficiencias

La Tabla 5.1 presenta los efectos de la inoculación de AMF en nectarinos jóvenes sobre los principales parámetros productivos. El rendimiento total y el número de frutos fueron significativamente superiores (en torno al 20 %) en los árboles del tratamiento AMF respecto al tratamiento Control. Dado que se aplicó la misma cantidad de agua ($4430 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) en ambos tratamientos, esto supuso un aumento del 19,5 % en la eficiencia del uso del agua de riego (EUA) para el tratamiento AMF. Además, la eficiencia de la carga productiva (ECP) fue también un 20 % superior en los árboles inoculados con AMF, ya que ambos tratamientos tenían superficies de dosel vegetal similares. Los valores de sección transversal

del tronco (STT) y eficiencia productiva (EP) fueron similares en ambos tratamientos (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Parámetros productivos en los tratamientos inoculados con AMF y Control sin inocular de nectarinos jóvenes.

Parámetros productivos	AMF	Control	ANOVA
Producción total (kg árbol ⁻¹)	20,57 a	16,59 b	*
Primer corte (%)	54	52	ns
Segundo corte (%)	46	48	ns
Carga productiva (nº frutos árbol ⁻¹)	146 a	116 b	*
Cobertura foliar (m ²)	7,57	6,83	ns
Sección transversal del tronco (STT, cm ⁻²)	62,09	58,38	ns
Eficiencia carga productiva (ECP, frutos m ⁻²)	21,37 a	17,01 b	*
Eficiencia productiva (EP, kg cm ⁻²)	0,33	0,28	ns
Eficiencia uso del agua (EUA, kg m ⁻³)	4,63 a	3,73 b	*

Los valores son medias de 24 árboles por tratamiento (n=4 repeticiones). ANOVA: análisis de la varianza, ns: no significativo. * $p < 0,05$. Letras distintas en cada parámetro indican diferencias significativas entre los tratamientos según el test de MDS_{0,05}.

5.3.4. Calidad del fruto. Relaciones alométricas

Las relaciones alométricas de las nectarinas se expresaron como relaciones entre peso fresco vs. seco ($y = 0,4063 \cdot e^{0,0471 \cdot x}$; $r^2 = 0,63$, $p < 0,01$); diámetro ecuatorial vs. peso seco ($y = 5,9112 \cdot e^{0,0182 \cdot x}$; $r^2 = 0,58$, $p < 0,01$); y diámetro ecuatorial vs. peso fresco ($y = 0,025 \cdot x^2 + 0,002 \cdot x - 0,26$; $r^2 = 0,98$, $p \leq 0,001$).

La evaluación de las características físico-químicas del fruto sólo mostró diferencias significativas en el diámetro ecuatorial, registrándose valores más altos en los árboles inoculados con AMF (Tabla 5.2). En la primera fecha de recolección, los valores de luminosidad y ángulo HUE (h°) también fueron superiores en los árboles del tratamiento AMF, pero estas diferencias significativas habían desaparecido en la segunda fecha de recolección (datos no mostrados). Los valores de SST (°Brix) fueron similares en ambos tratamientos.

Tabla 5.2. Valores medios de calidad del fruto en la cosecha para los tratamientos AMF y Control en nectarinos jóvenes.

Parámetros calidad fruto	AMF	Control	ANOVA
Altura (mm)	61,13	61,54	ns
Diámetro ecuatorial (mm)	65,25 a	64,25 b	*
Peso fresco fruto (g)	148,51	143,22	ns
SST (°Brix)	11,98	12,89	ns
Luminosidad (L*)	39,68	39,79	ns
Croma (C*)	25,75	27,41	ns
HUE (h°)	22,35	24,55	ns

Los valores son medias de 60 frutos por tratamiento (n=15 por repetición). ANOVA: análisis de la varianza. ns: no significativo. * $p \leq 0,05$. Letras distintas en cada parámetro indican diferencias significativas entre los tratamientos según el test de $MDS_{0,05}$.

Basándonos en las estimaciones realizadas por Carvajal *et al.* (2010), la contribución estimada de materia seca de los diferentes órganos de los nectarinos expresados en g por árbol fue de: raíces = 8,54 (32 %); copa (brotes + hojas) = 5,87 (22 %); frutos = 9,60 (36 %); y tronco = 2,83 (11 %). Estos valores se ponderaron con respecto a los datos experimentales obtenidos al final de la temporada (30 de abril) en árboles con AMF y Control (Figura 5.9). En este sentido, el índice de materia seca calculado, indicó un mayor porcentaje de raíces, copa y frutos en los árboles inoculados con AMF que en los árboles Control, mientras que los valores correspondientes al tronco fueron similares en ambos tratamientos. De hecho, la relación parte aérea/raíz fue de 1,7 y 3,1 para los árboles inoculados con AMF y Control, respectivamente, reflejando el reparto de biomasa a favor de las raíces en los árboles inoculados con micorrizas.

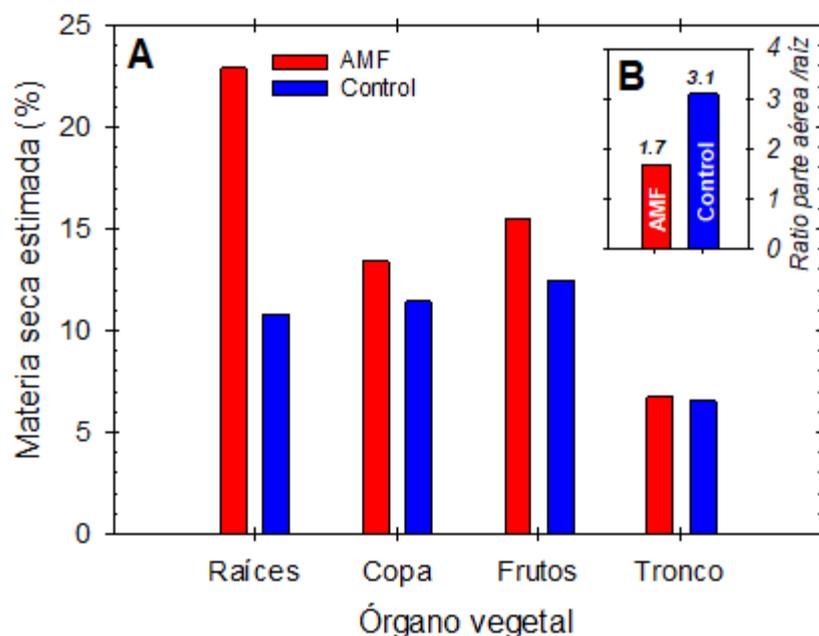


Figura 5.9. (A) Índice de materia seca (%) de raíces, copa, frutos y tronco; y **(B)** Ratio parte aérea/raíz en árboles de nectarinos jóvenes inoculados con AMF (barras rojas) y Control sin inocular (barras azules) al final del experimento.

5.4. Discusión

Se consideran dos beneficios derivados de la aplicación de micorrizas (AMF) en árboles jóvenes de nectarinos cv. Flariba: (i) aumento significativo en el sistema radicular (en torno al 50 %), como indican los valores más altos de DLR medidos con minirrizotrones al final del experimento; y (ii) mejora de la respuesta agronómica en la cosecha de los árboles inoculados con AMF, en comparación con los árboles Control sin inocular. En este sentido, el rendimiento y el número de frutos por árbol aumentaron significativamente (en torno al 20 %) en los árboles inoculados con AMF a pesar de tener un tamaño semejante (valores de CF y STT similares entre tratamientos). Además, las eficiencias de ECP y la EUA también aumentaron en torno a un 20 % en los árboles inoculados con AMF. Estos resultados confirman el efecto positivo de la aplicación de AMF en árboles frutales jóvenes para estimular su establecimiento y posterior desarrollo en condiciones de campo.

Los datos obtenidos de raíces muestran el éxito de la inoculación de AMF en nectarinos jóvenes dispuestos en riego localizado bajo condiciones de adecuado suministro hídrico (Figuras 5.5D, 5.6 y 5.7). Sin embargo, el porcentaje

de colonización de AMF no pudo cuantificarse debido a un problema técnico con las muestras. Bucher *et al.* (2009) indicaron que la simbiosis efectiva de la inoculación con AMF, permite a las plantas explorar un mayor volumen de suelo, debido a la producción de micelios extramatriciales que se extienden desde los sistemas radiculares de los árboles colonizados hacia el interior del suelo. Lu *et al.* (2019) demostraron que la inoculación con AMF promovió una influencia positiva en el equilibrio microbiano del suelo, como resultado de una mejora en la estabilidad de los agregados del suelo y cambios en la composición del exudado radicular. Además, Calvet *et al.* (2001) observaron la inhibición de la colonización de las raíces por nemátodos después de la inoculación con AMF en el híbrido melocotón-almendra GF-677.

En nuestro estudio, los valores medios estacionales de DLR para los árboles inoculados con AMF y los árboles Control sin inocular fueron de 0,4 y 0,2 $\text{cm}_{\text{raíz}} \text{cm}^{-3}_{\text{suelo}}$, respectivamente (Figura 5.6). Además, se observó un porcentaje significativamente mayor de raíces muy finas, con un diámetro menor de 0,5 mm (Figura 5.7) en los árboles inoculados con AMF. Se conoce que la aplicación de AMF tiende a colonizar las raíces pivotantes y laterales, ya que es más fácil penetrar en las raíces jóvenes en crecimiento que en las raíces más gruesas (> 0,5 mm de diámetro), que están más lignificadas y que desempeñan un papel de anclaje (Hooker *et al.*, 1992). De hecho, las raíces finas se consideran más activas que las gruesas, pues contribuyen en mayor medida a la absorción de agua y nutrientes esenciales (Alarcón *et al.*, 2019). Por lo tanto, el incremento en DLR, así como el porcentaje de raíces muy finas en los árboles inoculados con AMF, fue indicativo del éxito de la inoculación con micorrizas AMF. En plántulas de melocotonero cultivadas en macetas, Alvarado-Raya *et al.* (2017) describió que la inoculación de AMF resultó en una colonización de raíces mayor del 70 % de la longitud total de raíz.

La técnica del minirrizotrófon resultó ser una herramienta útil para estudiar la dinámica radicular de nectarinos jóvenes (Figuras 5.5D, 5.6 y 5.7). De forma similar, Abrisqueta *et al.* (2017) demostraron la viabilidad del uso de minirrizotrones en melocotoneros adultos cultivados en campo para estudiar la dinámica y distribución de las raíces. Estos autores indicaron que las raíces del

melocotonero crecieron continuamente durante la estación de crecimiento, aunque de forma más lenta durante la última etapa de crecimiento del fruto.

Nuestros resultados no mostraron diferencias significativas entre los árboles inoculados con AMF y los árboles Control sin inocular, en términos de crecimiento vegetativo aéreo, aunque los valores absolutos del área y volumen de copa fueron mayores en las plantas inoculadas con AMF (Tabla 5.1). Se obtuvieron resultados similares para el índice de materia seca, promediando un valor de 1,7 en AMF y de 3,1 en los árboles Control (Figura 5.9). Este hecho, indicó un efecto positivo de la aplicación de AMF sobre la partición de biomasa a favor de las raíces con respecto a la parte aérea.

La colonización de las raíces está asociada con una mejor nutrición de la planta huésped, especialmente del P (Giovametti *et al.*, 1980; Evelin *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2011;). Abbott y Robson (1991) indicaron que la absorción de P es uno de los factores más importantes implicados en el incremento del crecimiento observado en plantas inoculadas con AMF. Baldi *et al.* (2015) observaron únicamente un incremento en la concentración foliar de P, tras la inoculación de AMF en nectarinos adultos cultivados en campo. La actividad de la enzima fosfatasa alcalina fúngica, que fue identificada en los AMF, facilitaba la absorción de P y otros nutrientes, así como los procesos de fotosíntesis, lo que contribuía a la mejora del crecimiento observado en las plantas inoculadas (Gianinazzi *et al.*, 1992; Amaya-Carpio *et al.*, 2009; Posta *et al.*, 2020). Kobe *et al.* (2010) indicaron que los carbohidratos no estructurales controlan el crecimiento de las raíces, ya que la producción de raíces finas parece aumentar con la disponibilidad de N (Pregitzer *et al.*, 1993). También se ha constatado que las plantas inoculadas con AMF, aumenta la concentración de diferentes formas de N (Hodge *et al.*, 2001) e inducen la absorción de N para su transferencia directa a la raíz de la planta huésped (Johansen *et al.*, 1996).

Por otra parte, se observó que el crecimiento de las raíces disminuyó durante el periodo de rápido crecimiento del fruto, al actuar como potentes sumideros de fotoasimilados (Figura 5.5A, D). En la cosecha, los brotes habían alcanzado aproximadamente el 60 % de su longitud final, mientras que las raíces y el tronco siguieron el mismo patrón de crecimiento con tasas máximas durante el periodo postcosecha (Figura 5.5C, D). Esta asincronía en el crecimiento aéreo

frente al radicular ha sido reportada en otros frutales de hoja caduca como el almendro (Ross *et al.*, 1978); melocotonero (Abrisqueta *et al.*, 2017) y albaricoquero (Pérez-Pastor *et al.*, 2004). En este sentido, Chalmers y Van den Ende (1975) indicaron que el crecimiento del fruto y de las raíces está competitivamente interrelacionado entre sí a lo largo del ciclo de crecimiento del melocotonero, mientras que el crecimiento vegetativo aéreo (hoja, tronco y brotes) es independiente.

En nuestro estudio, los frutos de nectarina en las dos cortes de cosecha se clasificaron como "clase Extra" de acuerdo con la Directiva EC (2008), que impone un diámetro mínimo de 56 mm como diámetro mínimo para su comercialización. La producción total y la carga productiva de frutos fueron significativamente superiores (20 %) en los árboles inoculados con AMF (Tabla 5.1). Roupael *et al.* (2018) relaciona dicho cambio positivo tras la inoculación con AMF, con el incremento en la producción de fotoasimilados, la translocación de nutrientes, así como la producción de hormonas, lo que incrementa la producción total (Roupael *et al.*, 2018). Algunos autores han reportado una buena relación entre ciertos parámetros productivos y la población de esporas micorrícicas en otras especies frutales como el ciruelo (Slawomir *et al.*, 2010), manzano (Sharma *et al.*, 2005), y melocotonero (Awasti *et al.*, 1999). El diámetro de los frutos también fue significativamente mayor en los árboles inoculados con AMF en comparación con los árboles Control (Tabla 5.2). Shresta *et al.* (1996) indicó que el tamaño de los árboles de mandarina cv. Satsuma fue mayor en árboles inoculados con AMF, resultando en mayores rendimientos productivos. Nicolás *et al.* (2015) observaron que los AMF favorecieron el desarrollo radicular en uva de mesa cv. Crimson Seedless a través de la movilización de las reservas de almidón.

Por otra parte, la presencia de AMF en la zona radicular se ha descrito como un mecanismo de protección de la planta frente a estreses ambientales adversos, como el déficit hídrico, la salinidad y/o las inundaciones (Pérez-Pastor *et al.*, 2004; Gómez-Bellot *et al.*, 2015; Chitarra *et al.*, 2016). La colonización promueve una mayor exploración del suelo por nuevas raíces, lo que conduce a un aumento de la absorción de agua y de nutrientes, hecho que se traduce en un mejor estado hídrico de la planta (Ruiz-Lozano *et al.*, 1995; Nicolás *et al.*,

2015). Sin embargo, nuestros resultados no mostraron diferencias significativas en los valores estacionales de Ψ_{tallo} entre los tratamientos ensayados, lo que puede deberse al carácter joven del cultivo estudiado (Figura 5.3A). Conesa *et al.* (2020) cuantificaron el efecto de la inoculación con micorrizas en cítricos, con un incremento en torno a 0,4 - 0,7 MPa en los valores Ψ_{tallo} respecto a las plantas Control sin inocular. Además, los valores medios de Ψ_{tallo} observados en nuestro estudio para los periodos de pre. (-0,42 MPa) y postcosecha (-0,82 MPa), respectivamente, fueron característicos de nectarinos sometidos a un adecuado suministro hídrico (Naor, 2010; López *et al.*, 2016; Conesa *et al.*, 2019), y coincidieron con el riego aplicado, que se basó en cubrir plenamente los requerimientos hídricos (100 % ETc).

Finalmente, la inoculación con AMF incrementó los valores de EUA y ECP en un 20 % (Tabla 5.1), hecho que pone de manifiesto, la importancia de la aplicación de micorrizas en zonas semiáridas, donde los recursos hídricos son limitados (Diagne *et al.*, 2020).

5.5. Conclusiones

La aplicación de AMF (*Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*) en nectarinos jóvenes cv. Flariba facilitó de forma satisfactoria la colonización del sistema radicular, incrementando la longitud radicular en torno a un 50 % respecto a árboles Control sin inocular. Además, se observó una respuesta positiva sobre la producción total y las eficiencias productivas, destacando la EUA y la ECP, con un incremento del 20 % en árboles inoculados con AMF. Sin embargo, la biomasa aérea y el estado hídrico de la planta permanecieron constantes, presumiblemente debido al carácter joven del cultivo estudiado.

La inducción de este tipo de simbiosis puede recomendarse para aumentar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas en zonas semiáridas amenazadas por las consecuencias del cambio climático. En este sentido, se ha observado que la aplicación de AMF mejora el establecimiento de nectarinos cultivados en campo al aire libre durante sus primeros años de vida, potenciando el desarrollo de su sistema radicular. Sin embargo, a pesar de los resultados

positivos observados, es necesario confirmar los efectos beneficiosos de la inoculación de AMF en nectarinos adultos.

**6. Efectos del manejo de la poda
en la respuesta agronómica y
fisiológica de melocotoneros
adultos y nectarinos jóvenes**

6.1. Introducción

Dado que la maduración de los cultivos frutales está relacionada con el incremento de las necesidades hídricas de los cultivos, existe una tendencia creciente en la producción de variedades de recolección temprana, coincidentes con demandas climáticas menos exigentes, lo que permiten aplicar reducciones en el riego sin afectar a su rendimiento y calidad (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2018).

En las regiones Mediterráneas en las que el agua de riego es un recurso limitado, deben establecerse estrategias de gestión del agua para optimizar su uso. En este sentido, el grado de cobertura foliar es un factor determinante en la programación del riego dada su importancia en el cálculo de los coeficientes de cultivo (Kc) (Ferreeres y Evans, 2006).

La poda de frutales es una práctica cultural rutinaria normalmente realizada durante el invierno, cuyo objetivo es proporcionar la arquitectura del árbol (Dye, 1967). Por su parte, la poda en verde (o de verano) consiste en eliminar los brotes improductivos o ‘chupones’ a fin de controlar el crecimiento vegetativo, así como de incrementar la calidad de los frutos cuando ésta se realiza antes de la recolección al mejorar la iluminación y el suministro de carbohidratos (Choi *et al.*, 2011; Neri y Massetani, 2011; Mika *et al.*, 2011).

Diversas investigaciones han demostrado que la respuesta de los cultivos a la poda en verde, puede variar en función del momento de realización de la poda (Singh *et al.*, 2012) y cantidad de madera eliminada (Kumar *et al.*, 2010). Otros autores han estudiado los efectos de la poda en verde en el crecimiento del fruto, la producción y calidad (Li *et al.*, 2003; Kumar *et al.*, 2010), así como su posible implicación sobre el estado hídrico de los árboles (López *et al.*, 2006). Sin embargo, no se ha documentado su efecto sobre el estado hídrico a diferentes edades de la planta (madura y joven) en cultivares de maduración temprana.

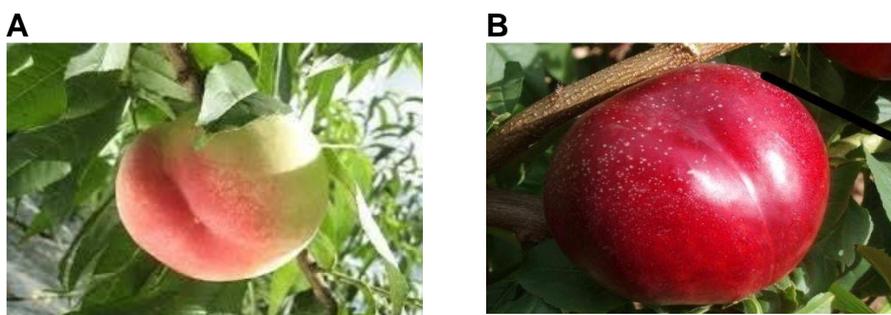
En este capítulo, se evalúan los efectos de la poda en verde, realizada tras la recolección (inicio de la fase fenológica de poscosecha), sobre el estado hídrico, cobertura foliar, producción y calidad del fruto en dos cultivares de maduración temprana de *Prunus persica*, con diferente edad: melocotoneros

(adultos) y nectarinos (jóvenes). Se propone una metodología sencilla y a la vez robusta para la determinación de la cobertura foliar a partir de imágenes cenitales. Se evalúa, además, el coste económico de esta práctica cultural.

6.2. Material y Métodos

6.2.1. Parcelas experimentales y tratamientos

El ensayo se realizó durante la estación de crecimiento 2012/2013 en las dos parcelas experimentales, la de melocotoneros adultos Flordastar (Fotografía 6.1A) y la de nectarinos jóvenes Flariba (Fotografía 6.1B), ya descritas en el capítulo 3 (apartado 3.1.1), que en ese periodo tenían 10 y 2 años de edad, respectivamente.



Fotografía 6.1. (A) Melocotón 'Flordastar' y **(B)** Nectarina 'Flariba'.

Durante el periodo de estudio, la precipitación fue muy baja con solo 175 mm y la ET_0 de 1000 mm (Tabla 3.5 en capítulo 3).

Todos los árboles se regaron para completar sus necesidades hídricas (100 % de la ET_c) durante todo el ciclo de cultivo, siguiendo el protocolo indicado en el capítulo 3 (apartado 3.1.3). La cantidad anual de agua aplicada fue de 770 mm para melocotoneros adultos y de 443 mm nectarinos jóvenes.

En ambos cultivos se evaluaron 2 tratamientos de poda, que se realizaron ajustándose a las etapas fenológicas de variedades de maduración temprana, tal y como se muestran en la Figura 6.1.

- Poda de invierno (PI): Eliminación de madera y brotes leñosos para mantener la arquitectura en vaso de los árboles. Práctica cultural realizada durante el reposo invernal (diciembre 2012) (Fotografía 6.2B).
- Poda en verde, o de verano (PV): Eliminación de los brotes improductivos o ‘chupones’ de las ramas principales. Práctica cultural realizada después de la cosecha (mayo 2012) (Fotografía 6.2A). Estos árboles también recibieron la poda de invierno.

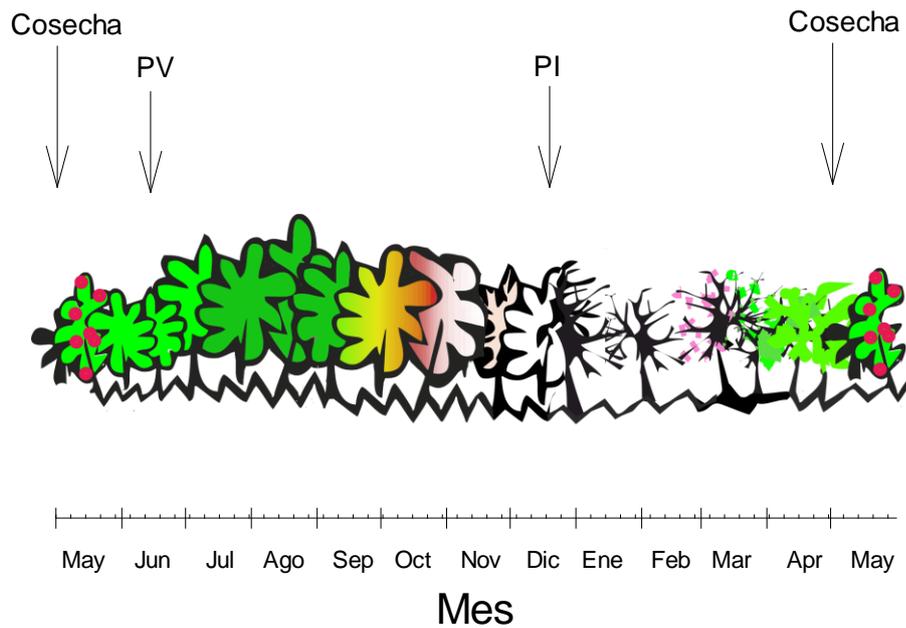


Figura 6.1. Ciclo de crecimiento de *Prunus persica* (mayo 2012 - mayo 2013). PV: poda en verde y PI: poda de invierno.



Fotografía 6.2. (A) Detalle de árboles tras la poda en verde y (B) Poda de invierno, en melocotoneros adultos.

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño estadístico de bloques al azar con 4 repeticiones de 4 árboles por tratamiento (n=16).

6.2.2. Medidas

Se controlaron los parámetros siguientes, según la metodología descrita en detalle en el capítulo 3 (apartado 3.3):

Estado hídrico

El estado hídrico de las plantas fue evaluado en 4 hojas sanas por tratamiento de poda, a partir de medidas de potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_{tallo}) entre las 12:00 y las 13:30 hora solar, con cámara de presión, siguiendo las indicaciones del capítulo 3 (apartado 3.3.1).

Cobertura foliar

De enero a diciembre y con periodicidad de 20 - 30 días se evaluó la cobertura foliar (CF) en 4 árboles de cada tratamiento y cultivar utilizando imágenes cenitales de los árboles. Se utilizó una cámara digital (Logitech Pro Webcam C-910) montada sobre un trípode situado a 7 m de altura sobre el eje vertical de los árboles, como se describe en el capítulo 3 (Figura 3.3). Dada su versatilidad en la edición de imágenes, las capturas de imagen obtenidas se analizaron con el software Corel PHOTO-PAINT X4, y se estimó la sombra efectiva a partir del porcentaje de cobertura del dosel vegetal. Otros softwares específicos para la determinación de la cobertura de cultivos leñosos descritos en la bibliografía son: Winscanopy 2005 (Chen *et al.*, 2014), Sigma Scan Pro V. 5 (Williams y Ayars, 2005), GIMP (Suvocârev *et al.*, 2013), o ENVI-2004, RSI V.4 (Jonckheere *et al.*, 2005), aunque todos ellos requieren de una manipulación hábil para el tratamiento de las imágenes.

La edición de la imagen se describe en detalle en el capítulo 3 (apartado 3.3.2). Para comprobar la fiabilidad del método propuesto, los resultados obtenidos se contrastaron con el área de sombra efectiva proyectada a partir del conteo de cuadrados sombreados en tapiz colocado bajo los árboles, a mediodía solar en verano (Williams y Ayars, 2005; Pérez-Pastor *et al.*, 2014).

Poda

El peso de poda se determinó en 4 árboles por repetición en cada tratamiento y cv., pesando en campo la poda verde (después de la cosecha) y la

poda de invierno (durante el reposo vegetativo). Unas muestras (alícuotas) de brotes y madera eliminada en cada poda se llevaron al laboratorio para obtener el peso seco. Los datos se expresaron en % de materia seca.

Parámetros productivos y de calidad del fruto

La sección transversal del tronco se determinó con pie de rey y el diámetro ecuatorial de los frutos con calibre digital en 4 árboles y 15 frutos por repetición y tratamiento de poda (n=16 árboles y n=60 frutos), respectivamente.

El rendimiento en cosecha se evaluó durante la primera semana de mayo en tres cortes de cosecha diferentes de 16 árboles por tratamiento de poda y cultivar (4 árboles por repetición), pesando y contando el número total de frutos por árbol. Los frutos de melocotón y nectarina se separaron en el campo mediante calibrado manual, diferenciando 7 categorías de diámetro de fruto: AAA, 80 mm \leq 90 mm; AA, 73 mm \leq 80 mm; A, 67 mm \leq 73 mm; B, 61 mm \leq 67 mm; C, 56 mm \leq 61 mm; D, 51 mm \leq 56 mm, y en clase no Extra < 51 mm. Todos los frutos de cada categoría se pesaron en una báscula de campo, y los datos se registraron como porcentaje de cada categoría. Según la Directiva EC (2008) 56 mm es el diámetro mínimo para que un fruto de melocotón/nectarina sea considerado de "categoría Extra".

La eficiencia productiva fue estimada como el cociente entre la producción total y la sección transversal del tronco (kg cm⁻²).

El color externo de los frutos de ambos cultivares de *Prunus persica* se evaluó con un colorímetro y los resultados se expresaron en el sistema CIE L*, a*, b*, Croma (C*) y tonalidad (ángulo HUE, h°). Los sólidos solubles totales se evaluaron en una muestra de 10 frutos de cada repetición y tratamiento en cada fecha de recolección, utilizando un refractómetro manual. Ambos equipos se describen en el capítulo 3 (apartado 3.3.4).

Coste económico

Se evaluaron los costes de poda en árboles adultos para conocer la rentabilidad de la poda en verde. Siguiendo las recomendaciones de García-García *et al.* (2013), los costes se dividieron en dependientes o directos (CD) y no dependientes (ND) de la poda. Para los costes CD se consideraron por

separado los tratamientos poda en verde o de verano (CD_{PV}) y la de invierno (CD_{PI}). Fernández-Gázquez *et al.* (2014) establecieron 23 árboles por salario (n° de árboles podados por un operario al día). Los mismos autores estimaron un coste aproximado de 50 € por jornal. Los costes ND agrupados en riego, fertilización, aclareo de flores y frutos, recolección y control de plagas (entre otros), se consideran similares para los dos tratamientos de poda ensayados, por lo que no son relevantes para este estudio. Así pues, los CD de cada tratamiento se calcularon como:

- Poda en verde: $CD_{PV} + CD_{PI}$
- Poda de invierno: CD_{PI}

Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron con el programa SPSS 20 (IBM, Armonk, NY, EE.UU.). Se utilizó el análisis de la varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos de poda. Las comparaciones estadísticas se consideraron significativas al 95 % de confianza ($p \leq 0,05$) según el test de Mínima Diferencia Significativa ($MDS_{0,05}$). Además, se realizó una transformación $\sqrt{\text{arcoseno}}$ de los datos en porcentaje.

6.3. Resultados

6.3.1. Peso de poda

El peso de la poda total, evaluado como la suma de la poda de invierno y la de verano ($PI+PV$), fue de 8 y 12 kg árbol⁻¹ en árboles jóvenes y adultos, respectivamente, siendo la contribución de la poda en verde del 56 % y 34 % para cada uno (Figura 6.2). Esta contribución únicamente fue significativa en árboles jóvenes, indicando una mayor cantidad eliminada de partes leñosas y menor follaje en comparación con árboles adultos.

Al considerar de forma separada la contribución de la poda de invierno no se observaron diferencias significativas en nectarinos jóvenes, sin embargo, para mandarinos adultos, la contribución del tratamiento PI fue mayor que la del tratamiento PV (Figura 6.2).

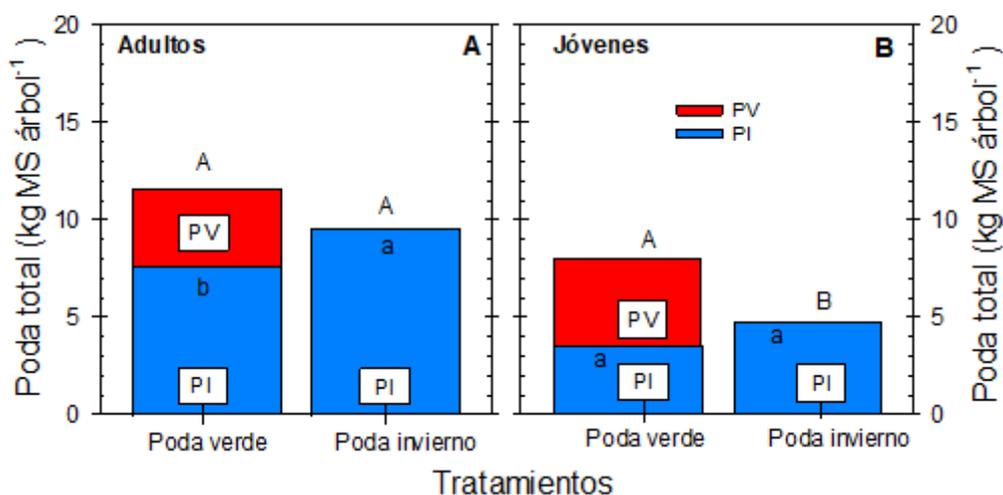


Figura 6.2. Poda total (kg materia seca (MS) árbol⁻¹) de: (A) melocotoneros adultos y (B) nectarinos jóvenes en los tratamientos de poda en verde (PV, rojo) y poda de invierno (PI, azul). Las letras mayúsculas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, considerando la poda total (PV + PI) y las letras minúsculas considerando solo la poda de invierno (PI). Los datos son la media de 4 repeticiones.

6.3.2. Cobertura foliar

La cobertura foliar (CF) evaluada en el momento de máximo crecimiento vegetativo de los árboles (julio) mediante imágenes cenitales reveló una relación muy significativa ($r^2 = 0,84$, $p \leq 0,001$) con el área sombreada del dosel del árbol (Figura 6.3).

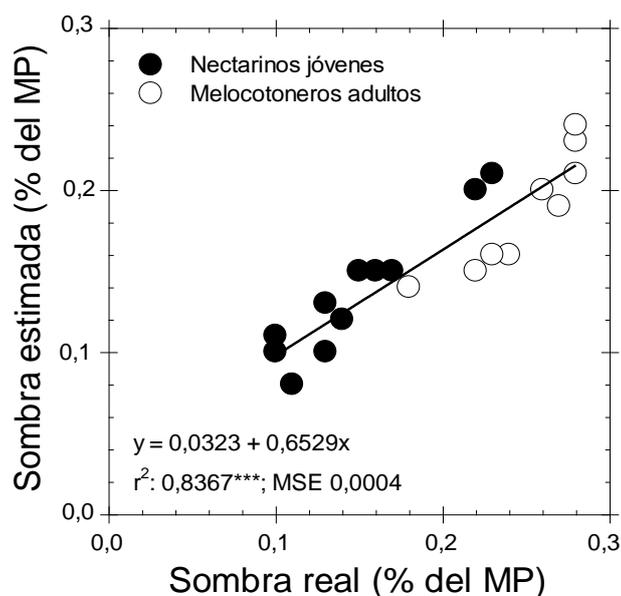


Figura 6.3. Relación entre la cobertura foliar estimada con imágenes cenitales y sombra real en melocotoneros adultos y nectarinos jóvenes (julio). MP: Marco de plantación. *** ($p \leq 0,001$).

Los árboles adultos y jóvenes mostraron un patrón de desarrollo de copa similar durante la estación de crecimiento, con valores de CF directamente relacionados con la edad y tamaño de los árboles (Figura 6.4). Se observó un incremento importante desde finales de enero, coincidiendo con el inicio del crecimiento vegetativo, hasta principios de mayo (recolección) en ambos tratamientos de los dos cultivares de *Prunus*, siendo el incremento más pronunciado en árboles adultos. Además, se observó una ligera reducción de CF después de la cosecha (realizada entre el 2 y el 9 de mayo), que se debió a una fuerte tormenta de granizo acontecida el 15 de mayo (con 32,6 mm registrados en pocas horas) que causó importantes daños en la copa y que afectó principalmente a los melocotoneros adultos. Los valores de CF se mantuvieron constantes durante el verano hasta el inicio del periodo postcosecha-II (Figura 6.4), cuando los valores comenzaron a disminuir de acuerdo con la defoliación característica de los cultivos de hoja caduca.

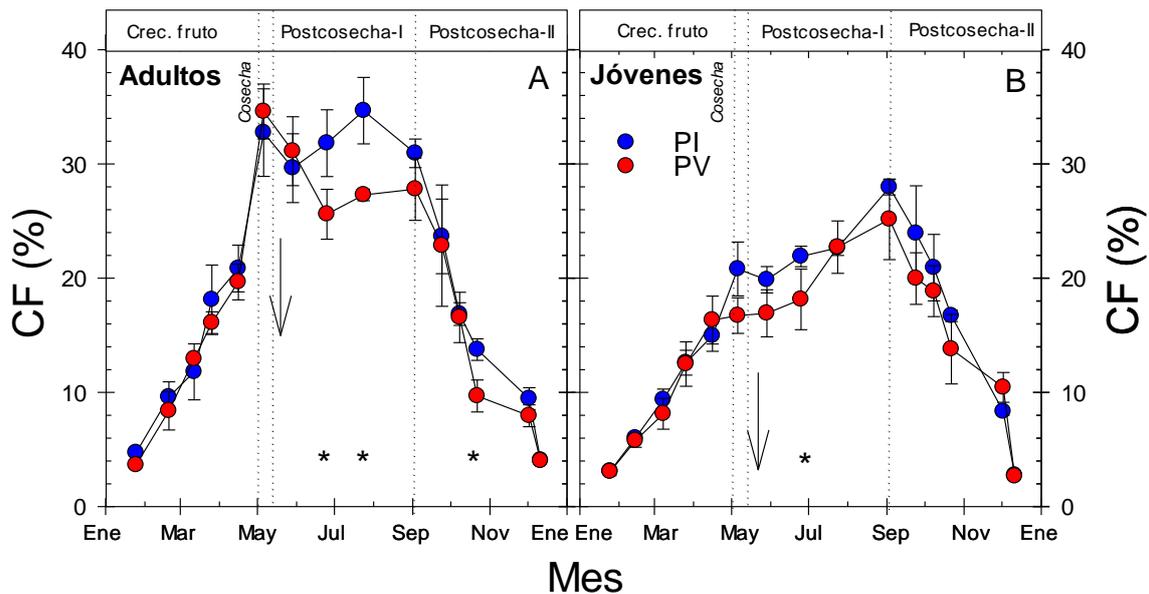


Figura 6.4. Evolución de la cobertura foliar (CF, %) en los tratamientos PV (rojo) y PI (azul) para (A) melocotoneros adultos y (B) nectarines jóvenes. Las líneas verticales discontinuas delimitan los periodos fonológicos. Las flechas indican cuándo se realizó la poda en verde. Las barras sobre los puntos son \pm ES de la media ($n=4$). Los asteriscos indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos PV y PI según el test $MDS_{0,05}$. Los datos fueron previamente transformados por $\arcsen \sqrt{\%}$.

En ambos cultivares de *Prunus*, los tratamientos de poda no mostraron diferencias significativas en la cobertura vegetal durante el periodo de crecimiento del fruto, mientras que durante la postcosecha-I los valores de CF

fueron significativamente menores en los tratamientos de PV, que en los del tratamiento PI. Además, se observó una disminución más acelerada en la CF de los árboles del tratamiento PV durante la postcosecha-II.

6.3.3. Estado hídrico

Los valores de Ψ_{tallo} en los tratamientos PV y PI de ambos cultivares de *Prunus* estuvieron siempre por encima de -1,0 MPa (datos no mostrados). Se observaron valores más altos (positivos) de Ψ_{tallo} en los árboles sometidos a PV que en los árboles del tratamiento PI durante la postcosecha, justo después de la aplicación de la poda en verde en ambos cultivares de *Prunus*. Así, el diferencial de Ψ_{tallo} entre los dos tratamientos estudiados [$\Psi_{\text{PV}} - \Psi_{\text{PI}}$], exhibió valores superiores a cero durante todo el periodo de riego, indicando un mejor estado hídrico en los árboles del tratamiento PV. El incremento absoluto en los valores de Ψ_{tallo} fue de una media de 0,10 a 0,30 MPa, con un máximo de 0,65 MPa en melocotoneros adultos durante la postcosecha-II (Figura 6.5B).

Los árboles jóvenes mostraron mayores diferencias de [$\Psi_{\text{PV}} - \Psi_{\text{PI}}$] que los árboles adultos durante la postcosecha-I. Sin embargo, este comportamiento cambió durante la postcosecha-II, coincidiendo con los menores requerimientos hídricos del cultivo.

Los valores de Ψ_{tallo} disminuyeron linealmente con el desarrollo de la cobertura foliar, tanto en los melocotoneros adultos ($r^2 = 0,81$; $p \leq 0,001$), como en los nectarinos jóvenes ($r^2 = 0,67$; $p \leq 0,01$) (Figura 6.6), mostrando una fuerte dependencia entre ambos parámetros, al agrupar los valores de ambas especies frutales de *Prunus* [$\Psi_{\text{tallo}} = -0,088 - 0,029 \cdot \text{CF}$ ($r^2 = 0,71$; $p \leq 0,001$)].

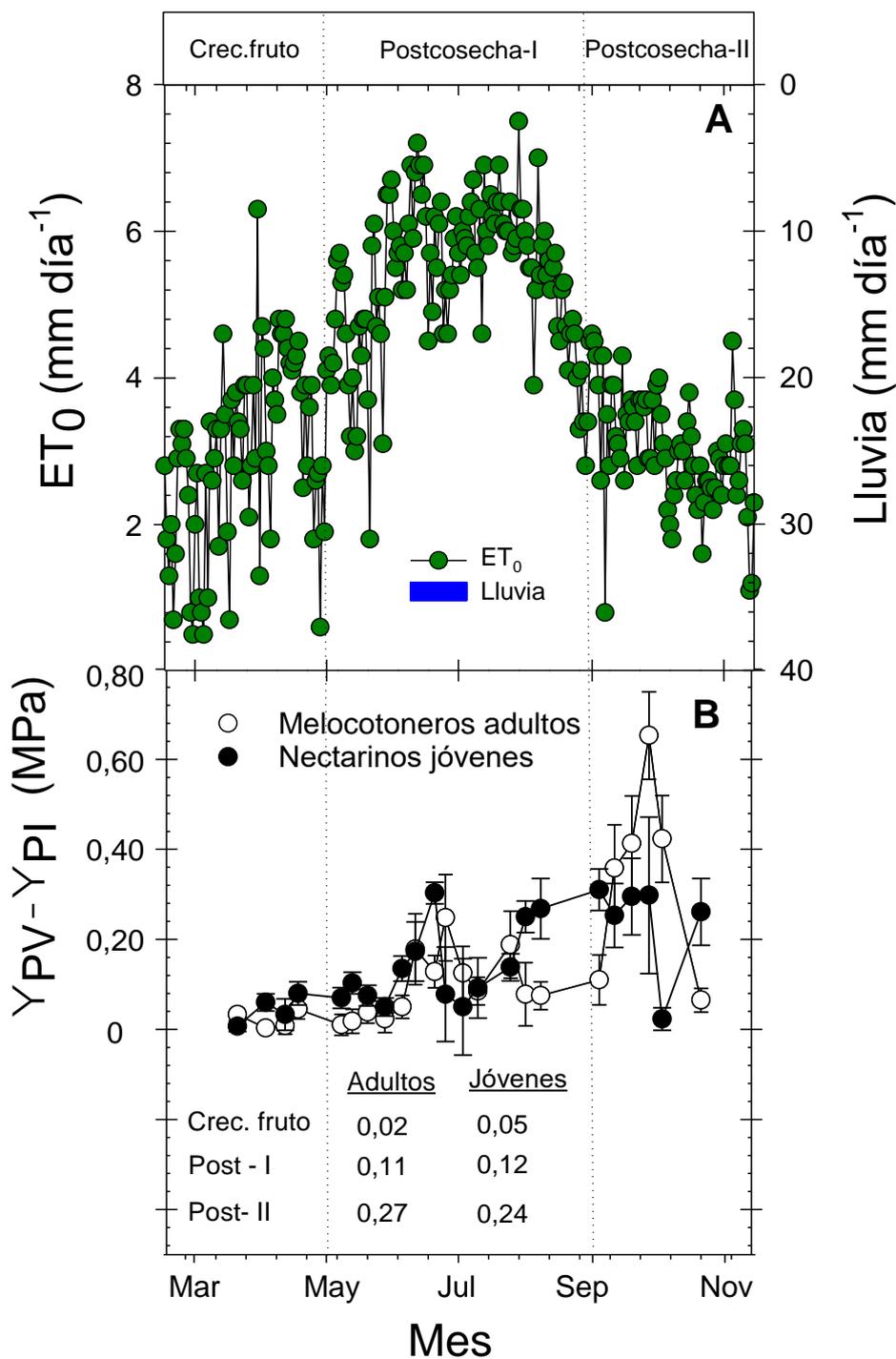


Figura 6.5. (A) Evapotranspiración diaria de referencia (ET_0 , mm día^{-1}) y precipitación (mm día^{-1}) durante el periodo de estudio y **(B)** Diferencia de potencial hídrico del tallo al mediodía (Ψ_{tallo} , MPa) entre los tratamientos PV (Ψ_{PV}) y PI (Ψ_{PI}) para melocotoneros adultos (\circ) y nectarinos jóvenes (\bullet). Las barras sobre los puntos son \pm ES de la media ($n=4$). Las líneas de puntos verticales delimitan los periodos fenológicos.

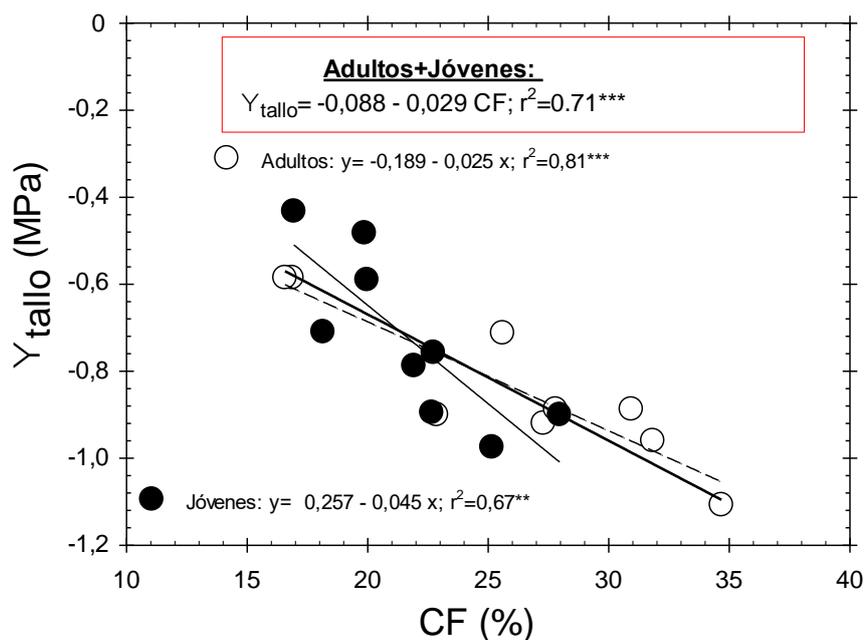


Figura 6.6. Relación entre el potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallos} , MPa) y el porcentaje de cobertura foliar (CF) en melocotoneros adultos (○) y nectarinos jóvenes (●). Valores de los tratamientos PV y PI obtenidos durante la Postcosecha-I. **: $p \leq 0,01$ y *** $p \leq 0,001$.

6.3.4. Efectos sobre el rendimiento y la calidad del fruto

En melocotoneros adultos no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos PV y PI en ninguno de los parámetros productivos estudiados, aunque el peso total fue un 16 % mayor en los árboles del tratamiento PV que en los del tratamiento PI, coincidiendo con un mayor número de frutos por árbol (Tabla 6.1). La carga productiva, el peso del fruto y la EP tampoco se vieron afectados significativamente por la poda en verde de nectarinos jóvenes, aunque los valores de sección transversal del tronco (STT) fueron superiores en el tratamiento PI (Tabla 6.1).

En cuanto a la calidad del fruto, los valores de Cromo (C^*) fueron ligeramente superiores en los árboles adultos del tratamiento PV, siendo el único parámetro de calidad que presentó diferencias significativas entre los tratamientos de poda de melocotoneros adultos (Tabla 6.2). En el caso de los árboles jóvenes, el SST ($^{\circ}\text{Brix}$) fue significativamente inferior en el tratamiento PV respecto al tratamiento PI (Tabla 6.2).

Tabla 6.1. Efectos de la poda de invierno (PI) y en verde (PV) sobre los parámetros productivos de árboles adultos y jóvenes. Medias \pm ES (n=4).

	Melocotoneros adultos		Nectarinos jóvenes	
	PV	PI	PV	PI
Producción (kg árbol⁻¹)	38,93 \pm 5,95 a	32,44 \pm 4,46 a	20,02 \pm 1,26 a	20,87 \pm 3,17 a
Nº frutos árbol⁻¹	284,08 \pm 46,67 a	236,08 \pm 38,30 a	176,83 \pm 12,76 a	183,67 \pm 31,15 a
Peso medio fruto (g)	138,30 \pm 2,14 a	139,51 \pm 3,54 a	138,30 \pm 2,14 a	138,51 \pm 3,54 a
Sección transversal del tronco (STT, cm²)	217,61 \pm 11,32 a	208,47 \pm 6,97 a	54,98 \pm 5,12 b	71,10 \pm 5,01 a
Eficiencia productiva (EP, kg cm⁻²)	0,18 \pm 0,02 a	0,16 \pm 0,01 a	0,38 \pm 0,05 a	0,29 \pm 0,04 a
Porcentaje de frutos en cada corte (%):				
Primer corte	40,2 a	42,8 a	75,5 a	77,7 a
Segundo corte	43,7 a	48,3 a	24,5 a	22,3 a
Tercer corte	16,1 a	8,9 b		

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para árboles adultos y jóvenes, separadamente según MDS_{0,05}.

Tabla 6.2. Efectos de la poda en verde (PI) y de invierno (PV) sobre los atributos físico-químicos de calidad de melocotoneros adultos y nectarinos jóvenes. Medias \pm ES (n=4).

	Melocotoneros adultos		Nectarinos jóvenes	
	PV	PI	PV	PI
Diámetro de fruto (mm)	63,22 \pm 0,18 a	64,00 \pm 0,51 a	57,93 \pm 0,49 a	59,20 \pm 0,61 a
Calibre comercial	B a	B a	C a	C a
SST (°Brix)	9,09 \pm 0,15 a	9,01 \pm 0,21 a	9,18 \pm 0,18 b	11,00 \pm 0,65 a
Luminosidad (L*)	55,58 \pm 0,37 a	53,65 \pm 0,96 a	34,86 \pm 0,51 a	35,44 \pm 0,27 a
Hue (h°)	57,95 \pm 0,01 a	57,93 \pm 0,01 a	52,91 \pm 0,01 a	52,91 \pm 0,01 a
Croma (C*)	41,85 \pm 0,18 a	40,67 \pm 0,27 b	32,27 \pm 0,66 a	31,77 \pm 0,52 a

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para árboles adultos y jóvenes, separadamente según MDS_{0,05}.

La distribución del calibre de los frutos mostró valores característicos para cada cultivar de *Prunus*, sin diferencias significativas entre los tratamientos PV y PI (Tabla 6.2 y Figura 6.7).

Cuando los diámetros de fruto se establecieron siguiendo los calibres comerciales, sólo las categorías más pequeñas (clase C y no extra, con diámetro de fruto < 56 mm, Directiva de comercialización EC (2008) para melocotones y

nectarinas) fueron mayores en los árboles del tratamiento PV que en los árboles del tratamiento PI de melocotoneros adultos (Figura 6.7A), mientras que, en nectarinos jóvenes, se encontró un mayor número de frutos para la categoría B (61-67 mm) en el tratamiento de PI (Figura 6.7B).

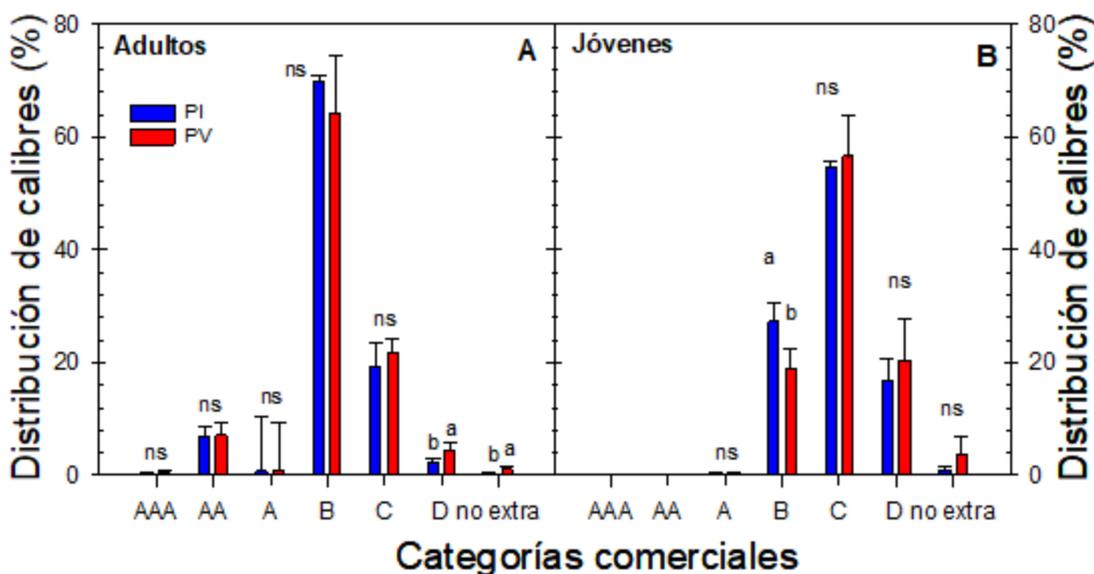


Figura 6.7. Distribución de calibres (% de categoría comercial) en la cosecha para cada tratamiento de poda: PI (poda de invierno) y PV (poda en verde) para: **(A)** melocotoneros adultos; y **(B)** nectarinos jóvenes. Letras distintas denotan diferencias significativas entre los tratamientos PV y PI según el test $MDS_{0,05}$. Las barras verticales son + ES de la media ($n=4$). Los datos se transformaron previamente en $\arcsen \sqrt{\%}$.

6.3.5. Eficiencia económica de la poda en verde

En melocotoneros adultos, el peso de poda eliminada en el tratamiento PI fue de 20,5 kg materia fresca árbol⁻¹ (12 kg materia seca árbol⁻¹). Teniendo en cuenta que son unos 23 árboles por jornal, se necesitan un total de 17,39 jornales por ha. A un coste de 50 € por jornal, el coste de la poda en el tratamiento de PI ascendió a 869,5 € ha⁻¹.

En el tratamiento PV, el material vegetal eliminado en la poda de invierno fue de 13,8 kg árbol⁻¹ materia fresca árbol⁻¹ (8 kg materia seca árbol⁻¹). Por lo tanto, el CD_{PI} ascendió a 588,3 € ha⁻¹. El peso verde de poda eliminada en el tratamiento de PV fue de 10,98 kg materia fresca árbol⁻¹ (6 kg materia seca árbol⁻¹), por lo que se necesitan un total de 4,16 jornales por ha, que a un coste de 50 € por jornal, calculamos que el CD_{PV} ascendió a 208 € ha⁻¹.

En definitiva, los costes de los tratamientos de poda fueron:

- Coste de PV: $588,3 (CD_{PI}) + 208 (CD_{PV}) = 793,3 \text{ € ha}^{-1}$
- Coste de PI: $(CD_{PI}) = 869,5 \text{ € ha}^{-1}$

Estos resultados indican que la gestión de PV no implica costes adicionales al total de las prácticas de poda desde un punto de vista económico.

6.4. Discusión

En este estudio se constatan dos beneficios principales derivados de la aplicación de la poda en verde: (i) la mejora del estado hídrico y (ii) la preservación del rendimiento/calidad del fruto.

La eliminación de chupones en ambos cultivares de *Prunus* estuvo claramente relacionada con la reducción de la CF en los árboles del tratamiento PV en comparación con los árboles del tratamiento PI (Figura 6.4), lo que mejoró el estado hídrico de los árboles durante los periodos de mayor demanda evaporativa, correspondientes a la postcosecha-I y postcosecha-II inicial en estos cultivares de maduración temprana. Este efecto se cuantificó por una mejora de 0,1 - 0,3 MPa en los valores de Ψ_{tallo} de los árboles del tratamiento PV respecto a los árboles del tratamiento PI, con una diferencia máxima de 0,65 MPa en melocotoneros adultos (Figura 6.5).

Sin embargo, la respuesta de PV en árboles adultos y jóvenes fue distinta en términos de calidad y productividad, lo que señala la importancia de considerar la edad/tamaño del árbol a la hora de programar las prácticas de poda. En este sentido y para ambos cultivares de *Prunus*, las cantidades totales de poda eliminadas en los tratamientos PV y PI (Figura 6.2) estuvieron proporcionalmente relacionadas con los diferentes tamaños y edad de los árboles (Figura 6.4). Además, la contribución de la materia seca de PV a la poda total fue mayor en los árboles jóvenes que en los adultos, indicando una mayor cantidad de partes leñosas y menor número de hojas eliminadas de árboles jóvenes en comparación con la de árboles adultos. Según Aloni (2007), esto puede atribuirse al hecho de que la poda en árboles jóvenes mejora el crecimiento de tallos principales de buena calidad, a través del aumento de citoquininas y otras hormonas promotoras del crecimiento, presumiblemente

mediadas por una menor disponibilidad de auxinas (Saure, 1987). Por otro lado, Weibel *et al.* (2003) destacaron la influencia del portainjerto sobre las prácticas de poda, siendo el crecimiento de chupones de hasta un 80 % menor en árboles injertados en patrones poco vigorosos, reduciendo así las necesidades de poda total.

La reducción de la CF observada durante la postcosecha-I tras la aplicación de la poda en verde (Figura 6.4) ha sido ampliamente descrita en cultivos de frutales de hueso, y está estrechamente relacionada con la severidad y el momento de la poda (Kumar *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2012). La aplicación ligera de la poda en verde puede favorecer la interceptación de luz en el centro del dosel vegetal, mejorando así el suministro de carbohidratos a los frutos en desarrollo (Bussi *et al.*, 2011). Mientras tanto, una reducción severa del crecimiento de la CF podría significar una reducción de la tasa fotosintética debido a la superficie foliar que se ha eliminado en exceso (Choi *et al.*, 2011), lo que podría producir un desequilibrio entre el suministro de carbohidratos y los sumideros de carbono como son los frutos (Li *et al.*, 2003a; Bussi *et al.*, 2011; Neri y Massenati, 2011).

Según Ikinci (2014), la aplicación de la poda en verde disminuye la eficiencia del rendimiento en comparación con la poda de invierno como resultado de una menor formación de botones florales en melocotoneros. Sin embargo, nuestros resultados apuntan a que no hay diferencias significativas en el rendimiento total, el número de frutos, el peso medio del fruto y la eficiencia productiva en el tratamiento de PV de melocotoneros adultos (aunque el rendimiento total fue un 16 % mayor en estos) (Tabla 6.1). Este hecho coincide parcialmente con uno de los principales objetivos de la aplicación de la poda en verde: alcanzar rendimientos más altos de forma temprana y regulares (Choi *et al.*, 2011). En este sentido, Zamani *et al.* (2006) recomendaron aplicar la poda en verde alrededor de 90 días después de la plena floración en variedades de media estación, para evitar efectos negativos sobre la producción.

Como han indicado otros autores, la poda en verde suele recomendarse para mejorar la calidad del fruto mediante el aumento de la interceptación de la luz y la reducción de la sombra dentro del dosel vegetal (Li *et al.*, 2003a, b; Choi *et al.*, 2011; Neri y Massetani, 2011; Mika *et al.*, 2011). En este sentido, se observó

un efecto positivo en los valores de °C de los frutos del tratamiento PV de melocotoneros adultos (Tabla 6.2). Singh *et al.* (1997) describen un efecto positivo de la aplicación de la poda en verde en el desarrollo del color de los frutos de melocotón.

Además, Li *et al.* (2003b) indicaron en manzano que mediante la poda en verde se puede controlar el tamaño del dosel y asimismo aumentar la disponibilidad de luz para el desarrollo del fruto, con el fin de favorecer el desarrollo del color rojo de los frutos, evitando a su vez, rebrotes verdes tras la realización de la poda en verde. Singh *et al.* (1997) registraron un aumento en el contenido de SST en respuesta a una mayor penetración de luz a través de las copas de los árboles. Bushal *et al.* (2017) investigaron la combinación de PV y la instalación de películas reflectantes para ayudar a la penetración de la luz y así aumentar la calidad de la fruta (especialmente el color y los °Brix) en parcelas de cultivo intensivo de manzanos. Sin embargo, nuestros resultados indican niveles de SST en nectarinos jóvenes significativamente más bajos en el tratamiento PV que en el tratamiento PI (Tabla 6.2). Este hecho puede estar relacionado con la reducción del área de la sección transversal del tronco (STT) de los árboles del tratamiento PV en nectarinos jóvenes (Tabla 6.1), debido a que las partes medias y superiores del tronco contienen las mayores concentraciones de almidón y azúcares solubles (Ikinci, 2014). Por lo tanto, la reducción de la fotosíntesis en nectarinos jóvenes, debido a la cantidad de hojas eliminadas, podría haber limitado el crecimiento del tronco y los niveles de azúcares solubles. Este resultado resalta la necesidad de prestar atención a la severidad de la poda en verde en frutales jóvenes, cuyas copas de los árboles no estén completamente desarrolladas.

La mejora observada en el estado hídrico de la planta (aumento de 0,1 - 0,3 MPa en los valores de Ψ_{tallo}) y el aumento no significativo del 16 % en el rendimiento registrado en el tratamiento PV de melocotoneros adultos (Figura 6.5 y Tabla 6.1) concordaron con los resultados observados en Vera *et al.* (2013). Dichos autores detectaron que, por cada aumento de 0,1 MPa, se obtenía una disminución del 4,5 % en el rendimiento de melocotoneros adultos de maduración temprana. Este hecho, propicia la reducción del agua consumida por ambos cultivares de *Prunus* durante el periodo de postcosecha. Por ejemplo,

para melocotoneros adultos, en un día representativo de verano con una superficie sombreada del 25,6 % (en el tratamiento PV) y 31,8 % (en el tratamiento PI), respectivamente (Figura 6.4A), se estima un consumo de riego de 324 y 359 mm, respectivamente, sugiriendo un ahorro de agua de riego de alrededor del 10 %. Sin embargo, investigaciones reportadas por López *et al.* (2006) y Marsal *et al.* (2006) en melocotoneros adultos de mediana estación, indican que la mejora del estado hídrico podría ser insuficiente para promover el crecimiento del fruto, si los árboles con PV son incapaces de proporcionar un suministro adecuado de carbohidratos a los frutos en desarrollo.

6.5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este capítulo demuestran la viabilidad del uso de la poda en verde tanto en árboles maduros como en jóvenes de *Prunus*, como una práctica cultural adecuada en términos de: (i) productividad, ya que el rendimiento y los atributos de calidad del fruto fueron similares a los obtenidos en árboles podados sólo en invierno (tratamiento PI), y (ii) estado hídrico de la planta, que mejoró durante los periodos de alta demanda hídrica (postcosecha), por lo que se redujo el consumo de riego en este periodo. Esta respuesta estuvo relacionada con la reducción de la CF de los árboles del tratamiento PV, tal y como se comprobó a partir del análisis de imágenes cenitales, que puede considerarse como método sencillo y robusto para la determinación del crecimiento vegetativo de árboles frutales. Nuestros resultados también demuestran la importancia de considerar el tamaño del árbol cuando se aplica la poda en verde en árboles jóvenes y/o a superficies de copa que no están completamente desarrolladas. El objetivo de la PV es mejorar la calidad de la fruta en los cultivares de media y tardía estación aumentando la penetración de la luz. Sin embargo, los resultados de este estudio en cultivares de maduración temprana sugieren que la aplicación PV también podría considerarse una práctica cultural inteligente para mitigar los efectos de la sequía sin costes adicionales ante un posible escenario de cambio climático.

De forma general podemos concluir que la poda en verde constituye una práctica aconsejable en árboles frutales de maduración temprana como vía para incrementar la productividad del agua de riego, ya que la eliminación de grandes

consumidores de agua, como son los 'chupones', permite mejorar el estado hídrico en periodos de alta demanda evaporativa (verano), manteniendo la producción y calidad de la cosecha.

7. Conclusiones Generales

Estudio de la dinámica del sistema radical en *Prunus persica*.

- Los minirrizotrones, junto al uso de escáner circular y programas de análisis de imágenes *ad hoc*, han resultado ser una técnica muy útil para estudiar la dinámica del sistema radical en condiciones de campo a lo largo de una estación de crecimiento en especies frutales de *Prunus persica* (L.) Batsch, de maduración temprana.
- El crecimiento de las raíces, tanto de melocotoneros adultos como de nectarinos jóvenes, fue continuo durante todo el año en las condiciones de cultivo estudiadas: riego adecuado y ambiente mediterráneo con temperaturas suaves.
- Las raíces crecen de forma alternante con la parte aérea de los árboles, y con distintas velocidades: bajas durante la fase de crecimiento activo de los frutos y altas después de la recolección.
- El conocimiento de la fenología del cultivo y la relación entre crecimiento vegetativo y reproductivo proporciona información importante para definir las mejores prácticas culturales de los frutales: riego, fertilización, tratamientos fitosanitarios y poda.

Efectos de la carga productiva en melocotoneros adultos.

- Los melocotoneros adultos de maduración temprana con carga productiva baja mostraron un mayor crecimiento de ramos, frutos y raíces (es este caso no significativo) que los árboles con carga comercial.
- La producción total fue menor en los árboles con carga baja, aunque el tamaño individual de los frutos fue mayor, lo que podría aumentar la rentabilidad del cultivo en mercados con exigencia de tamaños extra.
- Las prácticas de aclareo deben adaptarse al tamaño del árbol y a las condiciones de riego (total o deficitario) para garantizar una adecuada exposición a la luz solar de los frutos.

Efectos de las micorrizas en suelo en nectarinos jóvenes.

- La aplicación directa en el suelo de micorrizas (*Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*) en nectarinos jóvenes (1 - 2 años) de maduración temprana aumentó en un 50 % el crecimiento de las raíces, con respecto al de árboles sin inocular.
- Se observó una respuesta positiva sobre la producción total de nectarina, con un incremento del 20 % en la eficiencia del uso del agua (kg de fruta cosechada por m³ de agua de riego aplicada) en árboles inoculados con micorrizas.
- La biomasa aérea y el estado hídrico de los árboles fue similar en las dos condiciones estudiadas, con y sin micorrizas, debido posiblemente al carácter joven del cultivo.
- La mejora del establecimiento del cultivo en sus primeros años de vida sugiere la adopción de este tipo de simbiosis en frutales a fin de aumentar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas en zonas semiáridas amenazadas por el cambio climático.

Efecto de la poda en verde en cultivares de *Prunus persica* jóvenes y adultos.

- La poda en verde o poda de verano, realizada después de la recolección en árboles adultos y jóvenes de *Prunus persica* de maduración temprana, ha resultado ser una práctica cultural muy adecuada en términos de productividad, ya que el rendimiento y la calidad del fruto fueron similares a los obtenidos en árboles podados sólo en invierno.
- El estado hídrico de los árboles con poda en verde mejoró durante la poscosecha coincidiendo con unas condiciones ambientales de alta demanda hídrica, lo que implica una reducción en el consumo de agua en este periodo.
- Se observó una reducción del tamaño de los árboles con poda en verde, como indicó su menor cobertura foliar, la cual fue obtenida a partir del análisis de imágenes cenitales de los árboles, resultando ser un método sencillo y robusto para la determinación del crecimiento vegetativo.

- La poda en verde constituye una práctica aconsejable en árboles frutales de maduración temprana como vía para incrementar la productividad del agua de riego, ya que la eliminación de grandes consumidores de agua, como son los 'chupones', permite mejorar el estado hídrico de la planta en periodos de alta demanda evaporativa (verano), manteniendo la producción y la calidad de la cosecha.

8. Bibliografía

- Abrisqueta, J.M., Hernansáez, A., Franco, J.A., (1994). Root dynamics of young almond tree under different drip-irrigation rates. *J. Hortic. Sci.* 69, 237-242.
- Abrisqueta, J.M., Mounzer, O., Álvarez, S., Conejero W., García-Orellana Y., Tapia L.M., Vera J., Abrisqueta I, Ruiz-Sánchez M.C. (2008). Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying continuous deficit irrigation. *Agric. Water Manag.* 95, 959-967.
- Abrisqueta, I., Tapia, L. M., Conejero, W., Sánchez-Toribio, M. I., Abrisqueta, J. M., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M. C. (2010). Response of early-peach [*Prunus persica* (L.)] trees to deficit irrigation. *Span. J. Agric. Res.* 8(S2), 30-39.
- Abrisqueta, I., Vera, J., Conejero, W., Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C. Tapia, L.M. (2011). Water use by drip-irrigated early-season peach trees. *Acta Hortic.* 889, 175-180.
- Abrisqueta, I., Vera, J., Tapia, L.M., Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C. (2012). Soil water content criteria for peach trees water stress detection during the postharvest period. *Agric. Water Manag.* 104, 62-67.
- Abrisqueta, I., Conejero, W., López-Martínez, L., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M.C. (2017). Root and aerial growth in early-maturing peach trees under two crop load treatments *Span. J. Agric. Res.* 15, e0803.
- Abbott, L., Robson, A. (1991). Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agric. Ecosyst. Environ.* 35, 121–150.
- Alarcón, A.L., Gómez-Bellot, M.J., Bernabe, A.J., Calvo, G., Martín, F.F. (2019). Changes in root architecture and productivity of melon (*Cucumis melo* L. cv. Hispano Nunhems) promoted by *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 95, 364–373.
- Alcobendas, R., Mirás-Avalos J.M., Alarcón J.J., Pedrero F., Nicolás E. (2012). Combined effects of irrigation, crop load and fruit position on size, color and firmness of fruits in extra-early cultivar of peach. *Sci. Hortic.* 142, 128-135.

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements nº 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy. 300pp.
- Allen, R.G., Pereira, L.S. (2009) Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrig. Sci.* 28, 1 7–34
- Aloni, R. (2007). Phytohormonal mechanisms that control wood quality formation in young and mature trees. *En: The Compromised Wood Workshop 2007*. K. Entwistle, P. Harris, J. Walker (Eds). The Wood Technology Research Centre, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, pp. 1–22.
- Alvarado-Raya, H.E. (2017) Peach seedling growth with mycorrhiza and vermicompost. *Tecnociencia*, 9, 48–57.
- Amaya-Carpio, L., Davies, F., Fox, T., He, C. (2009) Arbuscular mycorrhizal fungi and organic fertilizer influence photosynthesis, root phosphatase activity, nutrition, and growth of *Ipomoea carnea* sp. *Fistulosa*. *Photosynthetica*, 47, 1–10.
- Awasthi, R.P., Godara, R.K., Kaith, N.S. (1999) Correlation between VA-mycorrhizae spore number, root colonization, Azotobacter population and fruit yield of July Elberta peach. *J. Hill Res.* 12, 1–4.
- Baggiolini, M. (1980). Stades repères du cerisier - Stades repères du prunier. Stades repères de l'abricotier. Stades repères. 358 pp.
- Baldi, E., Amadei, P., Pelliconi, F., Tosell, M. (2015). Use of *Trichoderma* spp. and arbuscular mycorrhizal fungi to increase soil beneficial population of bacteria in a nectarine commercial orchard: Effect on root growth, nutrient acquisition and replanting disease. *J. Plant Nutr.* 39, 1147–1155.
- Baldini, E. (1992). Arboricultura General. *Mundi-Prensa Libros*, S.A. 384 pp.

- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N., Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Front. Plant Sci.* 10, 1068.
- Berman, M.E., DeJong, T.M. (1996). Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*). *Tree Physiol.* 16, 859–864.
- Berman, M.E., DeJong, T.M. (2003). Seasonal patterns of vegetative growth and competition with reproductive sinks in peach (*Prunus persica*). *J. Hortic. Sci. Biotech.* 78, 303–309.
- Ben Mimoun, M.B., DeJong, T.M. (2006). Effect of fruit crop load on peach root growth. *Acta Hortic.* 713, 169–171.
- Bernier, P.Y., Robitaille G. (2004). A plane intersect methods for estimating fine root productivity of trees from minirhizotrons images. *Plant Soil.* 265, 165–173.
- Bevington, K.B., Castle W.S. (1985). Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 110, 840–845.
- Bhusal, N., Han, S.G., Yoon, T.M. (2017). Summer pruning and reflective film enhance fruit quality in excessively tall spindle apple trees. *Hortic. Environ. Biotech.* 58 (6), 560–567.
- Bucher, M., Wegmüller, S., Drissner, D. (2009). Chasing the structures of small molecules in arbuscular mycorrhizal signaling. *Curr. Op. Plant Biol.* 12, 500–507.
- Bussi, C., Bruchou, C., Lescourret, F. (2011). Response of watersprout growth to fruit load and intensity of dormant pruning in peach tree. *Sci. Hortic.* 130 (4), 725–731.

- 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*. 1^{ed}. New York: pp. 505–569.
- Calvet, C., Pinochet, J., Hernández-Dorrego, A., Estaún, V., Camprubi, A. (2001). Field microplot performance of the peach-almond hybrid GF-677 after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in a replant soil infested with root-knot nematodes. *Mycorrhiza*. 10, 295–300.
- Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 383, 33–41.
- Carew, R., Smith, G. (2004). The value of apple characteristics to wholesalers in Western Canada: a hedonic approach. *Can.J. Plant Sci.* 84 (3), 829–935.
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaráz-López, C., Iglesias, M., Martínez-Ballesta, M.C. (2010). Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la Región de Murcia. *En*: Etiquetado de Carbono en las explotaciones y productos agrícolas: La iniciativa agricultura Murciana como sumidero de CO₂. Consejería de Agricultura y Agua (CARM): Murcia, Spain. ISBN: 978-84-693-6838-1. pp. 65–92
- Chalmers, D.J., Van Den Ende, B.A. (1975). Reappraisal of the growth and development of peach fruit. *Aust. J. Plant Physiol.* 2, 623–634.
- Childers, N.F., Sherman, W.B. (1988). *The Peach: world cultivars to marketing* Horticultural Publ., Gainesville (FL). 186–189 pp.
- Chitarra, W., Pagliarani, C., Maserti, B., Lumini, E., Siciliano, I., Cascone, P., Schubert, A., Gambino, G., Balestrini, R., Guerrieri, E. (2016). Insights on the impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on tomato tolerance to water stress. *Plant Physiol.* 171, 1009–1023.

- Choi, S.T., Park, D.S., Hong, K.P., Kang, S.M. (2011). Summer pruning effect on tree growth and fruit production of persimmon. *Adv. Hortic. Sci.* 25 (3): 164–169.
- Chen, D., Wang, Y., Liu, S., Wei, X., Wang, X. (2014). Response of relative sap flow to meteorological factors under different soil moisture conditions in rainfed jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) plantations in semiarid Northwest China. *Agric. Water Manag.* 136, 23–33.
- Comas, L.H., Eissenstat, D.M., Lakso, A.N. (2000). Assessing root death and root system dynamics in a study of grape canopy pruning. *New Phytol.* 147, 171–178.
- Conejero W., Ortuño M.F., Mellisho C.D., Torrecillas A. (2010). Influence of crop load on maximum daily trunk shrinkage reference equations for irrigation scheduling of early maturing peach trees. *Agric. Water Manag.* 97, 333–338.
- Conesa, M.R., Martínez-López, L., Conejero, W., Vera, J., Ruiz-Sánchez, M. (2019). Summer pruning of early-maturing *Prunus persica*: *Water implications. Sci. Hortic.* 256, 108539.
- Conesa, M., Espinosa, P., Pallarés, D., Pérez-Pastor, A. (2020). Influence of plant biostimulant as technique to harden Citrus nursery plants before transplanting to the field. *Sustainability.* 12, 6190.
- Conesa, M.R., Conejero, W., Vera, J., Agulló, V., García-Viguera, C., Ruiz-Sánchez, M.C. (2021). Irrigation management practices in nectarine fruit quality at harvest and after cold storage. *Agric. Water Manag.* 243, 106519.
- Contador, M.L., Comas, L.H., Metcalf, S.G., Stewart, W.L., Porris I., Negrin C., Lampinen B. (2015). Root growth dynamics linked to above-ground growth in walnut (*Juglans regia*). *Ann. Bot.* 116, 49–60.
- Costa, G., Vizzotto, G. (2000). Fruit thinning of peach trees. *Plant Growth Regul.* 31, 113–119.

- Day, F.P., Stover, D.B., Pagel, A.L., Hungate, B.A., Dilustro, J.J., Herberts Drake B.G., Hinkle C.R. (2006). Rapid root closure after fire limits fine root responses to elevated atmospheric CO₂ in a scrub oak ecosystem in central Florida USA. *Glob. Change. Biol.* 12,1047–1053.
- De la Rosa, J.M., Conesa, M.R., Domingo, R., Aguayo, E., Falagán, N. Pérez-Pastor, A. (2016). Combined effects of deficit irrigation and crop level on early nectarine trees. *Agric. Water Manag.* 170, 120–132.
- DeJong, T.M., Doyle, J.F., Day, K.R. (1987). Seasonal patterns of reproductive and vegetative sink activity in early and late maturing peach (*Prunus persica*) cultivars. *Physiol, Plant.* 71, 83–88.
- DeJong, T.M. (1999) Development and environmental control of dry matter partitioning in peach. *HortScience* 34, 1037–1040
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P.I., Fall, D., Hocher, V., Svistoonoff, S. (2020) Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity.* 12, 370.
- DuJardin, P. (2015). Plant bioestimulants: definition, concept, main categories and regulation. 196, 3–14.
- Dye, M.H. (1967). Effect of pruning on silver-leaf disease (*Stereum purpureum* (pers.) fr.) and yield of peach and nectarine trees. *New Zeal. J. Agric. Res.* 10 (3-4), 435–444.
- European Union (2008). Commission Regulation (EC) N° 1221/2008 of 5 December 2008. Amending Regulation (EC) N° 1580/2007 laying down implementing rules of Council Regulations (EC) N° 2200/96, (EC) N° 2201/96 and (EC) N° 1182/2007 in the fruit and vegetable sector as regards marketing standards. *Off. J. Eur. Union.* 51, 80 pp.
- Evelin, H., Kapoor, R., Giri, B. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: A review. *Ann. Bot.* 104, 1263–1280.

- Evett, S.R., Tolk, J.A., Howell, T.A. (2006). Soil profile water content determination: Sensor accuracy, axial response, calibration, temperature dependence, and precision. *Vadose Zone J.* 5, 897–907.
- Fereres, E., Evans, R.G. (2006). Irrigation of fruit trees and vines: an introduction. *Irrig. Sci.* 24, 55–57.
- Fereres, E., Martinich, D.A., Aldrich, T.M, Castel, J.R., Holzapfel, H., Schulbach. Drip irrigation saves money in young almond orchards. (1982) *Californ. Agric.* 36, 12–13.
- Fernández, J.E., Moreno, F., Martín-Aranda, J., Fereres, E. (1992) Olive-tree root dynamics under different soil water regimes. *Agric. Mediterr.* 122, 225–235.
- Fernández-Gázquez, J. (2014). Análisis financiero del riego deficitario controlado en melocotonero variedad Catherine. Technical University of Cartagena (UPCT). Trabajo fin de máster. 76 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. (FAOSTAT). Food and Agriculture Organization Statistical. Disponible online: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC> (acceso 15 junio de 2023).
- Franco, J.A., Abrisqueta, J.M. (1997). A comparison between minirhizotron and soil coring methods of estimating root distribution in young almond trees under trickle irrigation. *J. Hortic. Sci.* 72, 797–805.
- García-García, J., García-Brunton, J. (2013). Economic evaluation of early peach (*Prunus persica* L. Batsch) commercial orchard under different irrigation strategies. *Open. J. Act.* 2, 99–106.
- Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V., Tisserant, B., Lemoine, M.C. (1992) Protein activities as potential markers of functional endomycorrhizae in planta. *En: Mycorrhizas in Ecosystems*; Read, D.J., Lewis, D.H., Fitter, A.H., Alexander, I.J., Eds.; CAB International: Wallingford, UK, pp. 333–339.

- Giovanetti, M., Mosse, B. (1980). An evolution of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytol.* 84, 489–500.
- Girona J., Gelly M., Mata M., Arbonés A., Rufat J., Marsal J. (2005). Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils. *Agric. Water Manage.* 72, 97–108.
- Gómez-Bellot, M.J., Nortes, P.A., Ortuño, M.F., Romero, C., Fernández-García, N., Sánchez-Blanco, M.J. (2015). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and treated wastewater on water relations and leaf structure alterations of *Viburnum tinus* L. plants during both saline and recovery periods. *Journal of Plant Physiol.* 188, 96–105.
- Grossman, Y.L., DeJong, T.M. (1994). PEACH: a simulation model of reproductive and vegetative growth in peach trees. *Tree Physiol.* 14, 329–345.
- Grossman, Y.L., DeJong, T.M. (1995). Maximum vegetative growth potential and seasonal patterns of resource dynamics during peach growth. *Ann Bot* 76: 473–482.
- Hendricks, R.L., Hendrick, R.J., Wilson, C.A., Mitchell, R.J., Rechot S.D., Guo D., (2006). Assessing the patterns and controls of fine root dynamics: an empirical test and methodological review. *J. Ecol.* 94, 40–57.
- Hodge, A., Campbell, C., Fitter, A.H. (2001). An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature.* 413, 297–299.
- Hooker, J.E., Munro, M., Atkinson, D. (1992) Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi induced alteration in poplar root system morphology. *Plant Soil.* 145, 207–214.
- Hsiao, T.C. (1990) Measurement of tree water status. *En: Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy Monograph*; Steward, B.A., Nielsen, D.R., Eds.; American Society of Agronomy: Madison, WI, USA. pp. 243–279.

- Ikinci, A. (2014). Influence of pre- and postharvest summer pruning on the growth, yield, fruit quality, and carbohydrate content of early season peach cultivars. *Sci. World J.* e104865, 1–8.
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan
- Johansen, A., Finlay, R.D., Olsson, P.A. (1996). Nitrogen metabolism of external hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *New Phytol.* 133, 705–712.
- Johnson, M.G., Tingey, D.T., Philips, D.L., Storm, M.J. (2001). Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environ. Exp. Bot.* 45, 263–289.
- Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P. (2005). Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. *Agric. Forest Meteor.* 132, 96–114.
- Kobe, R.K., Iyer, M., Walters, M.B. (2010). Optimal partitioning theory revisited: Nonstructural carbohydrates dominate root mass responses to nitrogen. *Ecology*, 91, 166–179.
- Kozolowski, T.T. (1992). Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *Bot. Rev.* 58, 208–222.
- Krasowski, M.J., Lavigne, M.B., Olesinski, J., Bernier P.Y. (2010). Advantages of long-term measurement of fine root demographics with a minirhizotron at two balsam fir sites. *Can. J. Forest Res.* 40, 1128–1135.
- Kumar, M., Rawat, V., Rawat, J.M.S., Tomar, Y.K. (2010). Effect of pruning intensity on peach yield and fruit quality. *Sci. Hortic.* 125, 218–221.

- Kumar, A., Sharma, A., Chaudhary, P., Gangola S. (2021). Chlorpyrifos degradation using binary fungal strains isolated from industrial waste soil. *Biologia*. 76 (10), 3071–3080.
- Lancashire, P., Bleiholder, H., van den Boom, T., Langelüddeke, P., Stauss, R., Weber, E, Witzemberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 119, 561–601.
- Li, K., Lakso, A.N., Piccioni, R., and Robinson, T. (2003a). Summer pruning reduces whole-canopy carbon fixation and transpiration in apple trees. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78 (6), 749–754.
- Li, K., Lakso, A.N., Piccioni, R., and Robinson, T. (2003b). Summer pruning effects on fruit size, fruit quality, return bloom and fine root survival in apple trees. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78 (6), 755–761.
- Lichou, J., Audubert, A. (1989). L'abricotier. (Ed. Granier, J.) Ctifl, Montpellier. 86 pp.
- López, G., Mata, M., Arbones, A., Solans, J.R., Girona, J., Marsal, J. (2006). Mitigation of effects of extreme drought during stage III of peach fruit development by summer pruning and fruit thinning. *Tree Physiol.* 26, 469–47.
- López, G., Arbonés, A., Mata, M., Paris, C., Girona, J., Marsal, J. (2008). Root growth following defruiting improves peach tree water status. *J. Hort. Sci. Biotech.* 83, 804–808.
- López, G., Behboudian, M.H., Vallverdú, X., Mata, M., Girona, J., Marsal, J. (2010). Mitigation of severe water stress by fruit thinning in 'O'Henry' peach: implications for fruit quality. *Sci. Hortic.* 125, 294–300.
- López, G., Echeverria, G., Bellvert, J., Mata, M., Behboudian, M.H., Girona, J., Marsal, J. (2016). Water stress for a short period before harvest in nectarine:

- Yield, fruit composition, sensory quality, and consumer acceptance of fruit. *Sci. Hortic.* 211, 1–7.
- Lǔ, L.-H., Zou, Y.-N., Wu, Q.-S. (2019). Mycorrhizas mitigate soil replant disease of peach through regulating root exudates, soil microbial population, and soil aggregate stability. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 50, 909–921.
- Ma, L., Hou, C.W., Zhang, X.Z., Li, H.L., Han, D.G., Wang, Y., Han, Z.H. (2013). Seasonal growth and spatial distribution of apple tree roots on different rootstocks or interstems. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 138, 79–87.
- Machado, R.M.A., Rosário, M., Oliveira, G. (2003). Comparison of tomato root distribution by minirhizotron and destructive sampling. *Plant Soil.* 255, 375–385.
- Mahhou, A., DeJong, T.M., Shackel, K.S., Cao, T. (2006). Water stress and crop load effects on yield and fruit quality of Elegant Lady peach [*Prunus persica* (L.) Batch]. *Fruits.* 61, 407–418.
- Majdi, H., Smucker, A.J.M., Persson, H. (1992). A comparison between minirhizotron and monolith sampling methods for measuring root growth of maize (*Zea mays* L.). *Plant Soil.* 147, 127–134.
- Marsal, J., Basile, B., Solari, L., DeJong, T.M. (2003). Influence of branch autonomy on fruit, scaffold, trunk and root growth during Stage III of peach fruit development. *Tree Physiol.* 23, 313–323.
- Marsal, J., Lopez, G., Mata, M., Girona, J. (2006). Branch removal and defruiting for the amelioration of water stress effects on fruit growth during Stage III of peach fruit development. *Sci. Hortic.* 108, 55–60.
- McCutchan, H., K.A. Shackel. (1992). Stem water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117, 607–611.

- McMichael B.L., Taylor H.M. (1987). Applications and limitations of rhizotrons and minirhizotrons. *En: Minirhizotron observation tubes: Methods and applications for measuring rhizosphere dynamics*; Taylor HM (Eds). *Am. Soc. Agron. Spec. Publ. N°.* 50 Madison, WI, USA pp. 1-13.
- Merrill, S.D., Upchurch, D.R. (1994). Converting root numbers observed at minirhizotrons to equivalents root length density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1061–1067.
- Mickelbart, M.V., Robinson, P.W., Witney, G., Arpaia, M.L. (2012). ‘Hass’ avocado tree growth on four rootstocks in California.II. Shoot and root growth. *Sci. Hortic.* 143, 205–210.
- Mika, A., Buler, Z. (2011). Intensive plum orchard with summer training and pruning. *Adv. Hortic.Sci.* 25 (3), 193–198.
- Milchunas, D.G. (2009). Estimating root production: comparison of 11 methods in shortgrass steppe and review of biases. *Ecosystems.* 12, 1381–1402.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Estadísticas Agrarias (MAPA). <https://www.mapa.gob.es>. (acceso 3 junio de 2022)
- Miranda, C., Royo, J.B., (2002). Fruit distribution and early thinning intensity influence fruit quality and productivity of peach and nectarine trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127, 892–900.
- Mirás-Avalos, J.M., Alcobendas, R., Alarcón, J.J., Pedrero, F., Valsesia, P., Lescourret, F., Nicolás, E. (2013). Combined effects of water stress and fruit thinning on fruit and vegetative growth of a very early-maturing peach cultivar: assessment by means of a fruit tree model, QualiTree. *Irrig. Sci.* 31, 1039–1051.
- Mostacero, J., Castillo, P., Mejía, F., Gamarra, O., Charcape, J., Ramírez, R. (2011). *Plantas Medicinales del Perú: Taxonomía, Ecogeografía. Fenología*

- y Etnobotánica. 1^{ra} ed. Trujillo: Asamblea Nacional de Rectores Fondo Editorial. ISBN: 9786124011597. pp. 33–48
- Mounzer, O. (2005) Riego localizado de precisión en frutales de hueso *Prunus armeniaca* L. y *Prunus persica* L. Batsch. Tesis doctoral. 199 pp.
- Mounzer, O.H., Conejero, W., Nicolás, E., Abrisqueta, I., García-Orellana, Y., Tapia, L.M., Vera, J., Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C. (2008). Growth pattern and phenological stages of early maturing peach trees under a Mediterranean climate. *HortSci*. 43, 1813–1818.
- Musacchi, S., Iglesias, I., Neri, D. (2021). Training systems and sustainable orchard management for European pear (*Pyrus communis* L.) in the Mediterranean area: A Review. *Agronomy*. 11(9),1765.
- Naor, A., Klein, I., Hupert, H., Grinblat, Y., Peres, M., Kaufman, A. (1999). Water stress and crop level interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution, and water potentials. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124, 189–193.
- Naor, A. (2010). Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Hortic. Rev.*, 111–165.
- Neri, D., Massetani, F. (2011). Spring and summer pruning in apricot and peach orchards. *Adv. Hortic. Sci.* 25 (3), 170–178.
- Newman, E.I. (1996). A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3 (1), 139–145.
- Nicolás, E., Maestre-Valero, J.F., Alarcón, J.J., Pedrero, F., Vicente-Sánchez, J., Bernabé, A., Fernández, F. (2015). Effectiveness and persistence of arbuscular mycorrhizal fungi on the physiology, nutrient uptake and yield of *Crimson Seedless* grapevine. *J. Agric. Sci.* 153, 1084–1096.
- Nii, N. (1993). Fruiting effects of leaf characteristics, photosynthesis, and root growth in peach trees. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 62, 519–526.

- Oster, J.D., Schoer, F.W. (1979). Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43, 444–447.
- Pavel, E.W., DeJong, T.M. (1993). Relative growth rate analysis of developing peach fruits and its relationship to compositional changes of non-structural carbohydrates in the mesocarp. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 118 (4), 503–508
- Pérez-Pastor, A. (2001). Estudio agronómico y fisiológico del albaricoquero en condiciones de infratodación hídrica. Tesis doctoral. 236 pp.
- Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R., Torrecillas, A. (2004). Growth and phenological stages of 'Búlida' apricot trees in south-east Spain. *Agronomie.* 24, 93–100.
- Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R. (2014). Effects of timing and intensity of deficit irrigation on vegetative and fruit growth of apricot trees. *Agric. Water Manag.* 134, 110–118.
- Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M.C. Conesa, M.R. (2016). Drought stress effect on woody tree yield. *En: 'Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach. Vol.2 First Edition (P. Ahmad, Ed.), John Wiley & Sons Ltd., UK, 356-374. ISBN: 9781119054368. Chapter 22. pp. 356–374.*
- Plana, V. (2003). Optimización del uso del agua en albaricoquero mediante riego deficitario controlado y manejo del suelo. Tesis doctoral. 253 pp.
- Posta, K., Duc, N.H. (2020). Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi application to crop production under water scarcity. Available online: <https://www.intechopen.com>. (acceso 15 marzo 2023).
- Pregitzer, K.S., Hendrick, R.L., Fogel, R. (1993). The demography of fine roots in response to patches of water and nitrogen. *New Phytol.* 125, 575–580.
- Rhoades, J.D. (1974). Leaching requirement for exchangeable sodium control. *Soil Sci. Soc. Amer. Proce.* 32, 625–656.

- Richards, L.A. (1965). Physical conditions of water in soil. En: *Methods of Soil Analysis* (Black, C.A. Ed.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, *Agronomy*. 9, 128-152.
- Ross, N.W., Catlin, P.B. (1978). Rootstocks and root physiology. En: Almond orchard management; Micke W, Kester D (Eds.). Division of Agricultural Sciences, University of California. pp. 25–29
- Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as bio-stimulants in horticultural crops. *Sci. Hort.* 196, 91–108.
- Rouphael, Y., Giordano, M., Cardarelli, M., Cozzolino, E., Mori, M., Kyriacou, M., Bonini, P., Colla, G. (2018). Plant- and seaweed-based extracts increase yield but differentially modulate nutritional quality of greenhouse spinach through biostimulant action. *Agronomy*. 8, 126.
- Ruiz-Lozano, J.M.R., Azcon, R., Gomez, M. (1995). Effects of arbuscular-mycorrhizal glomus species on drought tolerance: Physiological and nutritional plant responses. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 456–460.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Girona J. (1995). Investigaciones sobre riego deficitario controlado en melocotonero. En: Riego deficitario controlado. Eds: Zapata M., Segura P. Colección Cuadernos VALUE I, Editorial Mundi-Prensa/Unión Europea. pp. 69–95.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Plana, V., Ortuño, M.F., Tapia, L.M., Abrisqueta, J.M. (2005). Spatial root distribution of apricot trees in different soil tillage practices. *Plant Soil*. 272, 211–221.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R., Castel, J. R. (2010). Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Span. J. Agric. Res.* 8(S2), 5–20.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Abrisqueta, I., Conejero, W., Vera, J. (2018). Deficit irrigation management in early-maturing peach crop. En: Water Scarcity and

- Sustainable Agriculture in Semiarid Environment. Tools, Strategies, and Challenges for Woody Crops. ISBN 978-0-12-813164-0. *Elsevier*. Chapter 6. Pp. 111–126.
- Rytter, R.S., Rytter, L. (2012). Quantitative estimates of root densities at minirhizotrons differ from those in the bulk soil. *Plant Soil* 350: 205–220.
- Saure, M.C. (1987). Summer pruning effects in apple - a review. *Sci. Hortic.* 30, 253–282.
- Scorza, R., Okie, W.R. (1991). Peaches (*Prunus* sp.). Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops. Vol. 290, 177–234.
- Shackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W., Buchner, R., Goldhamer, D., Gurusinghe, S., Hasey, J., Kester, D., Krueger, B., Lampinen, B., McGourty, G., Micke, W., Mitcham, E., Olson, B., Pelletrau, K., Philips, H., Ramos, D., Schwankl, L., Sibbett, S., Snyder, R., Soutwick, S., Stevenson, M., Thorpe, M., Weinbaum, S., Yeager, J. (1997). Plant water status as an index of irrigation needs in deciduous fruit trees. *HortTechnol.* 7, 23–29.
- Sharma, S., Sharma, N., Sharma, C., Sood, R., Singh, R. (2005). Studies on correlations between endomycorrhizal and azotobacter population with growth, yield and soil nutrient status of apple (*Malus Domestica* Borkh.) orchards in himachal pradesh. *Acta Hortic.* 283–287.
- Shrestha, Y.H., Ishii, T., Matsumoto, I., Kadoya, K. (1996). Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on 'Satsuma' mandarin tree growth and water stress tolerance and on fruit development and quality. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, 64, 801–807.
- Singh, D., Chauhan, J.S., Kainth, N.S. (1997). Pruning in peach: A review. *Agric. Rev.* 18 (3/4), 147–154.

- Singh, A., Deka, B.C., Patel, R.K., Nath, A., Mulieh, S.R. (2012). Effect of pruning time, severity and tree aspects on harvesting period and fruit quality of low chilling peach (*Prunus persica* sp.). *Ind. J. Agric. Sci.* 10, 862–866.
- Slawomir, S., Aleksander, S. (2010). The influence of mycorrhizal fungi on the growth and yield of plum and sour cherry trees. *J. Fruit Ornam. Plant Res.* 18, 71–77.
- Smit, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., Van Noordwijk, M., Pellerin S., Van de Geijn S.C. (2000). *Root methods: A handbook*. Springer, Berlin. 587 pp.
- Smith, S.E., Read, D.J. (2008). Colonization of roots and anatomy of arbuscular mycorrhiza. *En: Mycorrhizal Symbiosis*; Academic Press: London, UK, pp. 42–90.
- Soil Survey Staff. (1998). *Keys to Soil Taxonomy*. 8th Edition, USDA, NRCS. 886 pp.
- Southwick, S.M., Weis, K.G., Yeager, J.T., Zhou, H. (1995). Controlling cropping in 'Loadel' cling peach using gibberellin: effects on flower density, fruit distribution, fruit firmness, fruit thinning, and yield. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 120 (6), 1087–1095.
- Sprugel, D.G., Hinckley, T.M., Schaap, W. (1991). The theory and practice of branch autonomy. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 22, 309–334.
- SPSS Inc. SPSS-IBM Professional Statistics 21 update. Chicago, ILL, USA.
- Suvocârev, K., Blanco, O., Faci, J.M., Medina, E.T., Martínez-Cob, A. (2013). Transpiration of table grape (*Vitis vinifera* L.) trained on an overhead trellis system under netting. *Irrig. Sci.* 31, 1289–1302.
- Taylor, H.M. (1987). Minirhizotron observation tubes: Methods and applications for measuring rhizosphere dynamics. *Am. Soc. Agron. Spec. Publ. No. 50*, Madison, WI, USA. 143 pp.

- Upchurch, D.R., Ritchie, J.T. (1983). Root observation using a video recording system in minirhizotrons. *Agron. J.* 75, 1009–1015.
- Upchurch, D.R. (1987). Conversion of minirhizotron-root intersections to root length density. *En: Minirhizotron observation tubes: Methods and applications for measuring rhizosphere dynamics.* Taylor HM (ed.). *Am Soc Agron, Spec Publ* No. 50, Madison, WI, USA. pp. 51–66
- Vera, J. and De la Peña, J.M. (1994). FERTIGA: Programa de fertirrigación de frutales. CEBAS-CSIC, Murcia, Spain. 69 pp.
- Vera, J., Abrisqueta, I., Abrisqueta, J.M., Ruiz-Sánchez, M.C. (2013). Effect of deficit irrigation on early-maturing peach tree performance. *Irrig. Sci.* 31, 747–757.
- Vera, J., Conejero, W., Conesa, Ruiz-Sánchez, M.C. (2019). Irrigation factor approach based on soil water content: a nectarine orchard case study, *Water.* 11, 589.
- Wardlaw, I.F. (1990). The control of carbon partitioning in plants. Tansley Review No. 27. *New Phytol.* 116, 341–381.
- Weibel, A., Johnson, R.S., DeJong, T.M. (2003). Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. *Am. Soc. Hortic. Sci.* 128, 463–471.
- Wells, C.E., Glenn, D.M., Eissenstat D.M. (2002). Changes in the risk of fine-root mortality with age: A case study in peach *Prunus persica* (Rosaceae). *Am. J. Bot.* 89, 79–87.
- Williams, L.E., Ayars, J.E. (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agric. For. Meteorol.* 132, 201–211.

- Williamson, J.G., Coston, D.C. (1989). The relationship among root growth, shoot growth, and fruit growth of peach. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 114, 180–183.
- Wu, Q.S., Li, G.H., Zou, Y.N. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient acquisition of peach (*Prunus persica* L. Batsch) seedlings. *J. Anim. Plant. Sci.* 21, 746–750.
- Wünsche, J.N. Ferguson, I.B. (2005). Crop load interactions in apple. *Hortic. Rev.* 31: 231–290.
- Yang, J., Hammer, D., Blanchar, R.W. (2003). Minirhizotron quantification of soybean root growth as affected by reduced A horizon in soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166, 708–711.
- Zamani, Z., Saie, A., Talaie, A.R., Fatahi, R. (2006). Effects of summer pruning on growth indices of two important Iranian apple cultivars ‘Golab’ and ‘Shafi-Abadi’. *Acta Hortic.* 707, 269–274.

Listado de Abreviaturas y Símbolos

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Abreviaturas

Ad hoc	Para esto
AMF	Arbuscular mycorrhizal fungí
ANOVA	Análisis de la varianza
BBCH	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHEmische Industrie
Ca ⁺²	Ión calcio
CaCO ₃	Carbonato cálcico
CA	California
CB	Carga baja
CC	Carga comercial
CD	Coste directo o dependiente de la poda
CEBAS	Centro de edafología y biología aplicada del Segura
CF	Cobertura foliar
CIE	Comission Internationale de l'Éclairage
Cl ⁻	Ión cloruro
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
Co.	Corporation
CO ₃ H ⁻	Ión bicarbonato
CSIC	Centro superior de investigaciones científicas
cv.	Cultivar
D	Diámetro
d	Día
da	Densidad aparente
D	Drenaje
DLR	Densidad de longitud radical
DLR _L	Densidad de longitud de raíces según la longitud de raíces
DLR _P	Densidad de longitud de raíces según el número de raíces
DPV	Déficit de presión de vapor

dS	Decisiemen
ECP	Eficiencia de la carga productiva
EP	Eficiencia productiva
ES	Error estándar
ETc	Evapotranspiración del cultivo
ET ₀	Evapotranspiración del cultivo de referencia (gramíneas)
EUA	Eficiencia del uso del agua
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Statistics
Fe	Hierro
FL	Florida
g	Gramo
GMT	Greenwich Mean Time
h	Hora
h ^o	HUE
ha	Hectárea
HR	Humedad relativa
HR _{med}	Humedad relativa media
HUE	Tonalidad o matiz
Inc.	Incorporation
Izda.	Izquierda
K ⁺	Ión potasio
K ₂ O	Óxido de potasio
Kc	Coeficiente de cultivo
kg	Kilogramo
kPa	Kilopascal
Kr	Factor de cobertura
L	Litro

L*	Unidades Luminosidad
LSI	Índice de saturación de Langelier
m	Metro
MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MDS	Mínima diferencia significativa
med	Media
mg	Miligramo
Mg ⁺²	Ión magnesio
MgO	Óxido de magnesio
mm	Milímetro
mmol	Milimol
Min	Minutos
MP	Marco de plantación
MPa	Megapascal
MSE	Mean Squared Error
Mt	Millones de toneladas
N	Nitrógeno
n	Número de repeticiones
Na ⁺	Ión sodio
ND	Costes no dependientes de la poda
NMg	Nitrato de magnesio
NY	New York
p	Probabilidad estadística
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo
pH	Potencial de hidrógeno
PI	Poda de invierno
ppp	Píxeles o puntos por pulgada
PV	Poda en verde o de verano
PVC	Policloruro de Vinilo

r	Coeficiente de correlación
RAS	Relación de adsorción de sodio
Rg	Radiación global diurna
s	Segundo
SO ₄ ²⁻	Anión sulfato
sp.	Especie
SST	Sólidos solubles totales
STT	Sección transversal del tronco
T	Temperatura
T _{máx}	Temperatura del aire máxima
T _{med}	Temperatura del aire media
T _{min}	Temperatura del aire mínima
t	Tonelada
UF	Unidades de fertilizantes
UK	United Kingdom
USA	United States of America
UT	Utah
Var.	Variedad
VCR	Velocidad de crecimiento relativa
vs	Versus

Símbolos

ψ	Potencial hídrico
ψ _{PV}	Potencial hídrico del tratamiento poda en verde
ψ _{PI}	Potencial hídrico del tratamiento poda de invierno
θ _V	Contenido volumétrico de agua en el suelo
°	Grados
θ _{CC}	Contenido volumétrico de agua a capacidad de campo

θ_{PM}	Contenido volumétrico de agua en el punto de marchitez
€	euros
°C	Grados centígrados
C*	Cromaticidad
°Fr	Grados franceses
μm	Micrometros

Índice de Figuras, Tablas y Fotografías

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estados fenológicos de melocotonero temprano (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch, cv. Flordastar, según código BBCH (números) y Baggiolini (letras) (Mounzer <i>et al.</i> ,2008).	18
Figura 2.2. Crecimiento en diámetro ecuatorial de frutos de: (A) albaricoquero (<i>Prunus armeniaca</i> (L.)) cv. Búlida (Pérez-Pastor, 2001) y (B) melocotonero temprano (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) cv. Flordastar (●) diámetro y (- -) velocidad de crecimiento relativa, VCR (Mounzer, 2005).	20
Figura 2.3. (A) Evolución de la producción (Mt, ●) y superficie de cultivo (ha, ●) de melocotón y nectarina en el mundo y (B) en Europa en el periodo 2010-2021. Fuente: FAOSTAT, 2023.	21
Figura 2.4. Evolución de la: (A) producción (Mt) y (B) superficie de cultivo (ha) de melocotón y nectarina en España en el periodo 2010-2021. Fuente: FAOSTAT, 2023.	22
Figura 3.1. Plano de situación y fotografías aéreas de la finca experimental del CEBAS-CSIC, en Santomera (Murcia) y de las parcelas experimentales de melocotoneros adultos (borde rojo) y nectarinos jóvenes (borde verde).	31
Figura 3.2. Proceso de edición de una imagen para la determinación de la cobertura foliar (CF) en nectarino: (A) Imagen original, (B) Depuración del dosel vegetal, (C) Imagen convertida en blanco y negro.	45
Figura 3.3. Parámetros para el cálculo del porcentaje de área sombreada: (A) altura de foco (F), altura del árbol que define su máxima envergadura vista desde el foco (H_D), diámetro del círculo ideal (D), diámetro del círculo corregido (D') y ángulo horizontal de visión (α), (B) Sombra efectiva en función del ángulo solar a mediodía.	46

Figura 4.1. Distribución de los tratamientos de carga productiva: carga comercial (CC, ●) y carga baja (CB, ●) en la parcela de melocotoneros adultos. 55

Figura 4.2. (A) Localización del tubo de minirrizotróon respecto al árbol y la superficie del suelo en la parcela de melocotoneros adultos, vista frontal, **(B)** Muestras de suelo (●), distancia respecto al árbol vista cenital (● gotero). 58

Figura 4.3. (A) Relación entre los datos de DLR de melocotoneros adultos de carga comercial calculados en base al número de puntos de raíz (DLR_P) y a la longitud de raíz (DLR_L). Los datos corresponden a la profundidad de 40 - 55 cm, **(B)** Relación entre los datos de DLR evaluados como raíces totales y raíces nuevas, **(C)** Relación entre los datos de DLR obtenidos con minirrizotrones y con muestras de suelo. Los números en los puntos corresponden a la profundidad (cm). *** ($p \leq 0,001$). 61

Figura 4.4. (A) Evapotranspiración del cultivo (ET_c) de melocotoneros, **(B)** Evolución estacional del peso del fruto (●), la longitud de los ramos (▲), el diámetro del tronco (■) y longitud de la raíz (▼) de melocotoneros adultos en el tratamiento de carga comercial, expresado en porcentaje del crecimiento anual y **(C)** en velocidad de crecimiento diario. 63

Figura 4.5. Potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo}) en melocotoneros con carga comercial (CC, ●) y carga baja (CB, ○). Las barras sobre los puntos son \pm ES de la media (n=4). 64

Figura 4.6. Crecimiento estacional de: **(A)** frutos (peso seco), **(B)** ramos (longitud), **(C)** raíces (longitud) en el perfil 0-100 cm y **(C')** a lo largo del perfil a final de junio, de melocotoneros adultos con carga comercial (●) y carga baja (○). Las barras sobre los puntos son \pm error estándar (n=4, frutos y ramos; n=3, raíces). 65

Figura 5.1. Distribución de los tratamientos de: AMF, inoculados con micorrizas (fondo verde) y CONTROL: sin inocular (fondo blanco) en la parcela de nectarinos jóvenes. O: Árbol equipado con minirrizotróon. 77

Figura 5.2. Posición del tubo de minirrizotrófon de 1,8 m de longitud y diámetro interior de 0,06 m en el perfil de suelo 0 - 100 cm. La línea horizontal indica la disposición de emisores (rectángulos negros) respecto al tronco de nectarino (4 emisores por árbol)..... **79**

Figura 5.3. Evolución estacional de: **(A)** Evapotranspiración de referencia (ET_0), lluvia, y déficit de presión de vapor (DPV); y **(B)** Potencial hídrico del tallo a mediodía (Ψ_{tallo}) en nectarinos jóvenes en los tratamientos ensayados: inoculado con AMF y Control sin inocular. Las barras sobre los puntos son \pm ES de la media (n=6). PRE.: Precosecha. **82**

Figura 5.4. Evolución estacional de: **(A)** Evapotranspiración del cultivo (ET_c) y **(B)** Diámetro del fruto (estrellas rojas), longitud de los brotes (círculos verdes), diámetro del tronco (cuadrados marrones) y longitud de la raíz (triángulos grises) de nectarinos jóvenes durante el periodo experimental, expresados como porcentaje del crecimiento estacional. Períodos fenológicos indicados por POST (postcosecha), RI (reposo invernal) y PRE (precosecha). **83**

Figura 5.5. Crecimiento estacional (símbolos) y tasa de crecimiento diario (líneas) de: **(A)** Diámetro de fruto, **(B)** Longitud de brotes, **(C)** Diámetro de tronco y **(D)** Densidad de longitud de raíz (DLR) en el perfil de suelo 0 - 100 cm, en nectarinos jóvenes inoculados con AMF (●) y Control sin inocular (●). Las barras en los puntos de datos son \pm ES de la media (n=100 frutos, 16 brotes, 24 troncos y 4 minirrizotrones, respectivamente). Los asteriscos indican diferencias significativas en los valores de LDR según el test $MDS_{0,05}$. Períodos fenológicos indicados por POST (postcosecha), RI (reposo invernal) y PRE (precosecha)..... **85**

Figura 5.6. Perfiles de densidad de longitud de raíces (DLR) durante la estación de crecimiento en nectarinos jóvenes: **(A)** Inoculados con AMF y **(B)** Control, sin inocular, (1) al principio (●, ▲, DLR_{inicial}) y al final (○, △, DLR_{final}) del periodo experimental y (2) a lo largo de la estación de crecimiento (n=23 medidas). Las barras horizontales en los puntos de datos son \pm ES de la media (n=4). **86**

Figura 5.7. Longitud de las raíces a diferentes profundidades del suelo en: **(A)** nectarinos jóvenes inoculados con AMF y **(B)** Control sin inocular, al final del periodo vegetativo (30 de abril) para cada diámetro de raíz: D1 < 0,5 mm (barras grises); D2: 0,5-2 mm (barras blancas); D3 > 2 mm (barras negras). Las barras verticales son + ES de la media (n=4)..... **87**

Figura 5.8. Peso de poda (materia seca) de poda en verde o de verano (barras negras) y de invierno (barras blancas) en nectarinos jóvenes inoculados con AMF y Control sin inocular. Las barras verticales son + ES de la media (n=6). La letra 'a' indica que no hay diferencias significativas entre tratamientos para cada tipo de poda según MDS_{0,05}. **88**

Figura 5.9. **(A)** Índice de materia seca (%) de raíces, copa, frutos y tronco; y **(B)** Ratio parte aérea/raíz en árboles de nectarinos jóvenes inoculados con AMF (barras rojas) y Control sin inocular (barras azules) al final del experimento. **91**

Figura 6.1. Ciclo de crecimiento de *Prunus persica* (mayo 2012 - mayo 2013). PV: poda en verde y PI: poda de invierno. **101**

Figura 6.2. Poda total (kg materia seca (MS) árbol⁻¹) de: **(A)** melocotoneros adultos y **(B)** nectarinos jóvenes en los tratamientos de poda en verde (PV, rojo) y poda de invierno (PV, azul). Las letras mayúsculas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, considerando la poda total (PV + PI) y las letras minúsculas considerando solo la poda de invierno (PI). Los datos son la media de 4 repeticiones. **105**

Figura 6.3. Relación entre la cobertura foliar estimada con imágenes cenitales y sombra real en melocotoneros adultos y nectarinos jóvenes (julio). MP: Marco de plantación..... **105**

Figura 6.4. Evolución de la cobertura foliar (CF, %) en los tratamientos PV (rojo) y PI (azul) para **(A)** melocotoneros adultos y **(B)** nectarinos jóvenes. Las líneas verticales discontinuas delimitan los periodos fenológicos. Las flechas indican cuándo se realizó la poda en verde. Las barras sobre los puntos son ± ES de la

media (n=4). Los asteriscos indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos PV y PI según el test $MDS_{0,05}$. Los datos fueron previamente transformados por $\arcsen \sqrt{\%}$ **106**

Figura 6.5. (A) Evapotranspiración diaria de referencia (ET_0 , mm día⁻¹) y precipitación (mm día⁻¹) durante el periodo de estudio y **(B)** Diferencia de potencial hídrico del tallo al mediodía (Ψ_{tallo} , MPa) entre los tratamientos PV (Ψ_{PV}) y PI (Ψ_{PI}) para melocotoneros adultos (○) y nectarinos jóvenes (●). Las barras sobre los puntos son \pm ES de la media (n=4). Las líneas de puntos verticales delimitan los periodos fenológicos. **108**

Figura 6.6. Relación entre el potencial hídrico del tallo (Ψ_{tallo} , MPa) y el porcentaje de cobertura foliar (CF) en melocotoneros adultos (○) y nectarinos jóvenes (●). Valores de los tratamientos PV y PI obtenidos durante la Postcosecha-I. **: $p \leq 0,01$ y *** $p \leq 0,001$ **109**

Figura 6.7. Distribución de calibres (% de categoría comercial) en la cosecha para cada tratamiento de poda: PI (poda de invierno) y PV (poda en verde) para: **(A)** melocotoneros adultos; y **(B)** nectarinos jóvenes. Letras distintas denotan diferencias significativas entre los tratamientos PV y PI según el test $MDS_{0,05}$. Las barras verticales son + ES de la media (n=4). Los datos se transformaron previamente en $\arcsen \sqrt{\%}$ **111**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Análisis textural del suelo de las parcelas experimentales.	34
Tabla 3.2. Análisis físico-químico del suelo de las parcelas experimentales.	34
Tabla 3.3. Análisis del agua de riego empleada en la parcela experimental (valores medios durante el periodo experimental).	35
Tabla 3.4. Programa de fertilización (kg ha ⁻¹) aplicado para los melocotoneros Flordastar de 4 años de edad.....	36
Tabla 3.5. Valores medios mensuales de temperatura del aire máxima (T _{máx}), mínima (T _{min}) y media (T _{med}), humedad relativa media (HR _{med}), lluvia, evapotranspiración de referencia (ET ₀), velocidad del viento (a 2 m) y radiación global diurna (R _g) en la finca del CEBAS-CSIC en Santomera durante el periodo experimental: 2010, 2011, 2012 y 2013.	38
Tabla 4.1. Efecto de la carga productiva en la producción, calidad de melocotoneros (mayo, 2010).	66
Tabla 4.2. Efecto de la carga productiva en la distribución de calibres en melocotoneros (mayo, 2010).....	66
Tabla 5.1. Parámetros productivos en los tratamientos inoculados con AMF y Control sin inocular de nectarinos jóvenes.....	89
Tabla 5.2. Valores medios de calidad del fruto en la cosecha para los tratamientos AMF y Control en nectarinos jóvenes.....	90
Tabla 6.1. Efectos de la poda de invierno (PI) y en verde (PV) sobre los parámetros productivos de árboles adultos y jóvenes. Medias ± ES (n=4).	110

Tabla 6.2. Efectos de la poda en verde (PI) y de invierno (PV) sobre los atributos físico-químicos de calidad de melocotoneros adultos y nectarinos jóvenes. Medias \pm ES (n=4) **110**

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1. (A) Árbol y (B) fruto de melocón Fordastar.	14
Fotografía 2.2. (A) Árbol y (B) fruto de nectarino Flariba.	15
Fotografía 3.1. (A) Vista general de la parcela de melocotoneros adultos Flordastar, (B) Detalle del fruto.	32
Fotografía 3.2. (A) Vista general de la parcela de nectarino joven Flariba, (B) Detalle de fruto.	33
Fotografía 3.3. Estación meteorológica automática en la finca experimental del CEBAS.	37
Fotografía 3.4. (A) Cámara de presión utilizada para la medida del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) y (B) Detalle de una hoja tapada en el árbol de melocotonero.	41
Fotografía 3.5. (A) Minirrizotrón antes de su instalación en el suelo (1,4 m tubo transparente + 0,4 m blanco), (B) Equipo perforador durante la instalación, (C) Escáner circular, (D) Equipos para la medida de raíces en campo: minirrizotrón, escáner con varilla, ordenador portátil, (E) Medida de DLR en el suelo de un nectarino.	42
Fotografía 3.6. Dendrómetro instalado en el tronco de un melocotonero.	44
Fotografía 3.7. Medida de crecimiento del diámetro del fruto (nectarino) en árbol utilizando un calibre digital (CRAFSTMAN).	47
Fotografía 3.8. Medida de parámetros físicos de calidad del fruto: (A) Vista general de los frutos en el laboratorio (B) Diámetro ecuatorial con calibre digital, (C) Peso unitario nectarina, (D) Peso unitario melocotón, (E) Color con colorímetro y (F) Sólidos solubles totales con refractómetro.	49
Fotografía 4.1. (A) Carga comercial y (B) Carga baja en melocotoneros adultos.	55

Fotografía 4.2. (A) Recolección de melocotón. **(B)** Distribución de calibres en campo. **59**

Fotografía 5.1. Detalle de nectarinos jóvenes cv. Flariba (2011). **76**

Fotografía 5.2. Detalle de raíces micorrizadas con *Glomus iranicum* var. *Tenuihypharum*. Fuente: www.symborg.com. **78**

Fotografía 6.1. (A) Melocotón ‘Flordastar’ **(B)** Nectarina ‘Flariba’. **100**

Fotografía 6.2. (A) Detalle de árboles tras la poda en verde y **(B)** Poda de invierno, en melocotoneros adultos. **101**