

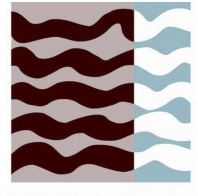


Universidad
Politécnica
de Cartagena



UPCT

Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Agronómica



ETSIA

*Máster Universitario
en Técnicas Avanzadas en Investigación
y Desarrollo Agrario y Alimentario*

Efecto del Riego Deficitario Controlado en
albaricoquero

Autor: D. Pedro Hernández Ariola

Dirección: D. Alejandro Galindo Egea

Codirección: D. José Alberto Acosta Avilés

Cartagena, septiembre de 2023

ÍNDICE

1. RESUMEN/ABSTRACT	1
2. INTRODUCCIÓN	1
3. OBJETIVO	4
4. MATERIAL Y MÉTODOS	5
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
5.1. ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO	8
5.1.1. CONTENIDO VOLUMÉTRICO EN AGUA.....	8
5.1.2. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y FOTOSÍNTESIS NETA.....	10
5.1.3. POTENCIAL HÍDRICO	13
5.2. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO	15
5.2.1. CRECIMIENTO VEGETATIVO	15
5.2.2. EVOLUCIÓN DE YEMAS FLORALES	18
5.2.3. EFICIENCIA PRODUCTIVA.....	21
5.3. CALIDAD DE FRUTA.....	23
5.3.1. PARÁMETROS COLORIMÉTRICOS	23
5.3.2. PESO Y DIMENSIONES DE FRUTA	24
5.3.3. DURABILIDAD FRUTA	26
5.3.4. ÍNDICES QUÍMICOS	27
6. CONCLUSIÓN	28
7. BIBLIOGRAFÍA	28

1. RESUMEN/ABSTRACT

Dentro de las estrategias de riego dedicadas al ahorro de agua empleada en la producción agrícola, las estrategias de Riego Deficitario Controlado (“Regulated Deficit Irrigation”, RDI) son una aproximación acertada para afrontar la escasez de agua implícita en el cultivo de frutales de hueso en clima semiárido. Su aplicación en albaricoquero ha sido ampliamente estudiada, habiéndose optimizado sus parámetros en base a la respuesta fisiológica de la planta por medio de diferentes indicadores de estado hídrico del cultivo, siendo el más robusto de ellos el potencial hídrico. Los resultados indican para variedades de diferente localización geográfica que la reducción de la dotación hídrica del cultivo durante periodos no críticos para el desarrollo de la yema floral o el crecimiento del fruto no merman significativamente la producción, pero sí se da una reducción en el crecimiento vegetativo, lo cual reporta otra serie de beneficios en el manejo del cultivo. Además, las estrategias RDI también provocan un impacto positivo en la calidad final de la fruta en cuanto a su durabilidad y propiedades organolépticas. En este Trabajo Fin de Máster se presenta una recopilación de los resultados más relevantes relacionados con el uso de estrategias RDI en albaricoquero.

Within irrigation strategies designed to save water during agronomical production, Regulated Deficit Irrigation (RDI) strategies are a suitable approach to cope with water scarcity in stone fruit crops under semiarid conditions. Its use on apricot has been widely studied, optimizing each parameter based on plant’s physiologic response by crop water status indicators, where water potential is the strongest indicator. For many apricot varieties in multiple geographic locations, results show that whenever water reduction is applied during floral bud development or fruit growth non critical periods, crop production is not significantly depleted, although vegetative growth lessens, which implicates other benefits on crop managing. Also, RDI strategies have a positive impact on fruit quality related to their storage and some organoleptic properties. In this Trabajo Fin de Máster results involving RDI strategies on apricot are compiled.

2. INTRODUCCIÓN

La agricultura en zonas semiáridas actualmente afronta un grave problema de escasez de agua. Las hectáreas reservadas al cultivo de hortalizas y frutales a lo largo del Mediterráneo se ven afectadas por sequías cada vez más severas debido al cambio climático (Berbel & Esteban, 2019; Torrecillas *et al.*, 2000). En estas regiones existe una larga tradición de agricultura en secano, por lo que no es extraño encontrar cultivos que presentan mecanismos de resistencia a la sequía, como es el caso de especies de frutal de hueso del género *Prunus* como son el ciruelo (*Prunus domestica*

L.), el melocotón (*Prunus persica* L.) y el albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.) (Torrecillas *et al.*, 1999). Este último es de origen oriental, siendo Turquía el líder indiscutible en su cultivo, con 800.000 de toneladas producidas en 2021, que suponen un 26% de la producción total mundial (FAO, 2021) (**Figura 1**). España por su parte dedica 19.440 hectáreas al cultivo del albaricoque, produciendo 114.720 toneladas en 2021, lo cual supone el 4% de la producción total mundial (FAO, 2021), siendo uno de los países pioneros en el cultivo del albaricoque y focalizando su producción en las comunidades autónomas de la costa mediterránea, donde la Región de Murcia representa un 44% (40778 toneladas) de la producción nacional de albaricoque (MARM, 2022). Sin embargo, durante los últimos años se ha percibido una recesión en la producción de albaricoque (**Figura 2**). La Huerta de Murcia es considerada una de las zonas más secas del continente europeo (Pérez-Pastor *et al.*, 2014), y esta situación de escasez de agua no ha hecho sino avanzar por la presencia cada vez más palpable del cambio climático, la creciente demanda industrial de recursos hídricos y los cambios recientes en la regulación de la dotación hídrica por el trasvase Tajo-Segura (Morote Seguido & Rico Amorós, 2018). El precio del agua para el agricultor cada vez es más elevado y los precios de la fruta cada vez menos accesibles para el consumidor (Ballesta, 2023).

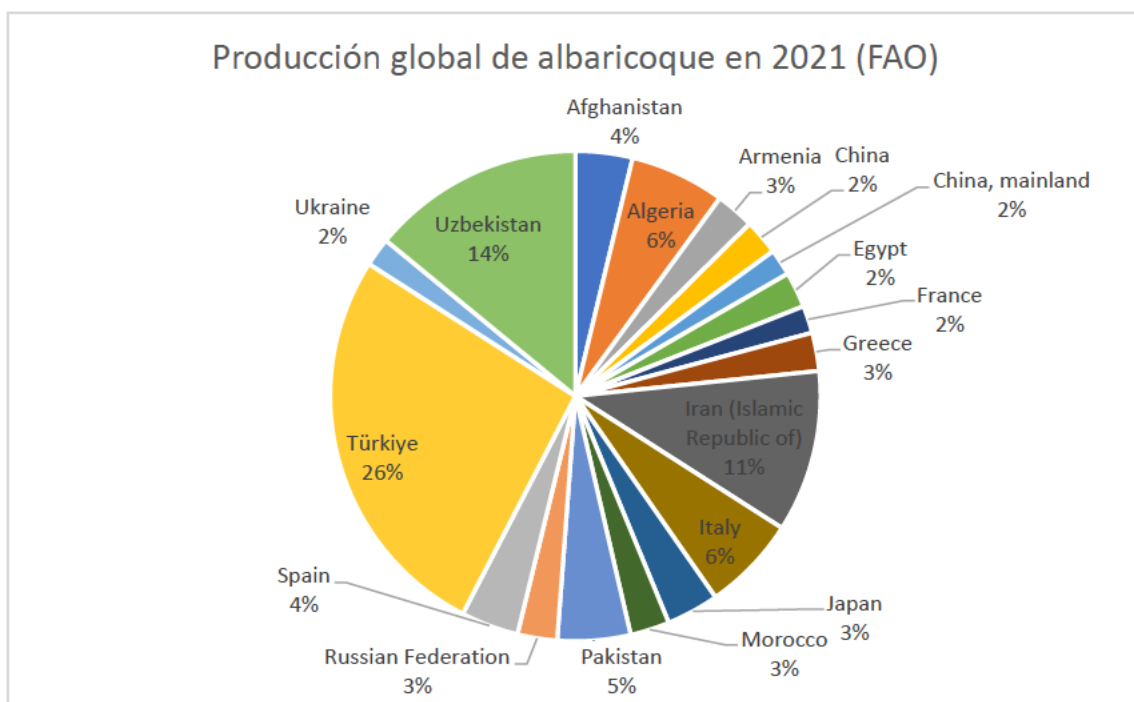


Figura 1. Principales naciones productoras de albaricoque. Cada sector representa el porcentaje de la producción global que suponen las toneladas de albaricoque producidas por cada nación. (Basado en la FAO (“Food and Agriculture Organization of the United Nations”), Agosto, 2023. Accesible en: [http://www.fao.org/faostat/en/#data/.](http://www.fao.org/faostat/en/#data/))

Desde finales del siglo XX se han creado y perfeccionado técnicas de riego capaces de reducir el agua aplicada sin afectar con ello a la producción (Chalmers *et al.*, 1981). El riego parcial de raíces (“Partial Root-zone Drying”, PRD) se ha aplicado en frutales de hueso, obteniendo resultados favorables; esta técnica se basa en alternar la zona del árbol donde es aplicado el riego, tratando de mantener hidratada durante un periodo límite de días únicamente una zona radicular delimitada (Sepaskhah & Ahmadi, 2012). Por otra parte, existen las estrategias de déficit hídrico (“Deficit Irrigation”, DI), basadas en regar una parte proporcional de la evapotranspiración del cultivo (ETc), recortando así el agua suministrada, siendo la más prolifera el Riego Deficitario Controlado (“Regulated Deficit Irrigation”, RDI). El RDI consiste en reducir la cantidad de agua de riego durante periodos no críticos del desarrollo del fruto, es decir, aquellos en los que la escasez de agua no provoque un impacto negativo en la cantidad de fruta producida por el árbol (Sánchez-Blanco and Torrecillas, 1995). Para el albaricoquero, al igual que en otros frutales de hueso, se han categorizado como periodos críticos la fase III de crecimiento de fruto, que corresponde al momento de mayor intensidad de expansión del fruto (**Figura 3**), y la postcosecha temprana, donde ocurren eventos clave en el desarrollo de las yemas florales que darán lugar a los frutos de la cosecha del año siguiente (Torrecillas *et al.*, 2000); en ambos periodos las restricciones de riego pueden conllevar pérdidas drásticas en la producción, por lo que el principal aspecto que presentan las estrategias de RDI en frutales de hueso en común es asegurar que durante estos periodos críticos el cultivo esté en condiciones no limitantes de riego. Esta técnica ha dado buenos resultados en olivo (Moriani *et al.*, 2010), limonero (Domingo *et al.*, 1996) y melocotonero (Boland *et al.*, 1993), entre otros frutales.

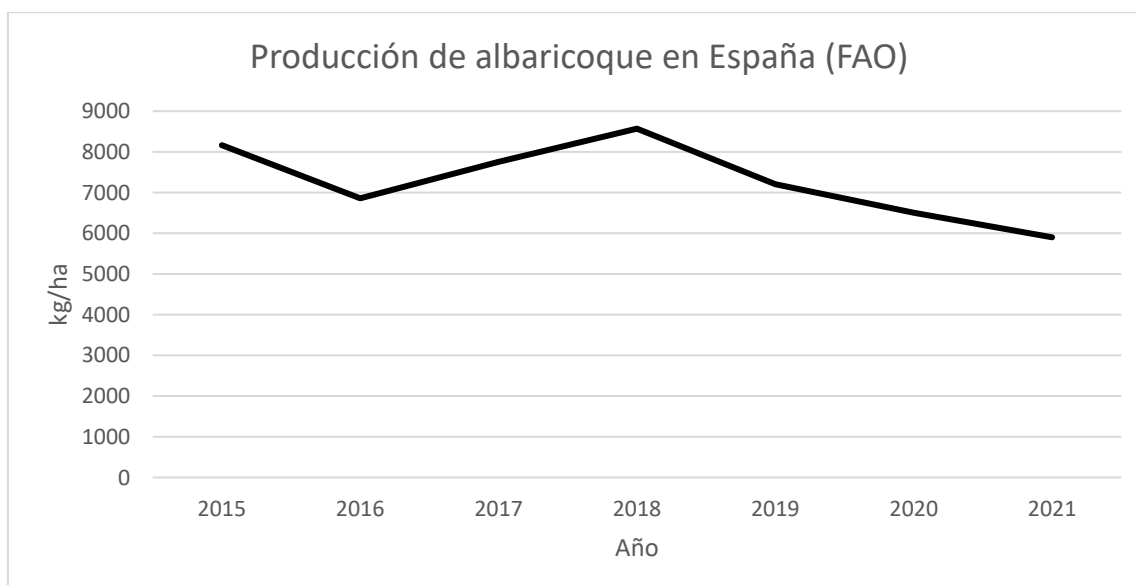


Figura 2. Producción total de albaricoques en España entre 2015 y 2021. (Basado en la FAO (“Food and Agriculture Organization of the United Nations”), Agosto, 2023. Accesible en: [http://www.fao.org/faostat/en/#data/.](http://www.fao.org/faostat/en/#data/))

En este Trabajo Fin de Máster se ha recopilado y evaluado la información más relevante respecto de esta técnica de riego en albaricoquero, incluyendo artículos que datan del 1990 hasta la actualidad en los que se ha trabajado con diferentes variedades y múltiples condiciones edafoclimáticas, todo con el propósito de esclarecer los puntos clave del uso de esta técnica para facilitar su aplicación por los agricultores ante la problemática planteada.

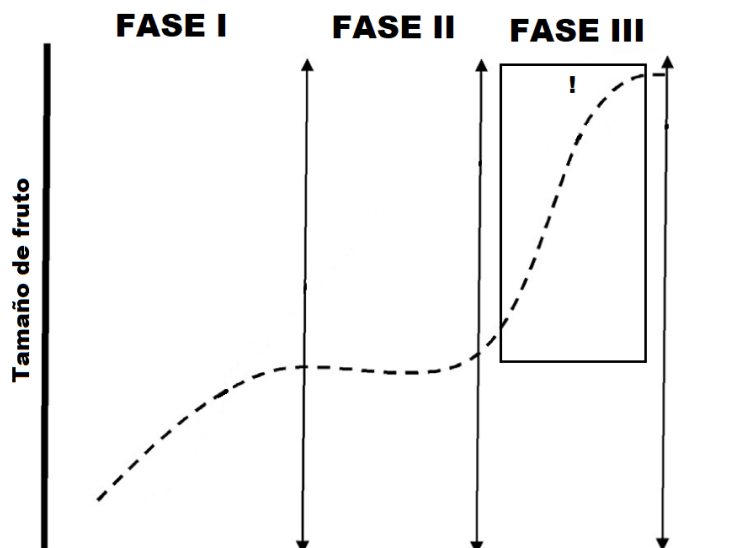


Figura 3. Patrón de crecimiento característico de una fruta de hueso, diferenciando las tres fases fenológicas principales. El recuadro indica el periodo crítico de crecimiento rápido del fruto donde el cultivo es mantenido en condiciones no limitantes de riego en las estrategias de RDI.

3. OBJETIVO

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es el de analizar y evaluar cómo el RDI influye en 3 grandes aspectos del cultivo: I) el estado hídrico del cultivo, como representación de la respuesta fisiológica a la falta de disponibilidad de agua; II) la productividad del cultivo, es decir, el rendimiento con el que los albaricoqueros producen albaricoques; III) la calidad de la fruta, que representa el impacto sobre el valor comercial del producto.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología empleada para elaborar este Trabajo Fin de Máster bibliográfico está inspirada en la metodología PRISMA 2020, que es descrita en Page *et al.* (2021), por lo que se tratarán de cubrir en este apartado todos los detalles del proceso de búsqueda bibliográfica y síntesis de la información siguiendo sus indicaciones.

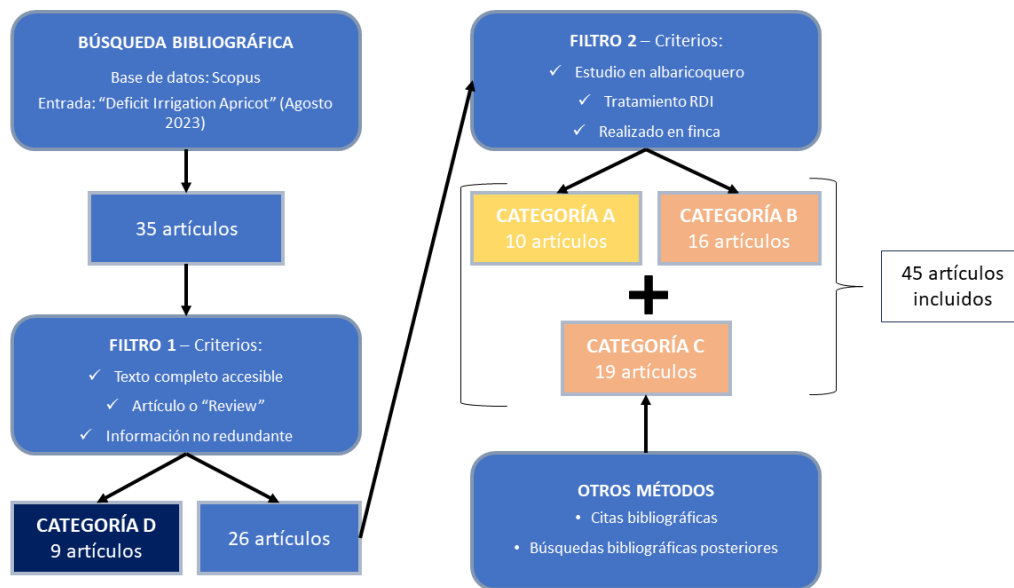


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de adquisición y selección de la literatura científica incluida en este trabajo. Los artículos se distribuyeron en 4 categorías: A, compuesta por los artículos finalistas de la búsqueda bibliográfica, cuya información es aprovechada al completo y de los que se extraen datos brutos; B, compuesta por los artículos finalistas de la búsqueda bibliográfica, cuya información es aprovechada al completo pero de los que no se extraen datos brutos; C, formada por artículos adquiridos por otros métodos distintos de la búsqueda bibliográfica y cuya información es aprovechada convenientemente; D, categoría a la que pertenecen los artículos descartados en la búsqueda bibliográfica.

Se utilizó Scopus, que es una de las bases de datos de literatura científica más grandes en la actualidad y cuyo acceso se me ha proporcionado por la Universidad Miguel Hernández. La búsqueda bibliográfica se realizó durante la segunda semana de agosto de 2023, introduciendo en la barra de búsqueda las palabras "Deficit irrigation apricot". Para la visualización de resultados no se aplicaron filtros automatizados ofrecidos por el menú de búsqueda y los artículos que resultaron de la búsqueda se ordenaron desde el más antiguo hasta el más reciente. Se accedió a la entrada de cada artículo para recuperar el texto completo y revisar su contenido (título, "abstract" y descripción de tratamientos de riego en el diseño experimental). Aquí aparece el primer filtro al que se sometieron los 35 artículos iniciales ofrecidos por la base de datos, basado en cumplir 3 requisitos: se tiene que poder acceder al texto completo del artículo, debe ser categorizado como artículo científico o "review" y sus resultados no pueden ser redundantes con

otros artículos. Este filtro redujo el número de artículos a 26, quedando los 9 descartados relegados en la categoría D (**Figura 4**). Un ejemplo de artículo que no cumplió el tercer requisito (redundancia) se da en “*Effects of regulated deficit irrigation on physiology and fruit quality in apricot trees*” de Pérez-Sarmiento *et al.* (2010), cuyos resultados son incorporados, mostrados y contrastados en “*Effects of regulated deficit irrigation on physiology and fruit quality in apricot trees under mediterranean conditions*” de Pérez-Sarmiento *et al.* (2016), con un más amplio abanico de resultados, devaluando la información aportada por el primero y por ello siendo descartado.

Los artículos no descartados al aplicar el primer filtro (26) pasaron por una nueva evaluación en la que los requisitos a cumplimentar fueron: el artículo debe de experimentar con albaricoqueros, debe aplicar RDI (reducción de riego distinguiendo para ello entre periodos críticos y no críticos (Torrecillas *et al.*, 2000)) y debe haberse realizado en una finca expuesta a las condiciones climáticas del lugar, ya sea experimental o comercial. Estos requisitos no son excluyentes, de tal forma que, si exploran el efecto sobre otros cultivos u otras técnicas de riego inclusive, los artículos son aceptados y agrupados en la categoría A, aunque dichos datos sean ignorados en el análisis de resultados. Todos los resultados referentes a RDI en albaricoquero contenidos en los artículos de la categoría A fueron desglosados e incorporados a una base de datos en Excel creada exclusivamente para facilitar el estudio comparativo de los resultados brutos de diversos estudios. Esta base de datos ha sido diseñada meticulosamente para adaptar las características de todo tipo de RDI, como los periodos de los que se compone y su extensión, el grado de reducción de agua de cada periodo y el % de agua ahorrada en la temporada. A su vez, cada resultado se registró manualmente y quedó referenciado al tipo de RDI aplicado, acompañado también de una serie de metadatos entre los que se encuentran el artículo del que procede, los años del periodo experimental, la variedad probada, el suelo donde se plantó, la influencia de la climatología, la significancia de los resultados, etc. En el proceso de recopilación el diseño experimental, metodología empleada o el tratamiento estadístico de los datos no fue motivo de exclusión de ningún artículo candidato. No obstante, el formato con el que los datos fueron presentados en algún artículo de esta categoría fue incompatible con el de la base de datos, de tal forma que se movieron a la categoría B, conformándose finalmente la categoría A por 10 artículos cuya información computó en el apartado de “Resultados y Discusión”. La información contenida en los artículos de la categoría B se empleó igualmente en este apartado, pero haciendo alusión a la discusión de los resultados, con el objetivo de así responder al comportamiento de los albaricoqueros bajo el estrés hídrico, no extrayéndose sus datos brutos para compararlos con los artículos de la categoría A; finalmente, esta categoría se compuso de 16 artículos (**Figura 4**). Adicionalmente, durante la elaboración de cada apartado de “Resultados y Discusión” se complementó la información otorgada por los artículos de la categoría A y B con información de

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ESTADO HÍDRICO DEL CULTIVO

Entendiendo el cultivo como el conjunto de la planta completa y el suelo de su marco de plantación, concebimos el estado hídrico del cultivo como la respuesta del vegetal al agua disponible en su entorno, la cual resulta del balance hídrico entre las entradas (riego y precipitaciones) y las salidas (transpiración y drenaje). Es por ello que los parámetros relacionados con el estado hídrico son esencialmente indicadores del estado fisiológico de la planta.

Con el desarrollo del conocimiento sobre el efecto del agua sobre la fisiología vegetal han ido apareciendo nuevas metodologías con las que cuantificar el estado hídrico, ampliando el catálogo de indicadores medibles. El uso del agua en la agricultura se ha valido durante los últimos 40 años de indicadores de estado hídrico con el fin de adaptarse a las necesidades del cultivo para diseñar estrategias óptimas de riego (Pereira, 1999). Algunos de ellos dan respuesta principalmente a la influencia del agua en los tejidos y otros lo hacen sobre el efecto general del estrés abiótico en la planta y, por ende, sobre el estrés hídrico (Jones, 2004). Sin embargo, con la aparición de nuevas metodologías también lo ha hecho el interés de la comunidad científica por contrastar hasta qué punto la información que proporcionan sobre el cultivo representa fielmente el estado fisiológico de la planta y cuán útiles son para gestionar eficientemente el uso del agua. Actualmente la discusión sobre la validez de los indicadores disponibles ha influido en la tendencia de los investigadores a emplear metodologías que se adapten mejor a la especie de estudio (Parkash & Singh, 2020).

En este apartado se revisarán todos los indicadores de estado hídrico medidos en albaricoquero, desentrañando la respuesta fisiológica con la que están relacionados y discutiendo la utilidad que pueden ofrecer en las estrategias de RDI.

5.1.1. CONTENIDO VOLUMÉTRICO EN AGUA

El contenido volumétrico de agua en suelo (θ_v) es un indicador que cuantifica el volumen ocupado por el agua en una muestra de suelo. En función de la metodología empleada (sensores TDR o método gravimétrico), el volumen de suelo analizado puede tener un mayor o menor alcance (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016; Torrecillas *et al.*, 2000); dado que en los artículos consultados el objetivo es el de describir estado hídrico del cultivo a través de este

parámetro, las porciones de suelo analizadas coinciden la zona radicular activa del árbol (próximo al gotero y al árbol, cubriendo una profundidad de 1.4 m) (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Torrecillas *et al.*, 2000). Este tipo de medida es útil para conocer las características hídricas del terreno en el que están plantados los árboles y poder establecer umbrales de punto de marchitez permanente, capacidad de campo y conocer la porción de agua de la que disponen las plantas, todo ello en pos de gestionar mejor el riego.

Los datos del sumatorio de contenido volumétrico de agua en diferentes capas de suelo (hasta 1.4 m de profundidad) obtenidos por Torrecillas *et al.* (2000) y Pérez-Pastor *et al.* (2009) revelan la gran heterogeneidad que puede presentar una parcela experimental tanto en el espacio como en el tiempo, pues ambos estudios sobre la variedad Búlida se llevaron a cabo en la misma finca comercial de Mula (37°55'N, 1°25'W) en periodos de tiempo distintos (distribuidos entre 1994 y 2010) y los valores promedio del contenido volumétrico en agua para sus tratamientos control (riego al 100% de la ETc) fueron 450 y 290 mm, correspondientes a suelos de una textura categorizada como franco arcillosa y franca, respectivamente. Al aplicar los tratamientos RDI en sus respectivos experimentos, puede apreciarse una caída más drástica del contenido volumétrico de agua en suelo conforme mayor fue la reducción de riego y más se prolongó el periodo de aplicación. Esto podría ser una explicación a que, en términos absolutos, se provocaran reducciones más acusadas en los tratamientos de supresión de riego (reducción de en torno a 220 mm) (Torrecillas *et al.*, 2000) que en aquellos en los que se aplicó una reducción con respecto a la ETc (reducción de en torno a 90 mm) (Pérez-Pastor *et al.*, 2009); no obstante, no se puede ignorar el hecho de que son suelos que presentan texturas distintas y la conductividad hidráulica puede variar, por lo que la magnitud de las fluctuaciones en la cantidad de agua en el suelo no es directamente comparable. Otro factor influyente en la disminución de las reservas de agua fue la demanda evaporativa ya que, según los datos obtenidos por Torrecillas *et al.* (2000), los periodos de supresión durante la postcosecha (junio-julio) provocaron una mayor pérdida de agua que los aplicados durante la fase I de crecimiento del fruto (enero), donde las bajadas lejos de ser drásticas, con el pasar de los años, llegaron a ser estadísticamente no significativas. Esta tendencia también fue observada por Pérez-Sarmiento *et al.* (2016). El desarrollo de las raíces es estimulado en situaciones de sequía, provocando un aumento en la densidad de raíces pequeñas (<1 mm de diámetro), lo cual repercute en la estructura del suelo desarrollando un esqueleto radicular que favorezca la retención del agua, que queda disponible para el cultivo, y reduciendo el drenaje y los tiempos de recarga (Pérez-Pastor *et al.*, 2014). Sin embargo, el hecho de observar en tratamientos poco severos de RDI la estabilización del contenido volumétrico en agua en valores próximos a los de los controles podría deberse también a la influencia de las precipitaciones efectivas y/o al riego basado en un cálculo de la ETc para el que se emplean coeficientes de cultivo estáticos provenientes de bibliografía (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016;

Torrecillas *et al.*, 2000); ambos factores podrían influir en que se estuvieran aplicando riegos por encima de las necesidades hídricas del cultivo tanto en el control como en el tratamiento experimental, eliminando la posibilidad de evaluar el efecto fisiológico de la escasez de agua. En cuanto a los tiempos de recarga, desde el inicio de la rehidratación al final del tratamiento RDI hasta regresar a valores próximos al control, según el tratamiento y el estudio se tardó entre 4 y 9 días (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Torrecillas *et al.*, 2000).

Estos hechos evidencian la intensa dependencia del contenido volumétrico de agua en suelo a las características del suelo en cuestión, haciéndolo inconsistente si se pretende emplear para el control de riego en un suelo distinto al estandarizado. Además, si bien este indicador nos permite hacernos una idea del consumo de agua de la planta y con ello su actividad, es una relación indirecta y poco representativa del estado fisiológico de la planta.

5.1.2. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA Y FOTOSÍNTESIS NETA

La conductancia estomática (g_s) determina el grado de apertura de los estomas de una hoja, lo cual es medido a través de la intensidad del flujo gaseoso emitido desde el interior de la hoja al exterior (Pask, 2012). El mecanismo de oclusión y apertura de los estomas es el principal factor de regulación de la transpiración, que es la principal vía de pérdida de agua en la planta. Este mecanismo depende del turgor producido por el agua contenida en las células guarda que forman el poro, lo que pone de manifiesto su dependencia del estado hídrico de la planta y que, por ello, se emplee como un indicador. La entrada y salida de agua en las células guarda es influida por la concentración de solutos como la sacarosa o el sorbitol, metabolitos de reserva producto de la fotosíntesis (Bartolini *et al.*, 2020). La estrecha relación entre la conductancia estomática y la intensidad de la actividad fotosintética justifican la medida de la fotosíntesis neta (P_n) como otro indicador del estado hídrico de la planta (Losciale *et al.*, 2023).

Los albaricoqueros de la variedad Búlida bajo las condiciones ambientales de la Región de Murcia mostraron un valor promedio de conductancia estomática de $130 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en condiciones no limitantes de riego (tratamientos control; 100% ETc) (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016; Torrecillas *et al.*, 2000). En los tratamientos de RDI, durante los periodos de reducción de la dotación hídrica, en función de la severidad con la que se redujo el riego se provocó una respuesta significativa en la planta o no. Tratamientos de supresión completa del riego o una reducción al 25% de la ETc mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al control, con una reducción aproximada del 75% de la conductancia estomática (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016; Torrecillas *et al.*, 2000). Cuando Pérez-Sarmiento *et al.* (2016) aplicó

reducciones de la ETc menos severas (>40 %) en diferentes periodos fenológicos no críticos (fase III de crecimiento de fruto y postcosecha temprana) la reducción con respecto al control fue despreciable. De igual manera ocurrió con la fotosíntesis neta que, mostrando un promedio de $7,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en árboles regados al 100% de la ETc, únicamente se alcanzan reducciones estadísticamente significativas cuando la reducción de riego es del 25% de la ETc ($1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Al reanudar el riego control durante los periodos fenológicos críticos en los árboles sometidos a RDI, la conductancia estomática tardó entre 8 y 15 días en recobrar los valores de los árboles en condiciones no limitantes de riego, siendo un indicador de mayor tiempo de respuesta que la fotosíntesis neta (Pérez-Pastor *et al.*, 2009).

Los resultados indican que el déficit hídrico aminora el intercambio gaseoso entre la hoja y la atmósfera (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016; Torrecillas *et al.*, 2000). La oclusión de los estomas constituye un mecanismo de resistencia a la sequía observado en albaricoqueros y otros frutales de hueso que pretende anular la pérdida de agua que experimenta la planta cuando existe un desbalance entre el agua absorbida por la zona radicular y la expulsada por la transpiración (Torrecillas *et al.*, 2018). Al cerrar los estomas, aumenta la resistencia hidráulica de la planta, evitando que se puedan provocar fenómenos de cavitación en los haces vasculares (Nicolás *et al.*, 2005). Conforme la hoja madura se ha observado un endurecimiento de las paredes de las células guarda así como el deterioro de los haces vasculares, dificultando las variaciones de turgor responsables de los movimientos de apertura y cierre, afectando negativamente a la capacidad de intercambio gaseoso (Nicolás *et al.*, 2005; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2007). Este efecto junto con una mayor demanda evaporativa durante los periodos de postcosecha (julio-septiembre) podrían dar una explicación a las reducciones más acusadas de la conductancia estomática presenciadas por Torrecillas *et al.* (2000). A su vez también disminuye el flujo de CO_2 atmosférico que ingresa en la hoja (Bozkurt *et al.*, 2015), lo cual explicaría los paralelismos en la fluctuación de ambos indicadores con la reducción de riego (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016), pues la escasez de CO_2 en la cadena de transporte electrónico del fotosistema PSII provoca una bajada en su rendimiento (Losciale *et al.*, 2023), resultando en valores más bajos de fotosíntesis neta.

Sin embargo, los resultados no son significativos a no ser que el estrés hídrico sea severo (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Pasquale *et al.* (2023) caracterizó los mecanismos de resistencia a la sequía en la variedad Portici, relacionando para ello múltiples indicadores de estado hídrico y finalmente concluyó en que los albaricoqueros presentan una tendencia an-isohídrica para combatir la escasez de agua, es decir, pese a estar sufriendo estrés sus estomas realizan ajustes osmóticos para compensar el bajo potencial de turgor y poder permanecer abiertos (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2000), no entorpeciendo la transpiración. Pero este comportamiento se considera una “tendencia” ya que es limitado el estrés hídrico que puede soportar la planta antes de cerrar sus estomas. La interrupción de la transpiración repercute en una peor capacidad de enfriamiento de

la hoja ante el calor inducido por la radiación solar, fenómeno a partir del que se están desarrollando modelos matemáticos para calcular la conductancia estomática y la fotosíntesis neta en función de la diferencia entre la temperatura de la hoja y la del aire circundante (Losciale *et al.*, 2023). Otro efecto negativo para la hoja asociado al cese de la conductancia estomática es el daño oxidativo, que se manifiesta con la acumulación de elevadas concentraciones de prolina y una mayor actividad enzimática antioxidante (Ezzat *et al.*, 2021; Joody, 2020). La acumulación de especies reactivas de oxígeno está relacionado con la activación de procesos metabólicos secundarios como la fotorrespiración, impulsados por el desequilibrio entre el exceso de energía producida por los fotosistemas y escasez de moléculas aceptoras de electrones (CO₂) (Losciale *et al.*, 2023). Además de las hojas, otros órganos vegetales también son afectados por la aneja de la planta a la atmósfera y su consecuente disminución de biosíntesis. Los resultados del estudio de Ezzat *et al.* (2021) revelan en la variedad Canino una caída en los niveles de carbohidratos solubles no estructurales en tallo de del 15% y 17% aplicando una reducción de riego del 50% y 25% de la ETC, respectivamente. La reducción en la asimilación de carbono repercute en el crecimiento vegetativo y del fruto, como se verá en próximos apartados.

La conciencia del efecto negativo para el cultivo que acarrea la oclusión estomática ha promovido el desarrollo de estrategias para evitarlo. El uso de mallas sobre la plantación permite distribuir de forma más uniforme la radiación solar, reducir las turbulencias y la demanda evaporativa (Nicolás *et al.*, 2005); esto permite dilatar el rango de sequía que es capaz de soportar la planta antes de cerrar sus estomas (Barradas *et al.*, 2005). Sin embargo, el sombreado constante por la malla podría afectar a la producción de las fitohormonas encargadas del desarrollo de los haces vasculares (Bartolini *et al.*, 2020). Por otra parte, Ruiz-Sánchez *et al.* (2000) propone la aplicación de pretratamientos de estrés hídrico controlado para inducir la activación de mecanismos de resistencia adaptativos como la defoliación parcial, cuyo objetivo se basa en la disminución de la transpiración para conservar el poco agua del que dispone la planta pero evitando la actuación de mecanismos de resistencia evasivos como lo son la epinastia (curvatura de la hoja para reducir el ángulo de impacto de la radiación) o el cierre estomático. También existen estudios en la dirección opuesta, apostando por la aplicación de antitranspirantes en la superficie foliar tratando así de estimular el cierre de los estomas para prevenir a los albaricoqueros del estrés hídrico (Joody, 2020).

El mayor inconveniente de la conductancia estomática como indicador del estado hídrico del cultivo se basa en su lento tiempo de respuesta, que puede llegar a ser de hasta dos semanas de retraso. Esto es debido a la tendencia an-isohídrica inherente del albaricoquero por la que prioriza mantener estables los niveles de conductancia estomática incluso cuando está siendo estresado, lo que hace que los efectos del déficit hídrico sobre la conductancia estomática se aprecien únicamente cuando el estrés es muy severo o prolongado en el tiempo. Dado que la fotosíntesis

neta es fuertemente influida por el rendimiento de asimilación de CO₂, que a su vez depende del grado de apertura estomática, aunque ha demostrado tener un tiempo de respuesta un poco más corto, presenta el mismo inconveniente principal a la hora de computar como un indicador de estado hídrico.

5.1.3. POTENCIAL HÍDRICO

El potencial hídrico (Ψ) describe el estado energético del agua y la tendencia que presenta a discurrir por el espacio que le rodea (Robbins & Dinneny, 2015). En 1965, Scholander *et al.* (1965) crea una metodología para medir el potencial hídrico de los tejidos de la planta mediante la aplicación creciente de presión en una cámara hermética. Pronto el potencial hídrico pasaría a ser un indicador esencial del estado hídrico del cultivo pues basa su fundamento en el comportamiento inherente del agua en tejidos vegetales según principios físicos y termodinámicos, permitiendo representar el estado fisiológico del vegetal de forma fiel a la realidad (Jones, 1990).

En la mayoría de los artículos revisados en este Trabajo Fin de Máster la metodología predilecta para conocer la respuesta a la reducción del riego fue la medida de potencial hídrico en hoja, haciéndose una remarcada distinción en si este es medido al alba, es decir, antes del amanecer, o al mediodía. El valor promedio de potencial hídrico de hoja al alba en albaricoqueros cv. Búlida se sitúa en torno a -0,6 MPa en árboles en condiciones no limitantes de riego. Cuando son sometidos a RDI, durante los periodos de reducción de riego el potencial desciende hasta -1,0 MPa aproximadamente, presentando máximos absolutos en postcosecha (**Tabla 1**) (Pérez-Pastor *et al.*, 2007, 2009, 2014; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016; Torrecillas *et al.*, 2000). En cuanto al potencial hídrico de hoja al mediodía, presentó un valor promedio en los árboles control inferior al medido al alba (valor promedio: -1.5 MPa), descendiendo cuando se regó por debajo del 100% de la ETc (valor promedio: -2.0 MPa), también presentando valores más negativos tanto para el control como para los tratamientos de riego durante los periodos postcosecha (Pérez-Pastor *et al.*, 2009, 2014; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Los datos presentados evidencian la influencia de la demanda evaporativa sobre el potencial de hoja, ya que cuando hay transpiración activa y el entorno está más seco, los potenciales más negativos representan el mayor nivel de estrés de las plantas al mediodía con respecto a antes de la salida del sol (Pérez-Pastor *et al.*, 2009). Sin embargo, el potencial de hoja al mediodía sólo fue significativo con respecto al control cuando se aplicaron reducciones severas en la dotación hídrica, no siendo sensible para cambios menores en la cantidad de riego aplicada para los que el potencial hídrico en hoja medido al alba sí lo fue (Pérez-Pastor *et al.*, 2014; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Estudios de evolución del potencial de hoja con el paso de las horas indican la existencia de una meseta donde el potencial no disminuye

más hasta la tarde y una posible explicación sería el traspaso de las reservas de agua del tronco hacia las hojas (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2007), provocando una contracción en el tronco considerada en sí misma un indicador del estado hídrico del cultivo medible, estandarizable y útil en el control de riego (Torrecillas *et al.*, 2018); contracciones más amplias están relacionadas con una situación de mayor estrés hídrico (De Swaef *et al.*, 2009; Nicolás *et al.*, 2005). En cuanto al tiempo de respuesta, se alcanzaron los valores del control en la rehidratación de los cultivos con un desfase de entre 3 y 6 días (Torrecillas *et al.*, 2000).

Tabla 1. Umbrales de mínimo potencial hídrico de hoja al alba (estrés hídrico) obtenidos durante cada fase fenológica del cultivo para los que no se perjudicó la cosecha, diferenciando aquellos provenientes de unas condiciones no limitantes de riego ("Full Irrigation", FI) o una situación de déficit hídrico ("Deficit Irrigation", DI).

Periodo	Umbral	Referencia
<i>Fases de crecimiento de fruto I y II</i>	-1,09 MPa (DI)	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
	-0,83 MPa (DI)	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
	-0,83 MPa (DI)	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)
<i>Fase de crecimiento de fruto III</i>	-0,60 MPa (FI)	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
<i>Postcosecha temprana</i>	-0,59 MPa (FI)	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
<i>Postcosecha tardía</i>	-3,12 MPa (DI)	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
	-1,01 MPa (DI)	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)

Para mitigar la influencia ambiental en la medida del potencial de hoja apareció un nuevo indicador basado en esta metodología: potencial hídrico en tallo. Su realización requiere de una previa cobertura de las hojas dentro de bolsas de aluminio para inducir el cierre estomático y prevenir así la pérdida de agua por transpiración, lo cual provoca que el potencial hídrico de los tejidos de la hoja se equilibre con el del tallo del que emerge (Choné *et al.*, 2001). Los resultados mostrados por Pérez-Sarmiento *et al.* (2016) confirman que se trata de un indicador más sensible que el de hoja, incluso en los periodos de baja demanda evaporativa. El valor promedio en los albaricoqueros cv. Búlida con riego control fue de -0.8 MPa, con valores absolutos más negativos en los periodos de postcosecha, donde también se dieron las mayores reducciones (hasta -1.4 MPa).

El potencial hídrico es una medida discreta y discontinua, pero además de permitirnos monitorizar el estado hídrico del cultivo puede aportar más información del estado fisiológico de la planta. Mediante el cálculo de la integral de estrés hídrico se puede cuantificar el estrés acumulado por el árbol durante el periodo de reducción de riego y esto a su vez relacionarlo con los efectos negativos sobre el cultivo que plantean el uso reiterado de estos tratamientos de riego deficitario, incluso fuera de fases fenológicas críticas (Pask, 2012). Para los albaricoqueros cv. Búlida se estableció un umbral de -140 MPa (que ocurriría regando por debajo del 20% de la ETc durante un par de meses sucesivos) por debajo del que se puede ver afectado considerablemente el crecimiento vegetal y la cosecha (Pérez-Pastor *et al.*, 2014).

Con respecto a este indicador, se puede apreciar la tendencia a reemplazar la metodología de potencial hídrico en hoja por la de potencial hídrico en tallo en base a las ventajas comentadas (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016), y en comparación con los otros indicadores tratados en este apartado es el más prometedor en cuanto a consistencia, sensibilidad, reproducibilidad, tiempo de respuesta y representatividad del estado hídrico del cultivo, pues a priori no se conoce que se pueda ver influenciado por mecanismos de resistencia al estrés abiótico, ya que no mide la actividad de la planta sino el estado energético del agua en la planta.

5.2. PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO

La urgencia por optimizar el manejo del riego bajo el pretexto de cambio climático y escasez de recursos hídricos y su consecuente impacto en la agricultura es el origen del concepto de estrategias de Riego Deficitario (DI) (Mitchell & Chalmers, 1982). Por ello, la validez de las estrategias de RDI es medida principalmente en términos de rendimiento en la producción, lo cual se manifiesta en que los resultados ofrecidos por los artículos recopilados en este Trabajo Fin de Máster han estado enfocados en su mayoría en la cantidad de recursos aprovechables obtenidos del cultivo bajo diferentes regímenes de riego. En este apartado se mostrará y se reflexionará acerca del impacto de los tratamientos RDI probados por diversos investigadores sobre el manejo de los albaricoqueros en clima semiárido.

5.2.1. CRECIMIENTO VEGETATIVO

Las primeras evidencias del uso de estrategias declaradas como RDI en albaricoquero indican que se aplicaban como una vía de control del crecimiento vegetativo para mejorar las dimensiones del marco de plantación en la búsqueda de una mejor explotación de las parcelas de albaricoquero, ya que no había gran accesibilidad a patrones que se adaptaran a este diseño de plantación. Al mismo tiempo se planteaba la posibilidad de ahorrar en costes de mantenimiento relacionados con la poda, ya que el árbol no produciría tanta leña ante la reducción del riego (Arzani *et al.*, 2000).

Tabla 2. Efecto de diferentes estrategias RDI sobre varios parámetros de crecimiento vegetativo y variedades (“<”, disminuye con respecto al control; “>” aumenta con respecto al control; “=” no varía significativamente con respecto al control). Las estrategias se distinguen en el periodo de aplicación y la reducción de riego (% ETc).

Parámetro	Varietal	Periodo RDI	% ETc	Resultado	Referencia
Área de la sección del tronco (TCSA)	Salak	Postcosecha	0%	<	Tarantino <i>et al.</i> (2022)
	Búlida	Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Postcosecha tardía	25-60%	<	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)
Superficie sombreada	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Postcosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Postcosecha tardía	40-60%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)
Dimensiones del tronco	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Postcosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Postcosecha tardía	40-60%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)
	Salak	Postcosecha	0%	=	Kaya <i>et al.</i> (2011b)
Dimensiones de los tallos	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Postcosecha tardía	40-60%	<	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)
	Ninfa	Fases de crecimiento de fruto I + Postcosecha temprana	25-50%	=	Ezzat <i>et al.</i> (2021)
	Canino	Fases de crecimiento de fruto I + Postcosecha temprana	25-50%	<	Ezzat <i>et al.</i> (2021)

Si bien hoy en día son más accesibles las plantaciones de albaricoqueros en intensivo, el ahorro de costes en la poda de los árboles ha seguido siendo materia de estudio. El crecimiento vegetativo del árbol, expresado en términos de área de la sección del tronco (“Trunk Cross-Sectional Area”, TCSA), fue afectado por el tratamiento de RDI aplicado por Pérez-Sarmiento *et al.* (2016), provocando una reducción del 14% desde el comienzo del periodo experimental hasta su fin (Tabla 2). La intensidad con la que se expanden la canopia y el TCSA del albaricoquero cesa por el envejecimiento de los tejidos, pero la supresión del riego en periodos no críticos de desarrollo del fruto en la variedad Salak provocó que el crecimiento del TCSA se ralentizara con respecto al control en albaricoqueros jóvenes (Kaya *et al.*, 2011b), no siendo estadísticamente significativo en un periodo experimental de 3 años, pero sí llegándolo a ser cuando se dilató el número de años observados, obteniendo Tarantino *et al.* (2022) un valor de TCSA para los albaricoqueros tratados un 33% menor que el de los albaricoqueros regados al 100% de la ETc tras 5 años de periodo experimental. Pérez-Pastor *et al.* (2014) muestra una estrecha relación entre el agua de riego ahorrada en cada temporada con el crecimiento del TCSA de albaricoqueros cv. Búlida por la que, cuando el agua ahorrada supuso menos del 20% no conllevó grandes cambios en el crecimiento del TCSA pero que, por encima de este umbral, el recorte del riego comienza a tener un gran impacto en el crecimiento vegetativo. Sin embargo, llama la atención que en albaricoqueros regados muy por encima de sus necesidades hídricas (>100% de ETc) no fueran los que incrementaron más su TCSA, sino que el mayor crecimiento vegetativo lo tuvieron tratamientos próximos al 100% de la ETc; esto podría justificarse por la mala aireación de la zona radicular que puede provocar el encharcamiento provocado por un riego excesivo (Bozkurt *et al.*, 2015;

Tarantino *et al.*, 2022). Por otra parte, el volumen de canopia fue influida de forma similar al TCSA pero de forma más leve (Kaya et al., 2011b), y el área sombreada e índice de área foliar de albaricoqueros cv. Búlida no se redujo significativamente en un periodo de 4 años sometidos a reducciones de riego más o menos severas (**Tabla 2**) (Pérez-Pastor *et al.*, 2014).

Pérez-Pastor *et al.* (2014) describe cómo la aplicación de un déficit hídrico moderado o severo en albaricoqueros cv. Búlida durante los periodos no críticos del fruto tuvo efectos significativos sobre el diámetro y la longitud de los ramos, que se acortaron en un 50% y 20%, respectivamente (**Tabla 2**). Esto evidencia el impacto que puede tener la disminución del riego en el crecimiento vegetativo en función de la intensidad de la reducción de riego. A su vez, la aplicación del riego deficitario moderado mostró que la reducción en el tamaño de los tallos con respecto al control fue significativa únicamente durante la fase II de crecimiento del fruto, mientras que con el RDI severo, pese a aplicarse exclusivamente en los mismos periodos que el moderado, provocó que los ramos fueran significativamente más cortos en cualquier momento de la temporada. Para los albaricoqueros cv. Búlida fueron caracterizados dos periodos principales de crecimiento de los tallos: uno a mediados de Marzo, que coincide con la floración y fase fenológica I de crecimiento del fruto, y otro a mediados de Junio, que coincide con la fase fenológica II de crecimiento del fruto (Pérez-Pastor *et al.*, 2004). Es en el segundo periodo de crecimiento vegetativo donde los tallos acaban por completar el 100% del desarrollo de la temporada, lo cual no es alcanzado cuando coincide con una limitación de recursos hídricos (Torrecillas *et al.*, 2000). La reducción de las dimensiones de los tallos fue acompañada de una reducción en el peso fresco pero no del peso seco, lo cual sugiere que la disminución del crecimiento vegetal es debida a la pérdida de turgor celular por la falta de agua (Pérez-Pastor *et al.*, 2014).

En referencia al tronco del árbol, no se observó una reducción significativa de su perímetro ni diámetro con tratamientos de RDI de diferente intensidad (**Tabla 2**) (Kaya et al., 2011b; Torrecillas *et al.*, 2000), a excepción del primer año del estudio realizado por Pérez-Pastor *et al.* (2014), donde el tamaño de tronco se redujo significativamente por la reducción drástica de riego que experimentó el cultivo durante el primer año experimental. En la variedad Búlida, el crecimiento del tronco principalmente ocurre entre julio y octubre, tras la cosecha. Por otra parte, las raíces siguen un patrón distinto al crecimiento vegetativo de la parte aérea del árbol y similar al del fruto, lo cual está relacionado con la influencia de las auxinas en el crecimiento radicular y su papel inhibitorio del crecimiento de los tallos (Pérez-Pastor *et al.*, 2004, 2014).

Estos datos confirman la existencia de una separación temporal entre el crecimiento de los diferentes órganos del albaricoquero; esta separación es la clave del potencial de las estrategias de RDI, pues nos permite diseñar estrategias de gestión del agua para sacar el máximo provecho a la plantación en función de nuestras necesidades. Las diferencias genotípicas entre variedades

de albaricoquero influyen en la duración de las fases fenológicas de crecimiento, pero la curva de crecimiento de fruto es idéntica y característica de los frutales de hueso (**Figura 3**) (Torrecillas *et al.*, 2018). Por ejemplo, Ezzat *et al.* (2021) observa cómo las variedades Canino y Ninfa al aplicárseles diferentes intensidades de reducción de riego no se vio influenciado el crecimiento vegetativo de los tallos con la misma magnitud (**Tabla 2**). Además de que los periodos de crecimiento vegetal y de fruto no estén superpuestos, otro factor clave para la producción es la partición de la biomasa en la planta (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Dado que el fruto actúa como un potente sumidero de fotoasimilados tiende a acumular más sustancias de reserva que los tallos durante la fase fenológica II incluso con cuando el agua es limitada (Kaya *et al.*, 2011a; Pérez-Pastor *et al.*, 2009), lo cual se hace evidente al comprobar el bajo contenido en carbohidratos no estructurales solubles en tallo con respecto a los controles bien regados (Ezzat *et al.*, 2021).

5.2.2. EVOLUCIÓN DE YEMAS FLORALES

Durante el transcurso de los años en cada experimento, si bien se observaron cierto desplazamiento en cuanto al comienzo de la floración o en la cosecha, no se pudo relacionar con la aplicación de tratamientos de RDI (Ezzat *et al.*, 2021; Pérez-Pastor *et al.*, 2009), sino más bien a una característica de las especies frutales de hueso (Westwood, 1993).

La inducción floral se produce antes de la antesis de la yema de flor, momento que coincide con la postcosecha temprana en albaricoquero. Este proceso irreversible de diferenciación celular y organogénesis es controlado de forma compleja por múltiples genes y hormonas vegetales (Bartolini *et al.*, 2020). De su éxito depende el número de frutos que finalmente presentará el árbol en la cosecha y, dado que la disponibilidad de agua puede influir en su desarrollo, es un proceso que concierne en el diseño de estrategias de RDI. Torrecillas *et al.* (2000) demostró que la supresión del riego en postcosecha temprana (junio-julio) provocó un descenso significativo en el cuajado de los frutos de la cosecha consecuente, lo que fue motivo suficiente como para definir este periodo como crítico en cuanto al riego. El estrés durante la postcosecha temprana atrofia el desarrollo y la diferenciación de la yema floral, haciendo que aumente el número de flores con órganos disfuncionales (Kaya *et al.*, 2011a); por ejemplo, se han encontrado granos de polen no germinados en albaricoqueros estresados durante este periodo (Torrecillas *et al.*, 2018). La mayor parte de órganos terminan de diferenciarse fuera de este periodo crítico, pero la formación de los haces vasculares ha demostrado ser afectada por la escasez de agua incluso en postcosecha tardía; el bajo o nulo flujo de nutrientes por el xilema hasta las flores jóvenes acaba por necrosar el interior de la flor. Esto es debido a que la xilogénesis (proceso de formación del xilema) es un proceso gradual que depende íntegramente del turgor celular (Bartolini *et al.*, 2020). Estos hechos podrían dar una explicación a los resultados de Ezzat *et al.* (2021), donde aplican dos estrategias

de RDI diferente intensidad de reducción de riego en el mismo periodo de postcosecha temprana y ninguna provocó un descenso significativo en el año posterior del número de yemas florales con respecto al control para ambas variedades (Ninfa y Canino), pero sí se produjo un mayor porcentaje de abscisión floral. De hecho, en el tratamiento más severo de RDI hubo un porcentaje significativo de yemas que no llegaron a florecer. Esto insinúa que la flor tuvo agua el suficiente tiempo como para desarrollar parte de sus órganos, pero no para completar la organogénesis ni la xilogénesis. No obstante, al mismo tiempo observan un aumento en el porcentaje de frutos cuajados. Pérez-Pastor *et al.* (2014) no vio variaciones significativas en la proporción de frutos cuajados en cv. Búlida al reducir el riego durante el periodo crítico de la postcosecha temprana aplicando la mitad de riego que en el control. El porcentaje de frutos cuajados aparentemente quedó inalterado pese a la aplicación de estrés hídrico durante la postcosecha temprana debido a una reducción en el número de flores viables y un aumento de la abscisión de aquellas que no lograron completar su desarrollo, lo que resultó a su vez en un descenso en el número de frutos por árbol; hubo mayor proporción de frutos cuajados, no en base a un aumento en la carga productiva, sino por un descenso del total de flores totales, prevaleciendo principalmente las más sanas (Ezzat *et al.*, 2021). Por otra parte, el cuajado del fruto no sólo se mantuvo estable, sino que fue significativamente mayor en albaricoqueros cv. Sundrop a los que se le aplicó un breve periodo RDI de supresión de riego únicamente durante las fases fenológicas I y II del crecimiento del fruto, siendo mantenidos en condiciones no limitantes de riego tras la cosecha; en este caso, el incremento del cuajado del fruto fue acompañado de una mayor densidad de albaricoques por tallo (Arzani *et al.*, 2000).

Por último, Ezzat *et al.* (2021) investigaron la influencia del agua sobre el periodo de dormancia de las yemas de flor en las variedades Ninfa y Canino. Se dieron diferencias significativas en cuanto a las necesidades de frío, pero esto dependió íntegramente del genotipo de la variedad estudiada. La variedad Canino necesitó un mayor número de horas de frío (por debajo de 7.2°C) para salir de dormancia al recibir el tratamiento RDI. La variedad Ninfa, sin embargo, mantuvo los requerimientos de frío similares a los del control bien regado. Finalmente, los autores concluyen en que, si se pretenden aplicar estrategias de RDI sobre variedades comerciales con el objetivo de optimizar la producción, es recomendable emplear variedades con bajas necesidades de frío por el riesgo a que la disminución del riego pueda ampliar el letargo de las yemas.

Tabla 3. Efecto de diferentes estrategias RDI sobre varios parámetros de productividad y variedades (" $<$ ", disminuye con respecto al control; " $>$ " aumenta con respecto al control; " $=$ " no varía significativamente con respecto al control). Las estrategias se distinguen en el periodo de aplicación y la reducción de riego (% ETC).

Parámetro	Variedad	Periodo RDI	% ETc	Resultado	Referencia
Porcentaje de frutos cuajados	Sundrop	Fases de crecimiento de fruto I y II	0%	>	Arzani <i>et al.</i> (2000)
	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25-60%	=	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)
	Ninfa	Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	25-50%	>	Ezzat <i>et al.</i> (2021)
	Canino	Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	50%	=	
		Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	25%	<	
Carga productiva	Sundrop	Fases de crecimiento de fruto I y II	0%	>	Arzani <i>et al.</i> (2000)
	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	<	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	40%	=	
	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	<	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)	
	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	40-60%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)	
Producción total	Sundrop	Fases de crecimiento de fruto I y II	0%	>	Arzani <i>et al.</i> (2000)
	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	<	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	40%	=	
	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	<	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)	
	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	40-60%	=		
	Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25-60%	=	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)	
	Salak	Poscosecha	0%	=	Tarantino <i>et al.</i> (2022)
	Ninfa	Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	50%	>	Ezzat <i>et al.</i> (2021)
		Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	25%	=	
	Canino	Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	25-50%	<	
Eficiencia del uso del agua (WUE)	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	40%	>	
		Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25-60%	>	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)

5.2.3. EFICIENCIA PRODUCTIVA

En este apartado se analizará el rendimiento de las cosechas de albaricoques y en qué medida el riego ha influido en ellas, para lo cual se tendrán en cuenta las conclusiones alcanzadas en los apartados previos de Crecimiento Vegetativo y Evolución de Yemas Florales. En base a la naturaleza de las estrategias de RDI, que se fundamentan en la maximización del aprovechamiento del agua, cobrarán más importancia resultados relativos al agua invertida en su obtención, siendo prioritarios resultados relacionados con la eficiencia productiva antes que aquellos relacionados con la producción en valores absolutos.

En cuanto al impacto del RDI en la cosecha, se aceptan los periodos correspondientes a la fase III de crecimiento del fruto y la postcosecha como puntos críticos en el crecimiento del fruto donde no se debe permitir que las plantas acumulen estrés hídrico; riegos por debajo del 100% de la ETc durante el primer periodo crítico provocan problemas en la cosecha del año contemporáneo y si este recorte se realiza durante la postcosecha temprana es afectada la cosecha del año siguiente (**Figura 3**) (Torrecillas *et al.*, 2000).

En términos generales, la producción total de cada cosecha no tuvo diferencias estadísticamente significativas con respecto al control tanto en la variedad Búlida, cultivada en Murcia, como en las variedades, Salak (Turquía) o Ninfa (Egipto) (**Tabla 3**) (Ezzat *et al.*, 2021; Pérez-Pastor *et al.*, 2014; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016; Tarantino *et al.*, 2022; Torrecillas *et al.*, 2000). Estos resultados son esperados pues los periodos críticos de crecimiento del fruto tuvieron un riego idéntico al del control. Sin embargo, (Arzani *et al.*, 2000) indica haber tenido una cosecha más abundante en valor absoluto pese a la clara obstaculización del crecimiento vegetativo influida por el RDI en la variedad Sundrop (Nueva Zelanda), justificando estos resultados con que una menor vigorosidad de la canopia permite que el interior del árbol quede más iluminado, estimulando la fotosíntesis en las regiones internas de la canopia y aumentando la eficiencia de fotoasimilación y biosíntesis (Kaya *et al.*, 2011a).

Por otra parte, la eficiencia productiva (frutos cm⁻²) demostró ser mayor en los árboles tratados con RDI que en los regados al 100% de la ETc durante todo el año, lo que se debe principalmente a la reducción del crecimiento del TCSA (Arzani *et al.*, 2000; Pérez-Pastor *et al.*, 2014; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Esto no se cumplió en todos los casos, pues Pérez-Pastor *et al.* (2009) aplica una reducción muy acusada en la dotación hídrica durante periodos no críticos (25% del ETc; 100% de la ETc durante periodos críticos), y aun así sus resultados para la carga y eficiencia productiva se redujeron respectivamente en un 22% y 32% con respecto al control, no siendo significativo el ahorro de agua, lo cual queda reflejado en el bajo nivel de eficiencia del uso del agua (“Water Use Efficiency”, WUE) (**Tabla 3**). Indican que es probable que un insuficiente desarrollo de la parte vegetativa por el elevado estrés hídrico provocara estos resultados

desfavorables. También Pérez-Pastor *et al.* (2014) achaca la baja productividad del primer año a una muy baja tasa de crecimiento del TCSA de los albaricoqueros (**Tabla 3**). Torrecillas *et al.* (2000) aplicó supresión completa en dos tratamientos distintos que transcurrían antes de la cosecha, uno de ellos durante la fase fenológica I (de febrero a marzo) y el otro en la fase fenológica II (de marzo a mayo), pero aun así no obtuvo disminución alguna en la producción. La explicación a esta problemática es discutida por Pérez pastor *et al.* (2014), donde comenta que, debido a la extensa duración de la aplicación (de febrero a mayo) combinada con la reducción severa de riego (25% de ETc), el estrés hídrico acumulado por la planta hubiera provocado daños insalvables con la rehidratación durante la fase fenológica III. Al cambiar la dotación hídrica del tratamiento RDI (40% de la ETc) se consiguió obtener resultados satisfactorios al final del periodo experimental, con una carga y eficiencia productiva un 4% superior a la del control y un aumento del 34% de la WUE, lo cual corresponde con un ahorro del 22% de agua (**Tabla 3**). Estos hechos apoyan que la falta de crecimiento vegetativo puede comprometer la producción (Kaya *et al.*, 2011a), sobre todo en albaricoqueros jóvenes (Bozkurt *et al.*, 2015). Tarantino *et al.* (2022) concluye que el tratamiento de reducción de riego sostenida (CDI) durante toda la temporada al 50% de la ETc (incluso en periodos críticos) tuvo mejor eficiencia productiva que el resto de tratamientos, incluido el RDI. A priori, este resultado contradice lo observado por otros investigadores, pero dado que el tratamiento RDI aplicado se basa en la supresión completa del riego durante un largo periodo de tiempo (desde el final de la cosecha en junio hasta septiembre) el estrés acumulado por los árboles fue suficientemente intenso como para impedir un mínimo desarrollo de la parte vegetativa. Por otro lado, Pérez Sarmiento *et al.* (2016) consiguió mantener la eficiencia productiva y aumentar la WUE un promedio de 2,32 kg m⁻³ (aumento del 49%), que corresponde con un 30% de agua ahorrada, aplicando un RDI cuya reducción de riego se adaptó a la capacidad del cultivo a combatir el estrés hídrico y con la cautela de asegurar condiciones no limitantes de riego durante los periodos críticos. (Nicolás *et al.*, 2005) informan de que el empleo de mayas puede ayudar a aumentar el WUE.

Aun así, existen múltiples factores externos que pueden favorecer o arruinar la cosecha (como el calor excesivo, que puede afectar al cuajado de los albaricoques, o la sequía extrema) (Pérez-Pastor *et al.*, 2014), por lo que se provocan irregularidades con asiduidad. Otro inconveniente de los datos extraídos de la experimentación con variedades específicas es su baja reproducibilidad en otras variedades, que queda bien representado entre los resultados de producción total obtenidos para las variedades Ninfa y Canino cuando se sometieron a la misma reducción de riego (Ezzat *et al.*, 2021). No obstante, en el cultivo de albaricoqueros la tendencia actual en España apunta al cultivo de variedades extra-tempranas por las ventajas que ofrecen al agricultor (mayor resistencia a virus, mayor competitividad en el mercado) (Melgarejo *et al.*, 2014), y las características de la variedad Búlida encajan con las de las variedades más populares, por lo que

los resultados obtenidos por los investigadores sobre este albaricoquero pueden ser provechosos para el manejo de variedades comerciales.

Los diferentes artículos analizados advierten de la existencia de un delicado equilibrio en cuanto a la reducción del crecimiento vegetativo en el aumento de la eficiencia del uso del agua, pues si se entorpece demasiado el crecimiento natural del árbol se pueden provocar grandes disminuciones en la cosecha que no compensen el ahorro de agua. A su vez, es crucial realizar una exhaustiva caracterización de la variedad tratada para evitar excederse en cuanto al estrés hídrico inducido por los tratamientos RDI.

5.3. CALIDAD DE FRUTA

Si bien el RDI se diseña inicialmente como una estrategia de control vegetativo y maximización de producción en relación con el agua aplicada, el conocimiento sobre los cambios fisiológicos observados en especies leñosas para combatir el estrés hídrico plantea la posibilidad de que la fruta cambie sus propiedades físico-químicas. La rentabilidad de todo cultivo no es influida exclusivamente por la eficiencia productiva, pues la demanda del producto determina su valor en el mercado. La reducción del riego en el manejo de frutales de hueso no puede ser validada hasta conocer si provoca que la calidad de la fruta se degrade, en cuyo caso no podría ser propuesta como una estrategia viable para el agricultor. Por ende, este apartado recoge los resultados relacionados con la calidad de los albaricoques que fueron tratados con estrategias RDI.

5.3.1. PARÁMETROS COLORIMÉTRICOS

El primer juicio que genera el consumidor a la hora de decidir si adquirir una fruta en particular proviene del aspecto que presenta (Shih *et al.*, 2018). Los valores de los parámetros a^* y b^* son, respectivamente, las coordenadas dentro del espacio CIELAB del eje rojo/verde y amarillo/azul. Se ha observado que estos viran hacia valores relacionados con un color más rojizo en la parte externa e interna del fruto en los albaricoqueros cv. Búlida tratados (Pérez-Pastor *et al.*, 2009), lo cual puede estar relacionado por una mayor liberación de etileno promovida por el estrés hídrico (Pérez-Pastor *et al.*, 2007). El parámetro L^* presentó valores más altos con la aplicación de RDI, indicando un mayor brillo en el color de la piel (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Torrecillas *et al.* (2000) observa un aumento en el C^* de frutos cuyo riego se suprimió justo durante la fase de crecimiento rápido (fase fenológica III). Este parámetro es calculado a partir de los previamente descritos e indica el croma o intensidad del color (Gómez *et al.*, 2001), y los resultados fueron

distintos cuando se regó al 100% de la ETc durante la fase III, pues no se encontraron diferencias significativas (Pérez-Pastor *et al.*, 2009). Tampoco fueron observadas por Pérez-Sarmiento *et al.* (2016) a excepción de la cosecha del último año experimental, donde aumentó significativamente. En cuanto al parámetro h° (ángulo del tono) se muestra un aumento tanto en la piel como en la pulpa que, dependiendo de la temporada, fue estadísticamente significativo o no (Pérez-Pastor *et al.*, 2009). El h° describe la saturación del color y su aumento en los albaricoqueros se asocia a una mayor exposición a la radiación solar pues provoca una mayor proporción de carotenoides oxidados; sin embargo, con el paso de los días en albaricoques almacenados a 13°C este valor descendió hasta equilibrarse con el control (Pérez-Pastor *et al.*, 2007). Tal y como ocurre con C^* , Pérez-Sarmiento *et al.* (2016) observan variaciones arbitrarias del h° con el paso de las cosechas. Estos resultados son poco concluyentes pues no respaldan con firmeza una relación directa entre el RDI y el cambio de color en los albaricoques, aunque la reducción del crecimiento vegetativo permite una mayor incidencia de la luz solar sobre los frutos del interior de la canopia y así influir en su coloración, siendo más plausible esta última hipótesis (Arzani *et al.*, 2000; Pérez-Pastor *et al.*, 2007).

5.3.2. PESO Y DIMENSIONES DE FRUTA

El factor más influyente en cuanto al calibre final de la fruta es la disponibilidad plena de agua durante su fase de crecimiento rápido (fase III) (**Tabla 4**) (Kaya *et al.*, 2011a; Torrecillas *et al.*, 2000). Al analizar las gráficas de evolución del diámetro de fruto en el estudio de Pérez-Sarmiento *et al.* (2016) en la variedad Búlida, se aprecia cierta reducción con respecto al control durante los meses correspondientes a las fases de crecimiento de fruto I y II. Si bien el fruto dispone de bastante menos agua que el control, sigue actuando como un potente sumidero de fotoasimilados y, por ende, acumulando sustancias de reserva, lo que se manifiesta en que el peso seco del fruto continuó creciendo mientras que el peso fresco a penas lo hizo. El comienzo de la fase de crecimiento rápido viene acompañado con la rehidratación del cultivo (aplicación de riego control), y gracias a las sustancias de reserva se acelera con creces la expansión del fruto, que acaba por mostrar el mismo tamaño que el de los frutos control. Esta dinámica también se reproduce con el incremento de peso del fruto pero es menos distinguible el transcurso de cada fase de crecimiento; sin embargo, al analizar la progresión del cociente peso fresco/peso seco, se remarca el comienzo de la fase III con un cambio brusco en la pendiente (Pérez-Pastor *et al.*, 2014).

Tabla 4. Efecto de diferentes estrategias RDI sobre varios parámetros de calidad de fruta y variedades (" $<$ ", disminuye con respecto al control; " $>$ " aumenta con respecto al control; " $=$ " no varía significativamente con respecto al control). Las estrategias se distinguen en el periodo de aplicación y la reducción de riego (% Etc).

Parámetro	Variedad	Periodo RDI	% Etc	Resultado	Referencia
Dimensiones fruto	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2007)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	<	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	40-60%	=	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)
	Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25-60%	=		
	Salak	Poscosecha	0%	=	Kaya <i>et al.</i> (2011a)
Peso fresco fruto	Sundrop	Fases de crecimiento de fruto I y II	0%	=	Arzani <i>et al.</i> (2000)
	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2007)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	40%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2014)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	60%	=	Ezzat <i>et al.</i> (2021)
	Ninfa	Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	25-50%	=	
Canino	Fases de crecimiento de fruto I + Poscosecha temprana	25-50%	=	Kaya <i>et al.</i> (2011a)	
Salak	Poscosecha	0%	=		
Firmeza	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2007)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
		Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25-60%	=	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)
	Salak	Poscosecha	0%	=	Tarantino <i>et al.</i> (2022)
Acidez total (TA)	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	=	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2007)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	>	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2009)
		Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25-60%	=	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)
	Salak	Poscosecha	0%	=	Tarantino <i>et al.</i> (2022)

<i>Sólidos solubles totales (SST)</i>	Búlida	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	0%	=	Torrecillas <i>et al.</i> (2000)
		Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	>	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2007)
	Salak	Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25%	>	Pérez-Pastor <i>et al.</i> (2007)
		Cuajado de fruto + Fases de crecimiento de fruto I y II + Poscosecha tardía	25-60%	>	Pérez-Sarmiento <i>et al.</i> (2016)
		Poscosecha	0%	=	Tarantino <i>et al.</i> (2022)

Independientemente de la severidad con la que se redujo el riego (desde el 60% de la ETc hasta la supresión de riego) y la variedad de estudio, los tratamientos RDI no provocaron disminuciones significativas ni en el diámetro ni en el peso del fruto con respecto al control (**Tabla 4**) (Arzani *et al.*, 2000; Ezzat *et al.*, 2021; Kaya *et al.*, 2011a; Pérez-Pastor *et al.*, 2007, 2009, 2014; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016); las fluctuaciones en el tamaño de fruto de una cosecha a otra dependieron del número de frutos producidos, siendo el tamaño de fruto inversamente proporcional a la carga productiva (Pérez-Pastor *et al.*, 2009). De hecho, en la variedad Búlida, la recuperación del tamaño en el RDI fue tan efectiva que dio lugar a una cosecha de albaricoqueros de un calibre superior al habitual (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016).

Cuando los albaricoqueros no fueron regados durante la fase III de crecimiento del fruto hubo grandes reducciones en el tamaño y volumen de los albaricoques (Torrecillas *et al.*, 2000); en la primera cosecha del estudio de (Pérez-Pastor *et al.*, 2014) se observaron reducciones significativas en el tamaño, las cuales se justifican por una posible desviación en el momento de rehidratación, lo cual provocaría que el estrés hídrico se mantuvo durante parte de la fase III (**Tabla 4**). Con el tratamiento de riego al 50% de la ETc sostenido durante el año completo (CDI) observaron reducciones similares en el tamaño final de la fruta en todas las cosechas, evidenciando el impacto negativo de la limitación de riego durante los periodos críticos definidos para el albaricoquero. En Kaya *et al.*, (2011a), el calibre de la fruta fue similar al del tratamiento al 100% de la ETc, al contrario que con los tratamientos de reducción de riego sostenido. Aun así, Ben Mimoun & Marchand (2016) demuestran que la reducción del tamaño de los albaricoques cv. Ouverdi puede ser suavizada aplicando ciertas concentraciones de potasio en el agua de riego.

5.3.3. DURABILIDAD FRUTA

La capacidad de conservación de la calidad de la fruta desde que es cosechada al consumo es otro factor influyente en su valor de cara al público. La firmeza del fruto, entendida como la resistencia que opone a fuerzas de compresión (Jackman *et al.*, 1990), no fue afectada por el tratamiento RDI sin importar su severidad o la variedad (Pérez-Pastor *et al.*, 2009; Tarantino *et al.*, 2022). Sólo se

cosecharon frutos más blandos cuando la disminución del riego coincidió con la fase III del crecimiento del fruto (Torrecillas *et al.*, 2000). Pérez-Sarmiento *et al.* (2016) obtuvo frutos un 30% menos firmes en la primera cosecha del periodo experimental, no repitiéndose los próximos años; indican que esto podría haber sucedido por un elevado estrés hídrico acumulado durante el primer año pues otros aspectos de calidad también se vieron afectados. Cuando los albaricoques son almacenados la firmeza disminuye paulatinamente con el tiempo de conservación; no obstante, la disminución del riego por RDI estimuló la formación de cutículas más duras y que mantuvieron su integridad mejor que la de los albaricoqueros control, fomentando una menor incidencia del micro-cracking. Esto repercutió en una considerable reducción de la pérdida de peso durante el almacenamiento a 13°C (reducción del 5,9% en RDI y del 19,3% en control) al obstaculizar la pérdida de agua y en una mayor resistencia a la aparición de fisiopatías o la infección por hongos como *Botrytis cinerea* (Pérez-Pastor *et al.*, 2007). Además, Torrecillas *et al.* (2018) menciona que el estrés hídrico provocó un aumento en la concentración de compuestos volátiles de defensa contra patógenos y en calcio, el cual ayuda a mantener la integridad de las membranas intracelulares, impidiendo la oxidación de fenoles y el consecuente pardeamiento característico.

5.3.4. ÍNDICES QUÍMICOS

El pH del jugo de albaricoque no fue alterado por el RDI en ningún caso (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016b; Torrecillas *et al.*, 2000). La acidez total (“Total Acidity”, TA) mostró valores en torno a 1,1 g de ácido málico mL⁻¹ y no hubo diferencias estadísticamente significativas (**Tabla 4**) (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016; Torrecillas *et al.*, 2000). En cv. Búlida los sólidos solubles totales (“Soluble Solids Content”, SSC) mostraron valores más elevados cuando se aplicó un tratamiento de RDI, lo cual se explica por el efecto concentrador de solutos que provoca la disminución de agua disponible (Pérez-Pastor *et al.*, 2009), aunque se trató de un incremento leve y que en ocasiones no fue estadísticamente significativo (**Tabla 4**) (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). Además, durante la conservación en frío tras la cosecha los valores del control y el tratamiento tendieron a igualarse (Pérez-Pastor *et al.*, 2007). Por otro lado, el índice de madurez (“Maturity Index”, MI), el cual expresa el cociente entre SSC y TA, mostró que el contenido en azúcares del jugo de albaricoques tratados con RDI relativo a la acidez total fue significativamente mayor, indicando que estos frutos fueron más dulces, lo cual podría repercutir en una mayor demanda de los consumidores (Pérez-Sarmiento *et al.*, 2016). La aplicación de potasio en el agua de riego provocó un aumento significativo en el MI de albaricoques cv. Ouverdi (Ben Mimoun & Marchand, 2016).

6. CONCLUSIÓN

El Riego Deficitario Controlado (“Regulated Deficit Irrigation”, RDI) aumenta la eficiencia del uso del agua durante la producción, lo cual supone una ventaja económica y medioambiental, siempre y cuando la reducción de riego se aplique durante periodos no críticos del desarrollo del fruto. El primer factor crucial en el éxito de las estrategias RDI es la caracterización de las fases fenológicas de desarrollo del fruto de la variedad estudiada, y en albaricoquero está estipulado que dichos periodos corresponden a la fase III de crecimiento de fruto y a la inducción floral durante la postcosecha; si bien el primer periodo es respetado por la mayoría de investigadores, existe cierta discrepancia en cuanto al momento de reducción de riego durante la postcosecha, que varía sobre todo en función de la variedad con la que se trabaja. El desarrollo de los órganos reproductivos de la yema floral se produce principalmente durante la postcosecha temprana, pero la vascularización se puede ver afectada por la escasez de agua en estadios posteriores, pudiendo mermar la cosecha del año consecutivo, por lo que es necesario avanzar en la investigación acerca del efecto de la disponibilidad del agua durante la postcosecha. Por otra parte, el ahorro de agua empleada durante las fases no críticas de desarrollo del fruto debe combinarse con una correcta caracterización del estado hídrico del cultivo, siendo este el segundo factor crucial del éxito de esta técnica. La eficiencia productiva en la cosecha aumenta debido a la reducción en el crecimiento vegetativo del árbol, pero el estrés hídrico severo y prolongado puede atrofiar la producción. El control del estado hídrico del cultivo se puede realizar en base a múltiples indicadores, de los cuales no todos presentan aptitudes para monitorizar las necesidades hídricas de la planta, principalmente por sus grandes tiempos de respuesta. La medida discreta y discontinua del potencial hídrico en tallo al mediodía ha demostrado ser la más robusta y representativa del estado hídrico del cultivo. Sin embargo, es necesario continuar explorando nuevas alternativas de monitorización en continuo de las necesidades hídricas de la planta para aprovechar todo el potencial de las técnicas RDI.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arzani, K., Wood, D., & Stephen Lawes, G. (2000). INFLUENCE OF FIRST SEASON APPLICATION OF PACLOBUTRAZOL, ROOT-PRUNING AND REGULATED DEFICIT IRRIGATION ON SECOND SEASON FLOWERING AND FRUITING OF MATURE ‘SUNDROP’ APRICOT TREES. *Acta Horticulturae*, 516, 75-82. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.516.8>
- Barradas, V. L., Nicolás, E., Torrecillas, A., & Alarcón, J. J. (2005). Transpiration and canopy conductance in young apricot (*Prunus armenica* L.) trees subjected to different PAR levels and water stress. *Agricultural Water Management*, 77(1-3), 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.035>
- Bartolini, S., Lo Piccolo, E., & Remorini, D. (2020). Different summer and autumn water deficit affect the floral differentiation and flower bud growth in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Agronomy*, 10(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060914>

- Ben Mimoun, M., & Marchand, M. (2016). *Combined effect of restricted irrigation and potassium on yield and quality of apricot (Prunus armeniaca L.)*. *1130*, 519-523. Scopus. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.78>
- Berbel, J., & Esteban, E. (2019). Droughts as a catalyst for water policy change. Analysis of Spain, Australia (MDB), and California. *Global Environmental Change*, *58*, 101969. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101969>
- Boland, A.-M., Mitchell, P. D., Jeric, P. H., & Goodwin, I. (1993). The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach. *Journal of Horticultural Science*, *68*(2), 261-274. <https://doi.org/10.1080/00221589.1993.11516351>
- Bozkurt, S., Ödemiş, B., & Durgaç, C. (2015). Effects of deficit irrigation treatments on yield and plant growth of young apricot trees. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *43*(2), 73-84. Scopus. <https://doi.org/10.1080/01140671.2014.979838>
- Chalmers, D. J., Mitchell, P. D., & Van Heek, L. (1981). Control of Peach Tree Growth and Productivity by Regulated Water Supply, Tree Density, and Summer Pruning1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *106*(3), 307-312. <https://doi.org/10.21273/JASHS.106.3.307>
- Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., & Gaudillère, J. P. (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, *87*(4), 477-483. Scopus. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1361>
- De Swaef, T., Steppe, K., & Lemeur, R. (2009). Determining reference values for stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in young apple trees based on plant responses to water deficit. *Agricultural Water Management*, *96*(4), 541-550. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.09.013>
- Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M. C., Sánchez-Blanco, M. J., & Torrecillas, A. (1996). Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrigation Science*, *16*(3), 115-123. <https://doi.org/10.1007/BF02215619>
- Ezzat, A., Salama, A.-M., Szabó, S., Yaseen, A. A., Molnár, B., & Holb, I. J. (2021). Deficit irrigation strategies on tree physiological and chemical properties: Treatment effects, prediction based model analyses and inter-correlations. *Agronomy*, *11*(7). Scopus. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071361>
- Gómez, R., Costa, J., Amo, M., Alvarruiz, A., Picazo, M., & Pardo, J. E. (2001). Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain: Quality of tomato varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *81*(11), 1101-1105. <https://doi.org/10.1002/jsfa.915>
- Jackman, R. L., Marangoni, A. G., & Stanley, D. W. (1990). Measurement of Tomato Fruit Firmness. *HortScience*, *25*(7), 781-783. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.25.7.781>
- Jones, H. G. (1990). Physiological Aspects of the Control of Water Status in Horticultural Crops. *HortScience*, *25*(1), 19-25. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.25.1.19>
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, *55*(407), 2427-2436. Scopus. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh213>
- Joody, A. T. (2020). Reducing water stress on apricot saplings cv. Zanjelly. *Plant Archives*, *20*(1), 105-108. Scopus.
- Kaya, S., Evren, S., Dasci, E., & Cemal Adiguzel, M. (2011). Fruit physical characteristics responses of young apricot trees to different irrigation regimes and yield, quality, vegetative growth, and evapotranspiration relations. *International Journal of Physical Sciences*, *6*(13), 3134-3142. Scopus.
- Kaya, S., Evren, S., Dasci, E., Cemal Adiguzel, M., & Yilmaz, H. (2011). Evapotranspiration, irrigation water applied, and vegetative growth relations of young apricot trees under different irrigation regimes. *Scientific Research and Essays*, *6*(4), 738-747. Scopus.
- Losciale, P., Gaeta, L., Corsi, M., Galeone, C., Tarricone, L., Leogrande, R., & Stellacci, A. M. (2023). Physiological responses of apricot and peach cultivars under progressive water shortage: Different crop signals for anisohydric and isohydric behaviours. *Agricultural Water Management*, *286*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108384>
- Melgarejo, P., Calín-Sánchez, A., Carbonell-Barrachina, A. A., Martínez-Nicolás, J. J., Legua, P., Martínez, R., & Hernández, F. (2014). Antioxidant activity, volatile composition and sensory profile of four new very-early apricots (*Prunus armeniaca L.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(1), 85-94. Scopus. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6201>
- Mitchell, P. D., & Chalmers, D. J. (1982). The Effect of Reduced Water Supply on Peach Tree Growth and Yields1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *107*(5), 853-856. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.5.853>
- Moriana, A., Girón, I. F., Martín-Palomo, M. J., Conejero, W., Ortuño, M. F., Torrecillas, A., & Moreno, F. (2010). New approach for olive trees irrigation scheduling using trunk diameter sensors. *Agricultural Water Management*, *97*(11), 1822-1828. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.06.022>
- Morote Seguido, Á. F., & Rico Amorós, A. M. (2018). Perspectivas de funcionamiento del Trasvase Tajo-Segura (España): Efectos de las nuevas reglas de explotación e impulso de la desalinización como recurso sustitutivo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, *79*. <https://doi.org/10.21138/bage.2754>
- Nicolás, E., Torrecillas, A., Amico, J. D., & Alarcón, J. J. (2005). Sap flow, gas exchange, and hydraulic conductance of young apricot trees growing under a shading net and different water supplies. *Journal of Plant Physiology*, *162*(4), 439-447. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.05.014>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *n71*. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Parkash, V., & Singh, S. (2020). A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(10). Scopus. <https://doi.org/10.3390/SU12103945>
- Pask, A. (Ed.). (2012). *Physiological breeding. II. A field guide to wheat phenotyping*. CIMMYT.
- Pereira, L. S. (1999). Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: A discussion. *Agricultural Water Management*, *40*(2-3), 153-169. Scopus. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00118-8)
- Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Torrecillas, A., & Ruiz-Sánchez, M. C. (2009). Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrigation Science*, *27*(3), 231-242. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0136-x>
- 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. *Agricultural Water Management*, *134*, 110-118. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.007>
- 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*(2), 93-100. <https://doi.org/10.1051/agro:2004004>
- Pérez-Pastor, A., Ruiz-Sánchez, M. C., Martínez, J. A., Nortes, P. A., Artés, F., & Domingo, R. (2007). Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality at harvest and during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *87*(13), 2409-2415. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2905>
- Pérez-Sarmiento, F., Mirás-Avalos, J. M., Alcobendas, R., Alarcón, J. J., Mounzer, O., & Nicolás, E. (2016a). Effects of regulated deficit irrigation on physiology, yield and fruit quality in apricot trees under mediterranean conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *14*(4). Scopus. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016144-9943>
- Robbins, N. E., & Dinneny, J. R. (2015). The divining root: Moisture-driven responses of roots at the micro- and macro-scale. *Journal of Experimental Botany*, *66*(8), 2145-2154. Scopus. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru496>
- Ruiz-Sánchez, M. C., Domingo, R., & Pérez-Pastor, A. (2007). Daily variations in water relations of apricot trees under different irrigation regimes. *Biologia plantarum*, *51*(4), 735-740. <https://doi.org/10.1007/s10535-007-0150-5>
- Ruiz-Sánchez, M. C., Domingo, R., Torrecillas, A., & Pérez-Pastor, A. (2000). Water stress preconditioning to improve drought resistance in young apricot plants. *Plant Science*, *156*(2), 245-251. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00262-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00262-4)
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., & Hemmingsen, E. A. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science*, *148*(3668), 339-346. Scopus. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>
- Sepaskhah, A. R., & Ahmadi, S. H. (2012). A review on partial root-zone drying irrigation. *International Journal of Plant Production*, *4*(4). <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.708>
- Shih, H.-H., Wu, C.-F., Wang, S.-B., & Lin, K.-C. (2018). The influences of lighting design on fruit images. *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, 506-509. <https://doi.org/10.1109/ICASI.2018.8394298>
- Tarantino, A., Disciglio, G., Frabboni, L., Difonzo, G., Paradiso, V. M., Gambacorta, G., & Lopriore, G. (2022). Effects of different irrigation regimes on vegetative growth, yield and fruit quality of young pomegranate (*Punica granatum* 'Wonderful') trees. *Acta Horticulturae*, *1335*, 411-420. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1335.51>
- Torrecillas, A., Corell, M., Galindo, A., Pérez-López, D., Memmi, H., Rodríguez, P., Cruz, Z. N., Centeno, A., Intrigliolo, D. S., & Moriana, A. (2018). Agronomical effects of deficit irrigation in apricot, peach, and plum trees. En *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment: Tools, Strategies, and Challenges for Woody Crops* (pp. 87-109). Scopus. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813164-0.00005-3>
- Torrecillas, A., Domingo, R., Galego, R., & Ruiz-Sánchez, M. C. (2000). Apricot tree response to withholding irrigation at different phenological periods. *Scientia Horticulturae*, *85*(3), 201-215. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00146-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00146-6)
- Torrecillas, A., Galego, R., Pérez-Pastor, A., & Ruiz-Sánchez, M. C. (1999). Gas exchange and water relations of young apricot plants under drought conditions. *The Journal of Agricultural Science*, *132*(4), 445-452. <https://doi.org/10.1017/S0021859699006577>