

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**  
**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y**  
**AGROAMBIENTAL**



**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE QUITOSANAS Y RIEGO  
DEFICITARIO CONTROLADO EN LAS CARACTERÍSTICAS  
FÍSICO-QUÍMICAS DE LA VARIEDAD DE ALBARICOQUERO  
'Mirlo Rojo ®'.**

**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**2025**

**Autora:** Marta Gomáriz López  
**Tutoras:** Francisca Hernández García  
Lucia Andreu Coll



**Título: Influencia de la aplicación de quitosanas y riego deficitario controlado en las características físico-químicas de la variedad de albaricoquero 'Mirlo Rojo ®'**

**RESUMEN**

Este trabajo evalúa el efecto del riego deficitario controlado (RDC) y la aplicación de quitosana (CS) en la calidad del albaricoque 'Mirlo Rojo ®'. Para ello, se analizaron parámetros físicos, bioquímicos y funcionales del fruto de los diferentes tratamientos aplicados; CR1: Riego control, CR2: Riego Deficitario Controlado y CR3: Riego Deficitario Controlado + Quitosana. Los resultados muestran que el uso combinado de RDC y CS mejoran la calidad del fruto.

*Palabras clave: 'Mirlo Rojo ®', quitosanas, riego control, riego deficitario controlado.*

**Title: Influence of chitosan application and controlled deficient irrigation on the physical and chemical characteristics of the apricot tree 'Mirlo Rojo ®'**

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

**ABSTRACT**

This study evaluates the effect of regulated deficit irrigation (RDI) and chitosan (CS) application on the quality of 'Mirlo Rojo ®' apricots. To this end, physical, biochemical, and functional parameters of the fruit under different treatments were analyzed: CR1: Control Irrigation, CR2: Regulated Deficit Irrigation, and CR3: Regulated Deficit Irrigation + Chitosan. The results show that the combined use of RDI and CS improves fruit quality.

*Keywords: 'Mirlo Rojo ®', chitosan, irrigation control, controlled deficit irrigation.*

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1. ORIGEN Y ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE ALBARICOQUERO</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3. SITUACIÓN ECONÓMICA DEL CULTIVO DE ALBARICOQUERO</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4. LAS QUITOSANAS. PROPIEDADES Y USOS EN LA AGRICULTURA</b> .....	<b>10</b>
<b>1.5. ESTUDIOS PREVIOS. CONTEXTUALIZACIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2. PLAN DE TRABAJO</b> .....	<b>12</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1. MATERIAL VEGETAL. DESCRIPCIÓN DE LA VARIEDAD.</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2. DESCRIPCIÓN DE LA FINCA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3. CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4. TRATAMIENTOS DE QUITOSANAS Y RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO</b> .....	<b>17</b>
<b>3.5. RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO</b> .....	<b>20</b>
<b>3.6. PARÁMETROS EVALUADOS</b> .....	<b>21</b>
<b>3.6.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL FRUTO</b> .....	<b>21</b>
<b>3.6.2. COLOR EXTERNO DEL FRUTO</b> .....	<b>23</b>
<b>3.6.3. pH, SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES, ACIDEZ E ÍNDICE DE MADUREZ</b> .....	<b>24</b>
<b>3.6.4. PERFIL DE AZÚCARES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS</b> .....	<b>25</b>
<b>3.6.5. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO EN FENOLES TOTALES</b> .....	<b>26</b>
<b>3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	<b>27</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL FRUTO</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2. COLOR EXTERNO DEL FRUTO</b> .....	<b>29</b>
<b>4.3. pH, SÓLIDOS SOLUBLES, ACIDEZ E ÍNDICE DE MADUREZ</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4. PERFIL DE AZÚCARES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS</b> .....	<b>34</b>
<b>4.5. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO EN FENOLES TOTALES</b> .....	<b>35</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>37</b>
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	<b>37</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Producción albaricoque en España 2019 – 2023.

Figura 2: Área cosechada albaricoque en España 2019 – 2023.

Figura 3: Distribución autonómica de la producción de albaricoque.

Figura 4: Plan de trabajo.

Figura 5: Situación y emplazamiento de la finca.

Figura 6: Diseño experimental.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de los tratamientos de riego y quitosanas en los parámetros morfológicos peso (g), diámetro ecuatorial ( $\emptyset_e$ ) (mm), diámetro sutural ( $\emptyset_s$ ) (mm), altura fruto (mm), espesor pulpa (mm), índice de forma (%) y rendimiento pulpa (%).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos de riego en los valores de luminosidad ( $L^*$ ), tono rojo-verdoso ( $a^*$ ), tono azul-amarillento ( $b^*$ ), saturación del croma ( $C^*$ ) y ángulo hue (h) en el albaricoque 'Mirlo Rojo <sup>®</sup>'.

Tabla 3. Efectos de los tratamientos de riego en los parámetros texturales del fruto.

Tabla 4. Efectos de los tratamientos de riego en la caracterización química en base a los valores de Sólidos Solubles Totales (SST) (o Brix), Acidez Total (AT) (g ác. málico/L) e Índice de Madurez (IM) en el albaricoque 'Mirlo Rojo <sup>®</sup>'.

Tabla 5. Efectos de los tratamientos de riego en el perfil de azúcares y ácidos orgánicos (g/100 mL zumo) en el albaricoquero 'Mirlo Rojo <sup>®</sup>'.

Tabla 6. Efectos de los tratamientos de riego en la cantidad de actividad antioxidante (mMolar Trolox) y fenoles totales (mg eq de Ac. gálico/100 g).

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Vista general. Mirlo Rojo.

Fotografía 2. Albaricoques recolectados.

Fotografía 3. Selección albaricoques en el laboratorio.

Fotografía 4. Vista frutos tratamiento CR1.



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ORIGEN Y ANTECEDENTES

El albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.) tiene su origen en Asia Central, concretamente en las regiones montañosas que comprenden China, Kazajistán, Uzbekistán y Kirguistán, donde se cultivó durante miles de años antes de expandirse al resto del mundo (Hormaza et al., 2005).

El albaricoquero fue introducido en la región mediterránea por los romanos alrededor del siglo I a.C. Posteriormente, en el siglo VII, los árabes introdujeron su cultivo en la península ibérica, especialmente en zonas de clima templado y suelos ligeros, favoreciendo su expansión por las regiones mediterráneas. Con el paso del tiempo, su producción se consolidó, alcanzando gran relevancia en Europa entre los siglos XVI y XVIII, convirtiéndose en uno de los frutales más apreciados (Nubiola, 1921).

En las últimas décadas, ha cobrado importancia el desarrollo de técnicas que mejoran la calidad y conservación del fruto en la postcosecha, dadas sus características de fruto climatérico y su alta perecibilidad. Esto ha impulsado la investigación en alternativas sostenibles que permitan mantener su calidad durante el almacenamiento y transporte (Anaya-Esparza et al., 2020).

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

### 1.2. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO DE ALBARICOQUERO

El albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.) es un árbol frutal caducifolio perteneciente a la familia Rosaceae, subfamilia Prunoideae, dentro del género *Prunus*. Botánicamente, presenta hojas simples, alternas, ovaladas, con borde aserrado y peciolo rojizo.

Las flores son de color blanco o rosadas, hermafroditas y solitarias, y el fruto es una drupa compuesta por un endocarpio leñoso que protege la semilla, un mesocarpio carnoso y un exocarpo glabro de color anaranjado (Nubiola, 1921).

**Fotografía 1. Vista general Mirlo Rojo.**



*Fuente: elaboración propia*

El cultivo se adapta bien a climas templados y requiere un periodo invernal de reposo vegetativo con un número mínimo de horas frío para lograr una floración y cuajado óptimos, aunque es sensible a las heladas primaverales debido a su floración temprana (Hormaza et al., 2005).

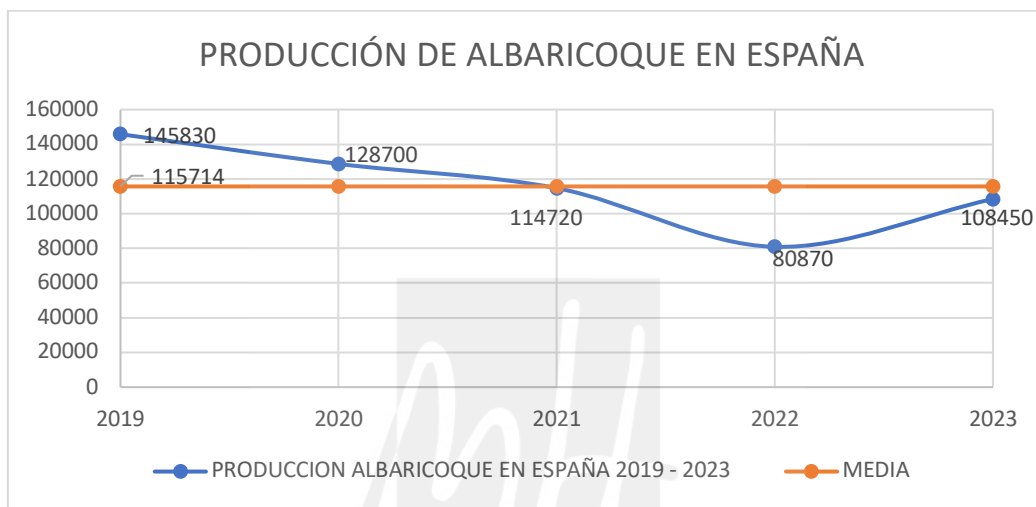
La maduración del fruto varía entre 3 y 6 meses según la variedad y las condiciones climáticas. La mayoría de las variedades son autocompatibles, lo que favorece el cuajado del fruto, aunque existen variedades que requieren polinización cruzada para garantizar este proceso (CEBAS-CSIC, 2023).

### **1.3. SITUACIÓN ECONÓMICA DEL CULTIVO DE ALBARICOQUERO**

El cultivo del albaricoquero tiene una gran importancia económica a nivel mundial, en concreto en áreas de clima mediterráneo, donde las condiciones edafoclimáticas favorecen su desarrollo. En 2023, según datos de la FAO, la producción mundial alcanzó los 3,8 millones de toneladas, de las cuales España aportó 108.450 toneladas, lo que representa aproximadamente el 2,8% de la producción mundial total (FAO, 2023).

España es uno de los principales productores de albaricoque en Europa, junto a países como Italia, Francia y Grecia. A nivel nacional, las regiones de Murcia, Comunidad Valenciana y Aragón concentran la producción nacional, siendo la Región de Murcia el principal productor. En 2022, el albaricoque fue de los cultivos más afectados, especialmente en el valle del Ebro y en Murcia, donde se ha visto reducido cerca de un 40% en la producción con respecto a 2021 (FAO, 2023).

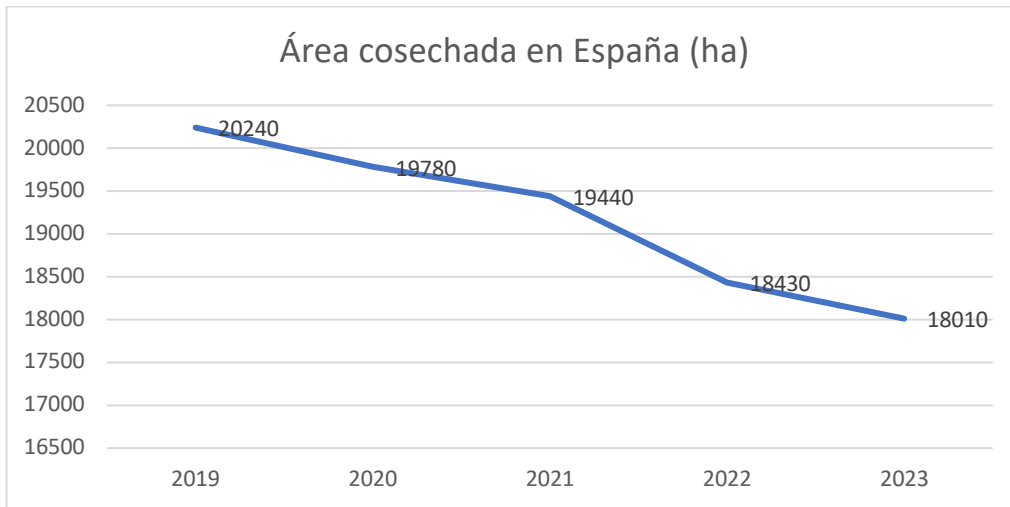
**Figura 1: Producción albaricoque en España 2019 – 2023**



*Fuente: elaboración propia. Datos de FAO, 2023*

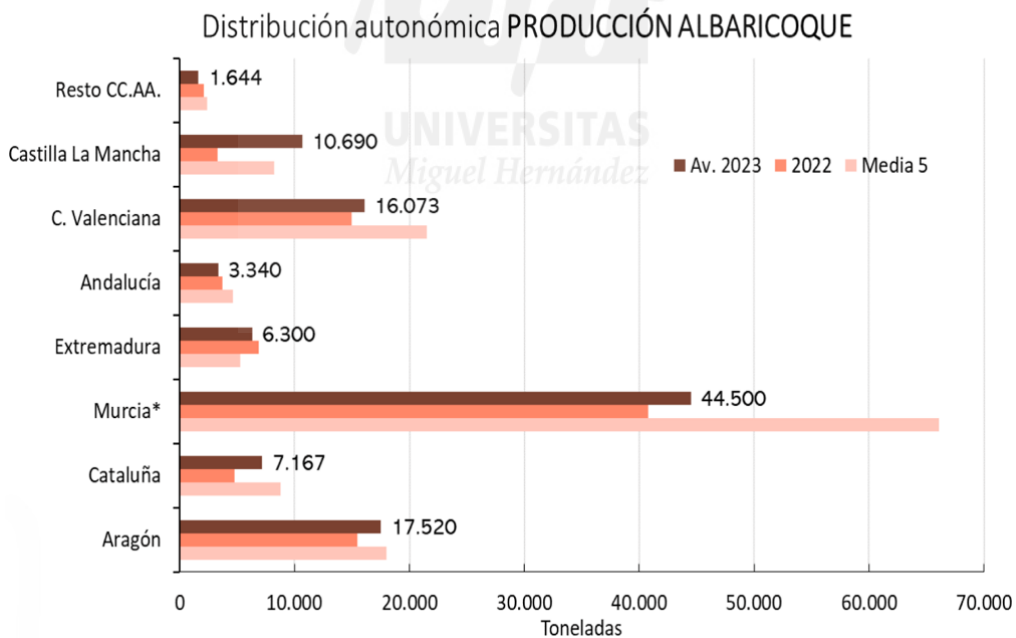
La reducción progresiva de la superficie cultivada en España a lo largo de los años se ha visto afectada por factores como la escasez de agua, las exigencias de sostenibilidad y aumento de las exigencias ambientales (MAPA, 2024). Esta situación ha incentivado la búsqueda de tecnologías para mejorar la calidad, conservación y vida postcosecha del fruto. Por ello se ha incrementado el interés por el uso de compuestos naturales, en los que destaca las quitosanas (CS), un polisacárido catiónico natural derivado de la quitina. Este compuesto presenta propiedades estimulantes, antimicrobianas y capacidad para formar películas protectoras, ayudando a prolongar la vida útil del fruto y preservar sus cualidades organolépticas y nutricionales durante la conservación y distribución. (Anaya-Esparza et al., 2020).

**Figura 2: Área cosechada albaricoque en España 2019 – 2023**



Fuente: elaboración propia. Datos de FAO, 2023

**Figura 3: Distribución autonómica de la producción de albaricoque**



Fuente: MAPA.GOB.ES ,2024

#### 1.4. LAS QUITOSANAS. PROPIEDADES Y USOS EN LA AGRICULTURA

La quitosana es un polisacárido de origen natural obtenido a partir de la desacetilación química de la quitina, presente en los exoesqueletos de crustáceos, insectos y pared celular de hongos y levaduras. Se trata de un biopolímero biodegradable, biocompatible y no tóxico que se utiliza en diversas áreas como la medicina, la industria alimentaria y, cada vez más, en la agricultura (Silva et al., 2017., Hernández et al., 2009).

En el sector agrario, ha generado interés como agente bioestimulante y protector postcosecha, por su habilidad para inducir mecanismos de defensa en las plantas. Su aplicación en forma de recubrimiento sobre las hojas y frutos forma una película semipermeable que reduce la pérdida de agua, tasa de respiración y disminuye la producción de etileno, ralentizando la maduración del fruto. Su aplicación no perjudica al fruto y mejora la firmeza, retención de peso, contenido en ácidos solubles, acidez y color (Anaya-Esparza et al., 2020).

Además, la quitosana presenta actividad antimicrobiana, al interferir contra las membranas celulares de bacterias y hongos fitopatógenos como *Fusarium oxysporum*, *Botrytis Cinérea* o *Penicillium spp.* Esta acción de la quitosana reduce la necesidad del uso de fungicidas y productos fitosanitarios sintéticos, favoreciendo una producción más respetuosa con el medio ambiente y ofreciendo una alternativa ecológica (Hajji et al., 2018).

#### 1.5. ESTUDIOS PREVIOS. CONTEXTUALIZACIÓN.

En los últimos años, diferentes estudios han analizado el efecto de las quitosanas en la calidad postcosecha de frutos como albaricoques, melocotones, kiwis o fresas, mediante su aplicación foliar en forma de recubrimientos. Todos ellos se han enfocado en estudiar las mejoras logradas en aspectos como la firmeza, sólidos solubles, acidez, contenido fenólico, flavonoides y capacidad antioxidante, así como la reducción de la pérdida de

peso del fruto durante su almacenamiento y la disminución de ataques patógenos (Anaya-Esparza et al., 2020).

Un estudio en albaricoque ha demostrado que la aplicación de quitosanas combinado con aislado de proteínas de soja permitió mantener la textura y calidad durante 42 días a 4°C, debido a la inhibición de enzimas que degradan la pared celular (El-Adawy et al., 1995).

En melocotón, la aplicación foliar de quitosanas al 1% mejora los parámetros del fruto en cuanto a peso, firmeza, acidez y contenido de ácido ascórbico. El efecto es más marcado en los ensayos realizados 50 días después de la floración (Sajid et al., 2020; Khan et al., 2023).

Otros estudios realizados en ciruela y lichi, han puesto de manifiesto que el uso de quitosanas combinado con ácido ascórbico ayudó a conservar la firmeza y a reducir la actividad de enzimas oxidativas como el polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD), prolongando la vida útil del fruto. Sin embargo, este efecto inhibitorio puede estar relacionado con la concentración, el peso molecular y el grado de desacetilación del biopolímero (Pelentir et al., 2011).

En estudios más recientes realizados con nanopartículas de quitosanas en albaricoque, se ha observado un mayor efecto en la conservación del fruto, mejorando su aspecto externo e interno, como la firmeza, dulzor, acidez y compuestos antioxidantes. Además, la reducción del uso de fungicidas sintéticos se ha visto favorecida en frutos como el mango, uva, kiwi y fresa, donde su aplicación ha inhibido patógenos como *Botrytis cinerea* y *Penicillium spp* (Kumari et al., 2023).

En conjunto, estos estudios consolidan a la quitosana como un agente clave en la agricultura sostenible, con efectos beneficiosos para la vida útil del fruto y su calidad postcosecha. Sin embargo, los resultados obtenidos podrían optimizarse ajustando las proporciones de los componentes, formas de aplicación y condiciones de almacenamiento, lo que permitiría mejorar aún más su eficacia.

## **2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO**

### **2.1. OBJETIVOS**

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es evaluar el efecto de diferentes tratamientos de riego deficitario controlado (RDC), de quitosanas y de la combinación de ambos sobre las características físico-químicas del fruto del albaricoquero de la variedad 'Mirlo Rojo<sup>®</sup>', con el fin de analizar el potencial de dichos tratamientos como herramientas para mejorar la calidad del albaricoque.

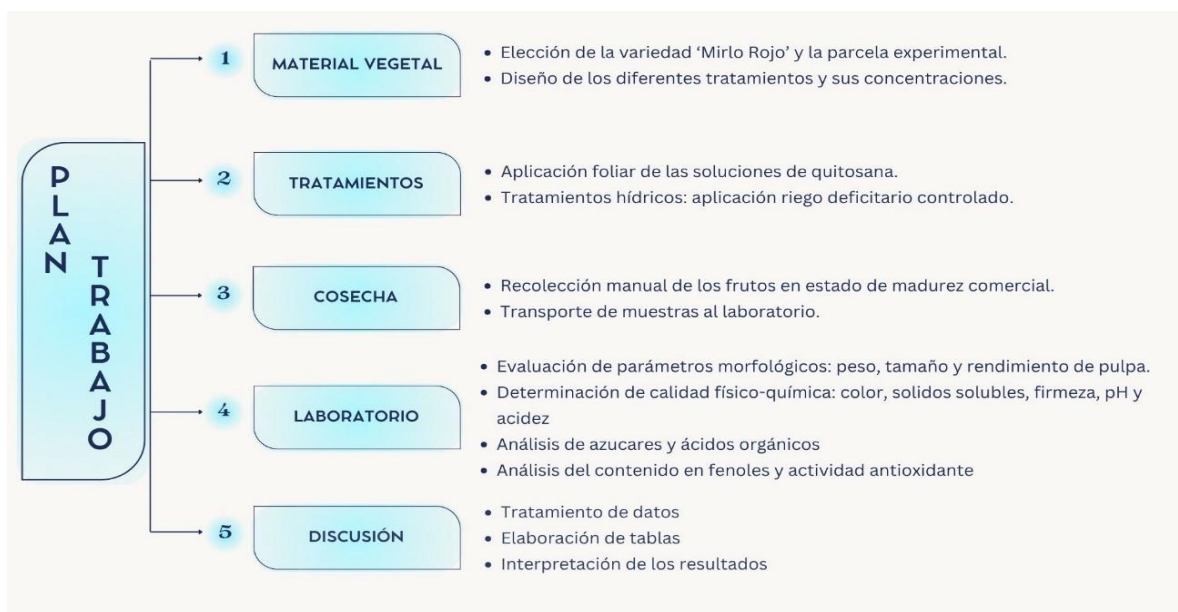
Este objetivo general se desglosa en dos objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la aplicación de quitosanas, del RDC y de la combinación de ambos en los parámetros morfométricos del fruto.
- Evaluar la calidad final del fruto en relación con su perfil de azúcares y ácidos orgánicos, contenido en fenoles totales y actividad antioxidante

### **2.2. PLAN DE TRABAJO**

Para el estudio de la morfometría y la calidad del fruto se determinaron las variables reflejadas en la figura 4.

**Figura 4: Plan de trabajo.**



*Fuente: elaboración propia.*

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAL VEGETAL. DESCRIPCIÓN DE LA VARIEDAD.

El material vegetal utilizado en el presente estudio estuvo compuesto por albaricoqueros adultos (*Prunus armeniaca L.*) de la variedad 'Mirlo Rojo<sup>®</sup>'. Esta variedad fue desarrollada por el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en la Región de Murcia en el año 2022 (CEBAS-CSIC 2023).

Se trata de una variedad autocompatible y de recolección temprana, adaptada a las condiciones agroclimáticas del sureste español, especialmente en la Región de Murcia (CEBAS-CSIC 2023).

El árbol presenta un vigor muy alto, porte semiabierto y una productividad elevada, con un nivel de aclareo medio, lo que favorece la eficiencia en el manejo agronómico.

La fecha media de floración se sitúa en torno al 27 de febrero, por lo que puede ser sensible a heladas tardías en zonas con riesgo climático. Asimismo, esta variedad muestra resistencia al virus de la Sharka (Plum Pox Virus), lo que refuerza su viabilidad agronómica en campo (CEBAS-CSIC 2023).

El fruto madura aproximadamente hacia el 18 de mayo, lo que permite su entrada temprana al mercado, una ventaja comercial significativa. Presenta un peso medio de 70 g, firmeza muy alta y una excelente conservación postcosecha. La piel es de color naranja claro con presencia de chapa roja, lo que incrementa su valor estético y aceptación en el mercado. La pulpa es de color naranja claro, con textura densa, jugosa y sabor equilibrado (CEBAS-CSIC 2023).

En cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, el fruto presenta un contenido en azúcares de 13,2 °Brix y una acidez de 1,34 g/100 mL., parámetros que confieren un perfil organoléptico dulce, armonioso y muy apreciado por el consumidor final. Estas características, unidas a su buena firmeza y resistencia al transporte, hacen de 'Mirlo Rojo <sup>®</sup>' una variedad idónea para estudios de conservación y mejora postcosecha mediante tratamientos como la aplicación de quitosana (CEBAS-CSIC 2023).

**Fotografía 2. Albaricoques recolectados.**



Fuente: elaboración propia

### Fotografía 3. Selección albaricoques en el laboratorio.



Fuente: elaboración propia

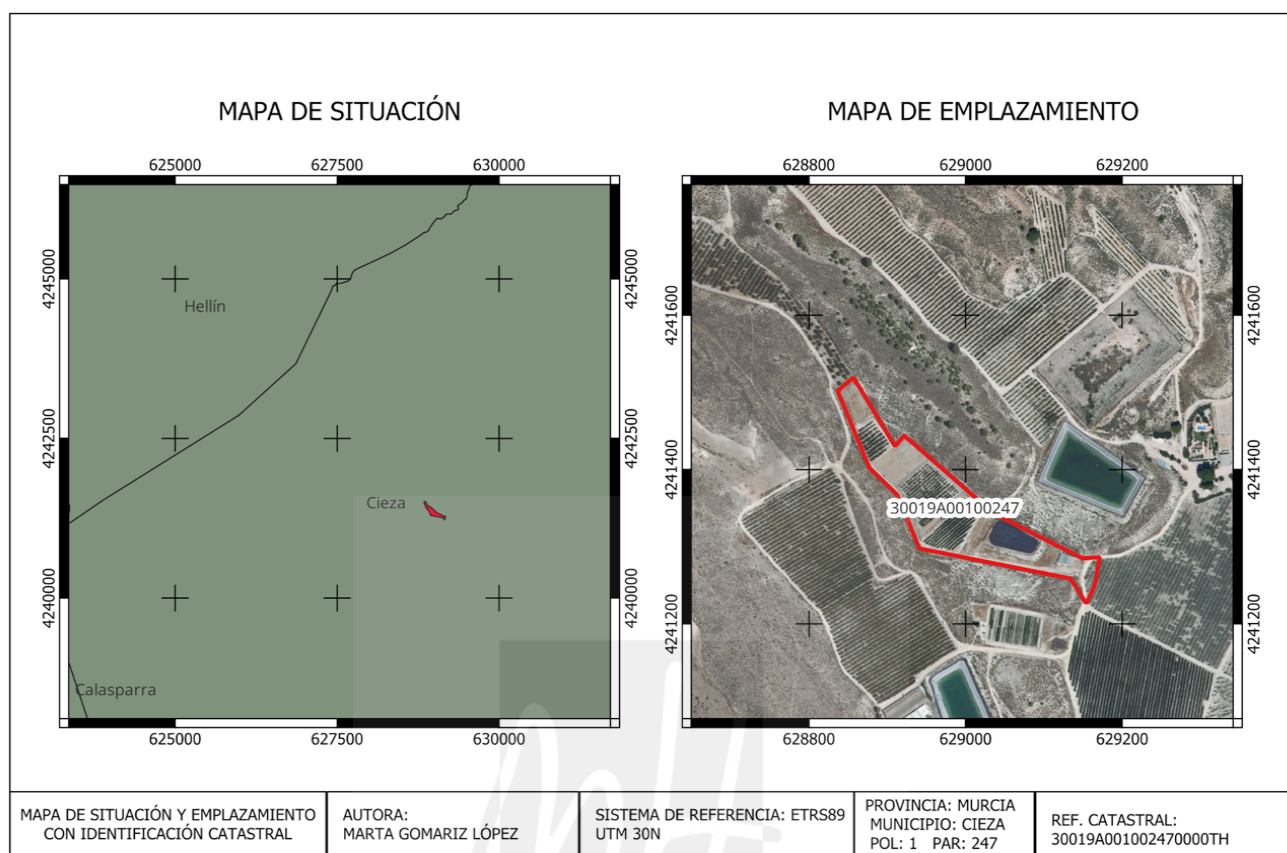
### 3.2. DESCRIPCIÓN DE LA FINCA EXPERIMENTAL

El cultivo del albaricoquero de la variedad “Mirlo Rojo<sup>®</sup>” se llevó a cabo en una finca experimental ubicada en el municipio de Cieza, en la Región de Murcia ( $38^{\circ}10'42.9''$  N,  $0^{\circ}59'30.5''$  W), a una altitud aproximada de 350 metros sobre el nivel del mar. La zona registra cerca de 80 horas anuales con temperaturas inferiores a  $7^{\circ}\text{C}$ , lo que la hace idónea para el cultivo de variedades con bajas necesidades de frío. De acuerdo con la información proporcionada por el visor SIGPAC, la ubicación precisa es:

- Provincia: 30 – Murcia.
- Municipio: 019 – Cieza.
- Polígono: 1.
- Parcela: 247.

Esta información se corresponde con la figura 5:

Figura 5: Situación y emplazamiento de la finca.



Fuente: elaboración propia.

En lo que respecta al material vegetal, se utilizaron albaricoqueros (*Prunus armeniaca* L., cv. 'Mirlo Rojo<sup>®</sup>') de ocho años de edad, con un marco de plantación de 4 x 2 metros. El suelo de la finca presenta textura franco-arcillosa, pH de 8,2 y un alto contenido en caliza y cloruros (6,85 meq/L).

El agua de riego tiene una conductividad eléctrica de 0,8–1,1 dS/m, un bajo contenido de materia orgánica y niveles reducidos de potasio (K) y fósforo (P) asimilables. La gestión agronómica habitual incluye podas anuales, control integrado de plagas y un plan de fertirrigación adaptado al estado fenológico del cultivo.

### **3.3. CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS**

La finca se encuentra en la zona de Cieza, que presenta clima de tipo mediterráneo semiárido, caracterizado por inviernos suaves, veranos secos y calurosos y escasas precipitaciones. La temperatura media anual se sitúa en torno a los 17 °C, con máximas estivales que superan los 35 °C. Durante el periodo de desarrollo del fruto, las temperaturas medias diurnas estuvieron comprendidas entre 24 y 32 °C. La precipitación acumulada entre marzo y junio fue inferior a los 100 mm, lo que justifica la necesidad de riego complementario.

Los requerimientos de riego de los cultivos (ETc) se determinaron con la ETo diaria y un factor de cultivo basado en la época del año (Abrisqueta et al., 2001), junto con el porcentaje de superficie de suelo sombreada por la copa de los árboles (Fereres y Goldhamer, 1990). El riego se aplicó diariamente durante la noche mediante un sistema de goteo, compuesto por una línea única de manguera de polietileno (PE) equipada con goteros espaciados cada 50 cm, con un caudal unitario (Q) de 2 L/h.

### **3.4. TRATAMIENTOS DE QUITOSANAS Y RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO**

Todos los árboles recibieron riego al 100 % de la ETc desde el comienzo de la fase I (floración) hasta el final de la fase II (endurecimiento del hueso), abarcando aproximadamente desde finales de febrero hasta inicios de mayo. Durante este intervalo se aplicó un volumen de agua equivalente a la capacidad de campo del suelo, asegurando un riego completo.

Posteriormente, durante la fase III (crecimiento rápido del fruto), se aplicaron los tratamientos de RDC distribuidos en la parcela experimental. La fase III se considera un periodo crítico, ya que las restricciones hídricas pueden ocasionar pérdidas importantes en la producción.

Aunque existe abundante evidencia sobre la importancia de esta etapa para el rendimiento del albaricoquero, todavía es necesario profundizar en el estudio del impacto del estrés hídrico en la calidad del fruto durante estos momentos clave. Frente a la creciente limitación de recursos hídricos, especialmente en periodos donde la producción potencial podría verse afectada, es esencial evaluar estrategias alternativas.

Una opción para aportar valor al cultivo es el empleo de indicadores que permitan evidenciar mejoras en la calidad nutricional a través de prácticas sostenibles (Andreu-Coll et al., 2024).

El experimento se basó en la aplicación de los tres siguientes tratamientos:

- Tratamiento CR1: Los árboles fueron regados al 105-110% de la ETc (riego control).
- Tratamiento CR2: Los árboles fueron regados al 70% de la ETc (riego deficitario controlado).
- Tratamiento CR3: Los árboles fueron regados al 70% de la ETc y se aplicó 0,21 g de quitomax por árbol, el día 16 de abril de 2025 (riego deficitario controlado + quitosanas).

Las soluciones se prepararon justo antes de su aplicación para garantizar su estabilidad y la aplicación se realizó con mochila pulverizadora manual, cubriendo uniformemente el follaje y los frutos, asegurando un mojado homogéneo.

En la figura 6 se muestra el diseño experimental.



La combinación de RDC + quitosanas puede suponer beneficios adicionales teniendo una producción más sostenible, al reducir el uso de agua y minimizar la dependencia de productos de síntesis química. En regiones con escasez hídrica como el sureste español, su aplicación conjunta puede representar una alternativa viable para obtener frutos de alta calidad comercial y nutracéutica, optimizando al mismo tiempo los recursos agronómicos disponibles (Buendía et al., 2008; Hassan et al., 2021).

Se recolectaron 540 frutos de cada tratamiento. De cada árbol se seleccionaron 60 frutos en el mismo estado de maduración. La recolección se realizó manualmente en el momento óptimo de madurez fisiológica, asegurando así que los frutos presentaran un estado adecuado de sabor, color y firmeza. Los frutos, una vez recolectados, fueron transportados inmediatamente al laboratorio para su análisis. Una vez en el laboratorio, los frutos de cada tratamiento se dividieron aleatoriamente en tres lotes de 30 frutos cada uno, siendo cada uno de ellos una réplica.

### **3.5. RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO**

La técnica de riego deficitario controlado (RDC) es una estrategia de manejo hídrico basada en aplicar reducciones controladas de agua de riego durante fases fenológicas específicas en las que el cultivo es menos sensible al déficit hídrico, sin comprometer el rendimiento ni la calidad del fruto (Girona et al., 2005).

Esta técnica ha demostrado ser eficaz en especies frutales como el melocotonero, cerezo y albaricoquero, ya que permite una optimización del uso del agua en regiones con escasez hídrica, como es el caso del sureste español. Su aplicación durante fases como el endurecimiento del hueso, donde el desarrollo del fruto es menos dependiente del riego, permite ahorrar agua sin afectar a la producción final (Girona et al., 2005; Pérez-Pastor et al., 2009).

El RDC no solo contribuye a un uso más eficiente de los recursos hídricos, sino que también puede inducir respuestas fisiológicas en el árbol que afectan positivamente a

ciertas características del fruto. Diversos estudios han observado mejoras en atributos como la firmeza, el contenido en sólidos solubles y la concentración de compuestos antioxidantes, como respuesta al estrés hídrico moderado y bien controlado (Marsal et al., 2008; Intrigliolo & Castel, 2010).

La implementación del RCD requiere una planificación precisa del calendario de riego, así como un conocimiento detallado de las fases más sensibles y tolerantes al estrés hídrico de la especie cultivada. Para ello, se recomienda el uso de sensores de humedad y técnicas de monitorización fisiológica como el potencial hídrico del tallo, para ajustar el manejo y que sea más eficiente (Fereres & Soriano, 2007).

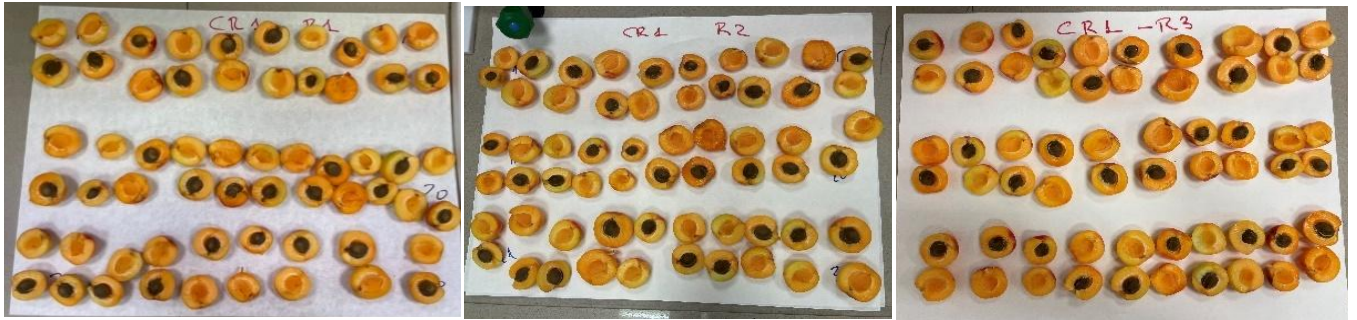
En la agricultura más sostenible y resiliente al cambio climático, el RDC se presenta como una herramienta clave para mantener la calidad y competitividad de los frutos, al tiempo que se reduce significativamente el consumo de agua en los sistemas agrícolas (Pérez-Pastor et al., 2014).

### **3.6. PARÁMETROS EVALUADOS**

#### **3.6.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL FRUTO**

Las variables morfométricas que se midieron en los frutos fueron: peso del fruto y del hueso, diámetro ecuatorial, longitud del fruto, espesor de la pulpa, rendimiento de la pulpa, color externo del fruto y firmeza. Además, se calculó la esfericidad o índice de forma como la relación entre el diámetro ecuatorial/longitud del fruto.

**Fotografía 4. Vista frutos tratamiento CR1.**



*Fuente: elaboración propia.*

En el laboratorio, a cada fruto se le determinó el peso fresco (g) y el peso del hueso (g) mediante una balanza digital de precisión (Sartorius BL 600, Madrid, España) con una precisión de  $\pm 0,01$  g. Asimismo, se midieron los diámetros ecuatorial y sutural, así como la altura del fruto, utilizando un calibrador digital electrónico (Mitutoyo CD-15 DC) con una precisión de  $\pm 0,01$  mm.

A partir de los datos registrados, se determinó el rendimiento de pulpa, expresado en porcentaje. Este se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento pulpa (\%)} = \frac{Pf - Ph}{Pf} \times 100$$

Siendo:

Ph: peso medio del fruto (g).

Ph: peso medio del hueso (g).

Para la medición del espesor de la pulpa, se utilizó un calibre electrónico digital (Mitutoyo CD- 15 DC), realizando dos mediciones del fruto en puntos opuestos, midiendo la distancia desde el hueso hasta la piel en ambos lados y la medida se expresó en mm.

La firmeza de la pulpa se determinó utilizando una placa plana de acero acoplada a un texturómetro (TX-XT2i Texture Analyser, Stable Microsystems). La firmeza de la pulpa se

expresó como “fuerza máxima” (N), fuerza de compresión máxima aplicada para provocar una deformación del 5%; “trabajo total” (N mm<sup>-1</sup>), trabajo de compresión acumulado aplicado para causar 5% de deformación, fuerza de rotura (N), fuerza de penetración aplicada para causar rotura del pelado y fuerza de trabajo máxima (N mm<sup>-1</sup>), penetración fuerza acumulada para causar una deformación del 10%.

### 3.6.2. COLOR EXTERNO DEL FRUTO

La evaluación del color externo del fruto se realizó sobre la epidermis de los albaricoques ‘Mirlo Rojo ®’, utilizando un colorímetro de reflectancia tipo Minolta CR-300 (Minolta Co., Osaka, Japón) acoplado a un procesador de datos DP-301.

Las mediciones se efectuaron en dos puntos opuestos de la zona ecuatorial del fruto, evitando zonas con defectos o daños visibles, para asegurar una lectura representativa.

El sistema de color utilizado fue el modelo CIE Lab\*, donde:

- L\* representa la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco).
- a\* varía de verde (-a\*) a rojo (+a\*).
- b\* varía de azul (-b\*) a amarillo (+b\*).

A partir de estos valores se calcularon dos parámetros derivados:

- Cromaticidad (C\*), que expresa la intensidad del color:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

- Ángulo de tono (h°), que representa la tonalidad del color:

$$h^\circ = \frac{b^*}{a^*}$$

Se realizaron 60 lecturas por tratamiento (dos por fruto en 30 frutos por repetición), lo que permitió una caracterización precisa del comportamiento del color del fruto en respuesta a los tratamientos aplicados.

El análisis del color es un indicador importante en la evaluación de la calidad visual y grado de madurez del fruto, y puede verse influenciado tanto por factores genéticos como por condiciones de cultivo, incluyendo tratamientos bioestimulantes como las quitosanas.

### 3.6.3. pH, SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES, ACIDEZ E ÍNDICE DE MADUREZ

Para la caracterización química básica del fruto de albaricoquero 'Mirlo Rojo<sup>®</sup>', se evaluaron los parámetros de: pH, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM), todos ellos indicadores clave de la calidad organoléptica y estado de maduración del fruto. El zumo obtenido al exprimir la pulpa de los albaricoques se utilizó para realizar las siguientes determinaciones, todas ellas llevadas a cabo por triplicado para cada tratamiento:

- Acidez titulable (AT) y pH: Se determinaron mediante potenciómetro ácido-base (877 Titrino plus, Metrohm ion analys CH9101, Herisau, Suiza), utilizando 0,1 mol L<sup>-1</sup> de NaOH hasta pH 8,1, sumergiendo el electrodo en el zumo recién obtenido. En el caso de la AT, los resultados se expresaron en gramos de ácido málico por litro (g/L), por ser este el ácido predominante en albaricoque.
- Sólidos solubles totales (SST): Se determinaron mediante un refractómetro digital Atago (modelo N-20; Atago, Bellevue, WA, EE.UU.) a 20° C, y los resultados se expresaron en grados Brix (°Brix), valor que representa el contenido aproximado de azúcares en el fruto.
- Índice de madurez (IM): Se calculó como la relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable, aplicando la fórmula:

$$\text{Índice de madurez} = \frac{SST (\text{°Brix}) * 10}{AT \left( \frac{\text{g ácido málico}}{L} \right)}$$

Este índice permite valorar el equilibrio entre dulzor y acidez, y es útil para determinar el momento óptimo de recolección y comercialización.

#### **3.6.4. PERFIL DE AZÚCARES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS**

Con el fin de analizar la composición del fruto y detectar posibles variaciones derivadas del tratamiento con quitosanas, RDC y la combinación de ambos, se determinó el perfil de ácidos orgánicos y azúcares. Estos compuestos son determinantes tanto en las propiedades sensoriales del fruto como en su comportamiento durante la conservación postcosecha.

Para ello, se extrajo el zumo del fruto, el cuál fue centrifugado a través de una membrana de filtro Millipore de 0,45 micras, y luego se inyectó en un cromatógrafo Hewlett-Packard 1100. El sistema de elución consistió en ácido fosfórico al 0,1% con un flujo de 0,5 mL/ min, temperatura de 30°C e inyección de 10 µl. Los ácidos orgánicos se separaron en una columna de Supelcogel TM C-610H (30 cm x 7,8 mm id, Supelco) y una precolumna Supelguard (5 cm x 4,6 mm, Supelco), y se detectó mediante un detector de diodos establecido a 210 nm.

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

El análisis de azúcares se realizó utilizando el mismo equipo de HPLC, columnas y condiciones de elución, pero con un detector de índice de refracción (HP 1100, G1362A). Las curvas de calibración de patrones puros de los ácidos orgánicos (oxálico, cítrico, málico, succínico, tartárico, fumárico, fórmico, láctico, quínico, acético y ascórbico) y de los azúcares (glucosa, fructosa, sorbitol y sacarosa) (Sigma, Poole) fueron utilizadas para la cuantificación. En ambos casos, las concentraciones se expresaron en % (g/100 mL de zumo). Todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado.

### 3.6.5. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO EN FENOLES TOTALES

El análisis de la actividad antioxidante y el contenido total de fenoles en el fruto es fundamental para valorar su capacidad de defensa frente al estrés oxidativo, así como su valor nutracéutico.

Para la extracción de los compuestos antioxidantes, se siguió el procedimiento descrito por Wojdyło et al. (2008). A 0,5 gramos de muestra liofilizada se le añadieron 10 mL de una mezcla metanólica (MeOH:agua 80:20 v/v) acidificada con HCl al 1 %, sometiéndose la suspensión a sonicación durante 15 minutos a 20 °C. Tras un reposo de 24 horas a 4 °C, se repitió el proceso de sonicación y las muestras fueron centrifugadas a 15.000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante obtenido se utilizó para las determinaciones posteriores.

La evaluación de la capacidad antioxidante se determinó por tres métodos DPPH, ABTS Y FRAP.

El método DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) se llevó a cabo siguiendo el método propuesto por Brand-Williams et al., (1995) con ligeras modificaciones. La recta de calibrado se realizó con Trolox (97%) 10 mM. La capacidad antioxidante de cada una de las muestras se midió por triplicado. Para ello, se añadió a cada cubeta de espectrometría 10 µL muestra problema, 40 µL metanol y 950 µL de la disolución DPPH•. Se dejó reaccionar durante 10 min en oscuridad y se midió la absorbancia a 515 nm en el espectrofotómetro (UV-Vis Uvikon XS, Bio-Tek Instruments, Saint Quentin Yvelines, Francia) a 515 nm. Los resultados se expresaron mM Trolox peso seco.

El método ABTS+ (ácido 2,2-azinobis-(3 etilbenzotiazolín)-6-sulfónico) se llevó a cabo utilizando el ensayo de decoloración del radical catión ABTS+ con algunas modificaciones (Re et al., 1999). Se preparó el reactivo con una concentración 7 mM de ABTS y tras la adición de 1 mL de persulfato de potasio 2,45 mM; se dejó reaccionar durante 12-16 h en oscuridad para que tuviera lugar la formación del catión ABTS+. Una vez transcurrido este tiempo, se diluyó la disolución con agua ultrapura hasta ajustar la absorbancia a  $0,700 \pm 0,020$  empleando una longitud de onda de 734 nm. La recta de

calibrado se realizó con Trolox 10 mM. La capacidad antioxidante de las muestras se midió por triplicado, añadiendo en cada cubeta 10  $\mu$ L de muestra y 990  $\mu$ L de la disolución ABTS+. Tras dejar reaccionar durante 6 min se midió su absorbancia a 734 nm. Los resultados se expresaron mM Trolox peso seco y se midió por triplicado.

El método FRAP (“ferric reducing ability of plasma”) se llevó a cabo siguiendo el protocolo desarrollado por Benzie y Strain (1996), con alguna modificación. La capacidad antioxidante de las muestras se midió por triplicado, añadiendo en cada cubeta 10  $\mu$ L de muestra y 990  $\mu$ L del reactivo FRAP (previamente preparado con TPTZ 10 mM, FeCl<sub>3</sub> 20 mM y tampón acetato 0,3 M). Tras dejar reaccionar durante 10 min se midió su absorbancia a 593 nm.

El contenido en fenoles totales se determinó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999), que determina la capacidad que tienen los polifenoles para reducir el Mo (VI) a Mo (V), como resultado de tal reacción, el reactivo de color amarillo adquiere un intenso color azul que se mide con el espectrofotómetro a 765 nm. Para ello, se mezcló una alícuota del extracto con el reactivo de Folin y, tras dejar reaccionar durante tres minutos se añadió un mililitro de carbonato sódico al 20 % p/v. La reacción se mantuvo durante una hora en oscuridad y se midió la absorbancia a 765 nm mediante el espectrofotómetro arriba mencionado. La cuantificación se realizó a partir de una curva patrón de ácido gálico, expresando los resultados como miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de peso seco (mg GAE 100 g<sup>-1</sup> peso seco).

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis para la comparación de muestras y las medianas se compararon con la prueba de Dunn con un nivel de confianza del 95%. Se utilizó un umbral de  $\alpha = 0.05$  para definir asociaciones como estadísticamente significativas. El análisis estadístico se realizó utilizando el software XLSTAT versión 9 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Las muestras significativamente diferentes se etiquetaron con letras distintas para facilitar la interpretación de los resultados. En la

prueba de Kruskal-Wallis los valores se agrupan por nivel de significación indicados de la siguiente forma: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; ns=no significativo.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL FRUTO

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para las variables morfométricas determinadas en el fruto.

**Tabla 1. Efecto de los tratamientos de riego y quitosanas en los parámetros morfológicos peso (g), diámetro ecuatorial ( $\emptyset_e$ ) (mm), diámetro sutural ( $\emptyset_s$ ) (mm), altura fruto (mm), espesor pulpa (mm), índice de forma (%) y rendimiento pulpa (%).**

TRATAMIENTO	PESO	DIÁMETRO ECUATORIAL	DIÁMETRO SUTURAL	ALTURA FRUTO	ESPESOR PULPA	ÍNDICE DE FORMA	RENDIMIENTO PULPA
CR1	38,98 a	39,00 a	41,55 a	40,37 a	11,83 b	0,96 b	96,48 a
CR2	35,01 b	37,36 b	39,18 c	37,88 c	11,63 b	0,95 b	96,14 b
CR3	39,29 a	38,68 a	40,23 b	38,96 b	13,05 a	1,00 a	96,15 b
Kruskal-Wallis	***	***	***	***	***	***	***

Los valores (medias) en la misma fila seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (Kruskal-Wallis \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; Dunn test  $p < 0,05$ ;  $n=60$ ).

CR1= Riego control: 105-110% ETC; CR2= RDC 70% ETC; CR3= RDC + quitosanas: 70% ETC + 0,21 mg quitomax por árbol.

Los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El tratamiento CR3 mostró un mayor espesor de pulpa (13,05 mm) en comparación con los tratamientos CR1 (11,83 mm) y el CR2 (11,63 mm). Este resultado está en consonancia con estudios previos que indican que los bioestimulantes como la quitosana favorecen el crecimiento celular y la acumulación de sólidos solubles debido

a la activación del metabolismo secundario (El-Mohsen et al., 2020; Anaya-Esparza et al., 2020).

En cuanto al peso del fruto, los tratamientos CR1 y CR3 mostraron los mayores valores (38,98 y 39,29 g, respectivamente), siendo el tratamiento CR2 el que presentó frutos con un menor peso (35,01 g). Esto sugiere que la quitosana puede mitigar los efectos negativos del estrés hídrico sobre el crecimiento del fruto, destacando su efecto protector bajo condiciones de riego limitado (Hajji et al., 2018).

Respecto a los diámetros ecuatorial y sutural, los valores más altos se obtuvieron para los tratamientos CR1 y CR3. Esta tendencia indica que la aplicación de quitosana ayuda a conservar el desarrollo del fruto incluso en condiciones de riego deficitario. Esta tendencia se repite en la altura del fruto, siendo el tratamiento CR3 el que mostró valores más altos que el tratamiento CR2. Estos resultados están en consonancia con los resultados reportados por Intrigliolo y Castel (2010), quienes observaron reducciones de tamaño bajo estrategias de RDI en frutales.

Por otro lado, el índice de forma fue más elevado en los frutos del tratamiento CR3, lo que indica una mayor simetría en el fruto.

De otra parte, el rendimiento en pulpa fue ligeramente mayor en el tratamiento CR1 (96,48%) pero sin diferencias estadísticamente respecto a los tratamientos CR2 y CR3.

Estos resultados en conjunto apoyan la hipótesis de que la combinación de estrategias sostenibles como el riego deficitario controlado y la aplicación de quitosana puede optimizar la calidad física del fruto sin comprometer su rendimiento comercial, alineándose con estudios recientes sobre estrategias resilientes al cambio climático en frutales de hueso (García-Tejero et al., 2023).

#### **4.2. COLOR EXTERNO DEL FRUTO**

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para las variables relacionadas con la coloración externa del fruto, tras la aplicación de los distintos tratamientos aplicados.

Las variables analizadas incluyen los valores de luminosidad (L\*), componentes de color rojo-verdoso (a\*) y azul-amarillento (b\*), así como la saturación del croma (C\*) y el ángulo hue (h). Estos parámetros permiten evaluar el efecto del riego deficitario controlado (RDC), solo o en combinación con quitosana, sobre las propiedades visuales del fruto, que influyen directamente en su atractivo comercial.

**Tabla 2. Efecto de los tratamientos de riego en los valores de luminosidad (L\*), tono rojo-verdoso (a\*), tono azul-amarillento (b\*), saturación del croma (C\*) y ángulo hue (h) en el albaricoque ‘Mirlo Rojo’®.**

TRATAMIENTO	L*	a*	b*	C*	h
CR1	63,88 a	21,70 a	43,30 b	48,76 b	63,47 a
CR2	64,27 a	21,78 a	44,90 a	50,24 a	64,06 a
CR3	62,30 b	22,94 b	42,09 c	48,06 b	61,38 b
Kruskal-Wallis	***	*	***	***	***

Los valores (medias) en la misma fila seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (Kruskal-Wallis \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; Dunn test  $p < 0,05$ ;  $n=60$ )

CR1= Riego control: 105-110% ETC; CR2= RDC 70% ETC; CR3= RDC + quitosanas: 70% ETC + 0,21 mg quitomax por árbol.

En el parámetro luminosidad (L\*), el tratamiento CR1 y CR2 obtuvieron los valores más altos (63,88 y 64,27 respectivamente). Mientras que el tratamiento CR3 presentó la menor luminosidad (62,30), lo cual puede asociarse a una mayor acumulación de pigmentos en el fruto, lo que puede estar relacionado con el estrés hídrico moderado aplicado. Este resultado concuerda con estudios que indican que el estrés hídrico controlado puede intensificar la pigmentación del fruto (Dávila-Aviña et al., 2011).

Respecto a la intensidad del color rojo (a\*), se observa un aumento en los frutos del tratamiento CR3 (22,94), lo que sugiere que la aplicación de quitosanas intensifica la tonalidad rojiza. Este comportamiento ha sido señalado como un indicio de mayor

síntesis de antocianinas, compuestos con alto valor nutracéutico y atractivo visual para el consumidor (Zhang et al., 2017).

En cuanto al parámetro ( $b^*$ ), tono azul-amarillento, se encontraron diferencias estadísticamente significativas, siendo el valor más alto el mostrado por el tratamiento CR2 (44,90), seguido del tratamiento CR1 (43,30), mientras que el tratamiento CR3 mostró el valor más bajo (42,094), lo cual indica una reducción en la componente amarilla del fruto. Esta reducción de la componente amarilla del fruto estaría asociada al estrés hídrico aplicado, tal como también fue observado en melocotonero por Intrigliolo & Castel (2010).

El valor de croma ( $C^*$ ), que mide la saturación del color, fue mayor en el tratamiento CR2 (50,24), seguido de los tratamientos CR1 y CR3 (48,76 y 48,06, respectivamente), lo que indicaría que la aplicación de quitosanas induce una ligera disminución de la pureza del color.

Con respecto al tono o ángulo hue ( $h^\circ$ ), se obtuvieron los mayores valores para los tratamientos CR1 (63,47) y CR2 (64,06), sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos; mientras que el menor valor se observó en los frutos del tratamiento CR3 (61,38). Estos resultados concuerdan con los reportados por Cisneros-Zevallos (2003) quien indicó que una mayor actividad metabólica derivada del efecto combinado de estrés hídrico y bioestimulación conlleva un aumento de las tonalidades más rojizas.

Entre las variables de textura evaluadas, la firmeza del fruto destaca por su relevancia en la calidad postcosecha y en la aceptación del consumidor. Los efectos de los diferentes tratamientos aplicados sobre este parámetro se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3. Efectos de los tratamientos de riego en los parámetros texturales del fruto.**

TRATAMIENTO	Fuerza Máxima (N)	Trabajo total (N/mm)	Fuerza de rotura (N)	Trabajo de rotura (N/mm)
CR1	45,07 a	88,80 a	59,95 a	201,44 a
CR2	41,80 a	81,79 a	58,76 a	206,28 a
CR3	39,30 a	80,71 a	48,45 b	167,63 b
Kruskal-Wallis	ns	ns	**	*

*Los valores (medias) en la misma fila seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (Kruskal-Wallis \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; Dunn test  $p < 0,05$ ;  $n=60$ ).*

*CR1= Riego control: 105-110% ETC; CR2= RDC 70% ETC; CR3= RDC + quitosanas: 70% ETC + 0,21 mg quitomax por árbol.*

La firmeza es uno de los atributos clave en la calidad de los frutos, afectando directamente en su valoración comercial y vida útil tras su recolección (Cisneros-Zevallos, 2003). En cuanto a la fuerza máxima y trabajo total no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

En cuanto al trabajo de rotura, que indica la energía necesaria para romper el fruto, los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos CR2 (206,28 N/mm) y CR1 (201,44 N/mm), sin diferencias estadísticamente significativa entre ellos, mientras que el tratamiento CR3 (167,630 N/mm) presentó los valores más bajos (albaricoques más blandos).

Este efecto podría estar asociado a una modificación en la arquitectura celular promovida por la quitosana, la cual actúa como bioestimulante pero también puede afectar a la firmeza del fruto dependiendo del estado de maduración y del tipo de cultivo (El-Mohsen et al., 2020). No obstante, esta ligera disminución no compromete de forma crítica la textura del fruto, manteniéndose dentro de rangos aceptables para su comercialización.

Resultados similares han sido reportados por Hajji et al. (2018), quienes observaron una leve disminución de la firmeza en frutas recubiertas con quitosana, aunque se mantenían con buena calidad comercial. Así, el uso combinado de riego deficitario controlado y quitosanas (tratamiento CR3) puede modificar ligeramente la textura sin afectar negativamente la calidad del fruto.

### 4.3. pH, SÓLIDOS SOLUBLES, ACIDEZ E ÍNDICE DE MADUREZ

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para los sólidos solubles totales (SST), la acidez total (AT) y el índice de madurez (IM).

**Tabla 4. Efectos de los tratamientos de riego en la caracterización química en base a los valores de Sólidos Solubles Totales (SST) (o Brix), Acidez Total (AT) (g ác. málico/L) e Índice de Madurez (IM) en el albaricoque ‘Mirlo Rojo’<sup>®</sup>.**

TRATAMIENTO	SST (º Brix)	Acidez (g ác. Málico /L)	IM
CR1	14 ab	16,93 a	8,28 a
CR2	14,97 a	16,91 a	8,92 a
CR3	12,77 b	16,87 a	7,61 a
Kruskal-Wallis	*	ns	ns

Los valores (medias) en la misma fila seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (Kruskal-Wallis \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; Dunn test  $p < 0,05$ ;  $n=60$ ).

CR1= Riego control: 105-110% ETC; CR2= RDC 70% ETC; CR3= RDC + quitosanas: 70% ETC + 0,21 mg quitomax por árbol.

En relación con los SST, los valores más altos se obtuvieron para los tratamientos CR1 y CR2 (>14 ºBrix). Estos resultados indican que el estrés hídrico moderado podría favorecer la concentración de azúcares en el fruto, tal y como han señalado estudios previos en albaricoque y otras especies frutales (Temnani et al., 2023; Intrigliolo & Castel, 2010). Mientras que el tratamiento CR3 presentó el valor más bajo (12,77 ºBrix),

lo que sugiere que la aplicación conjunta de quitosana y riego deficitario controlado pudo interferir en la acumulación de azúcares solubles o modificar su redistribución durante la maduración.

En cuanto a la acidez titulable, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, manteniéndose los valores por encima de 16,8 g de ácido málico/L en los tres casos. Buendía et al., 2008 reportaron valores similares a los obtenidos en este estudio.

El índice de madurez (IM) no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Estos valores están en consonancia con los reportados por Hajji et al. (2018).

#### 4.4. PERFIL DE AZÚCARES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS

En la Tabla 5 se recogen los resultados del análisis del perfil de azúcares y ácidos orgánicos.

**Tabla 5. Efectos de los tratamientos de riego en el perfil de azúcares y ácidos orgánicos (g/100 mL zumo) en el albaricoquero ‘Mirlo Rojo’<sup>®</sup>.**

TRATAMIENTO	CÍTRICO	MÁLICO	QUÍNICO	TOTAL ÁCIDOS	SACAROSA	GLUCOSA	FRUCTOSA	TOTAL AZÚCARES
CR1	0,68 a	1,43 a	0,27 a	2,39 a	8,24 a	1,56 a	1,86 a	11,66 a
CR2	0,75 a	1,39 a	0,26 a	2,41 a	8,60 a	1,48 a	1,78 a	11,87 a
CR3	0,67 a	1,45 a	0,31 a	2,43 a	7,02 a	1,44 a	1,86 a	10,34 a
Kruskal-Wallis	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Los valores (medias) en la misma fila seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (Kruskal-Wallis \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; Dunn test  $p < 0,05$ ;  $n=60$ ).

CR1= Riego control: 105-110% ETC; CR2= RDC 70% ETC; CR3= RDC + quitosanas: 70% ETC + 0,21 mg quitomax por árbol.

El análisis del perfil de ácidos orgánicos y azúcares no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

El contenido total de ácidos osciló entre 2,39 (CR1) y 2,43 (CR3) g/100 mL, mientras que el contenido total de azúcares osciló entre 11, 87 (CR2) y 10,23 (CR3) g/100 mL. Lo que indica que ni la estrategia de RDC ni la de la aplicación de quitosanas afectan de forma negativa el perfil y contenido en ácidos orgánicos ni al perfil de azúcares.

#### 4.5. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y CONTENIDO EN FENOLES TOTALES

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la actividad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP) y el contenido en fenoles totales (TP).

**Tabla 6. Efectos de los tratamientos de riego en la cantidad de actividad antioxidante (mMolar Trolox) y fenoles totales (mg eq de Ac. gálico/100 g).**

TRATAMIENTO	ABTS	DPPH	FRAP	TP
CR1	11,52 ab	53,050a	22,62 a	1094,63 ab
CR2	12,48 a	52,68 a	25,03 a	1197,55 a
CR3	10,73 b	49,60 a	23,34 a	1020,74 b
Kruskal-Wallis	*	ns	ns	*

Los valores (medias) en la misma fila seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (Kruskal-Wallis \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ ; Dunn test  $p < 0,05$ ;  $n = 60$ ).

CR1= Riego control: 105-110% ETC; CR2= RDC 70% ETC; CR3= RDC + quitosanas: 70% ETC + 0,21 mg quitomax por árbol.

En cuanto a la capacidad antioxidante los resultados muestran que por el método ABTS el tratamiento CR1 (11,52 mmol Trolox/kg) y CR2 (12,48 mmol Trolox/kg), presentaron los valores más elevados; mientras que el CR3 mostró los valores más bajos, pero sin mostrar diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento CR1.

Por el método DPPH y FRAP no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

En relación con los fenoles totales, los tratamientos CR1 (1094,63 meq. ác. gálico/100 mL) y CR2 (1197,55 meq. ác. gálico/100 mL), presentaron los mayores valores; mientras que el tratamiento CR3 (1020,74) mostró el menor valor, pero sin mostrar diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento CR1.

Estos resultados sugieren que el RDC podría estimular la síntesis de compuestos antioxidantes y fenólicos como respuesta fisiológica adaptativa. En contraste, el uso de quitosana en combinación con RDC no potenció estos efectos, lo cual podría deberse a una modulación distinta del metabolismo secundario o a una respuesta menos intensa al estrés (Temnani et al., 2023).

Estudios previos han reportado que un estrés hídrico leve puede inducir la acumulación de metabolitos secundarios antioxidantes como parte de los mecanismos de defensa de la planta (Cisneros-Zevallos, 2003). Por su parte, el incremento del contenido en fenoles ha sido reportado como una respuesta frecuente en frutos expuestos a estrés abiótico controlado, siendo considerado un indicador de calidad nutracéutica (Hajji et al., 2018).

La mayor capacidad antioxidante y contenido fenólico observados bajo condiciones de riego deficitario controlado podrían traducirse en frutos con mayor vida útil y valor añadido, aspectos cada vez más valorados por consumidores y distribuidores.

## 5. CONCLUSIONES

Tras el análisis conjunto de los resultados obtenidos se puede concluir que:

1. El tratamiento RDC (CR2) indujo efectos beneficiosos sobre la concentración de sólidos solubles totales, azúcares y compuestos antioxidantes del fruto, sin comprometer significativamente sus características físicas, lo que sugiere una adaptación fisiológica positiva del albaricoquero al estrés hídrico moderado.
2. La aplicación combinada de RDC con quitosana (CR3) mostró efectos positivos en la morfología, pero su impacto sobre los atributos de calidad fue muy variable.
3. El RDC representa una estrategia eficaz para mejorar la calidad del albaricoque bajo condiciones de escasez hídrica.
4. Futuras investigaciones deberán centrarse en ajustar dosis, frecuencias y momentos de aplicación de quitosana para optimizar su eficacia en combinación con estrategias de riego deficitario controlado.

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

## 6. REFERENCIAS

Anaya-Esparza, L. M., Pérez-Larios, A., ... (2020). Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano... TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 23, e20200241.

Buendía, M., Allende, A., Nicolás, E., Alarcón, J. J., & Gil, M. I. (2008). Effect of regulated deficit irrigation and crop load on the antioxidant compounds of peaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(9), 3601–3608. <https://doi.org/10.1021/jf073302t>

CEBAS Fruit. (s. f.). Mirlo Rojo. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). <https://cebasfruit.com/mirlo-rojo/>

Cisneros-Zevallos, L. (2003). The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding value to fresh fruits and vegetables. *Journal of Food Science*, 68(5), 1560–1565. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12291.x>

Dávila-Aviña, J. E., Villa-Rodríguez, J. A., Villegas-Ochoa, M. A., & González-Aguilar, G. A. (2011). Impact of ozone on color, microbial quality, and antioxidant capacity of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.010>

El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A., & El-Beltagy, A. E. (1995). Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates. *Food Chemistry*, 53(3), 203–209. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)93934-J](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)93934-J)

El-Mohsen, A. A., Mohamed, A. H. A., & El-Aal, M. A. A. (2020). Impact of chitosan applications on growth, yield and fruit quality of apricot under water stress conditions. *Plant Archives*, 20(2), 2149–2156.

FAO. (s. f.). FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data>

Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147–159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>

García-Tejero, I. F., Durán-Zuazo, V. H., Muriel-Fernández, J. L., & Rodríguez-Pleguezuelo, C. R. (2023). Strategies for water saving and quality enhancement in Mediterranean fruit crops. *Agricultural Water Management*, 280, 108229. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108229>

Hajji, S., Younes, I., Affes, S., Boufi, S., & Nasri, M. (2018). Optimization of the functional properties of chitosan by chemical modification: Antioxidant and antimicrobial activities. *Carbohydrate Polymers*, 180, 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.078>

Hassan, M. A., El-Gendy, A. G., Abou-Hadid, A. F., El-Sharkawy, A. M., & El-Morshedy, M. A. (2021). Impact of irrigation regimes and deficit irrigation on peach tree performance and water productivity. *Agricultural Water Management*, 251, 106861.

Hassan, M. U., Rehman, R. A., Imran, M., Hussain, S., & Rizwan, M. (2021). Sustainable deficit irrigation strategies and their effects on fruit quality and water productivity: A review. *Agricultural Water Management*, 243, 106461. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106461>

Hernández Cocoletzi, H., Águila Almanza, E., Flores Agustín, O., Viveros Nava, E. L., & Ramos Cassellis, E. (2009). Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Superficies y Vacío*, 22(3), 57–60.

Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2010). Response of plum trees to deficit irrigation under two crop levels: tree growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science*, 28, 525–534. <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0212-x>

Khan, M. A., Sajid, M., Khan, A., & Ali, H. (2023). Exogenous application of chitosan improves physio-biochemical traits and quality of peach fruits. *Scientia Horticulturae*, 311, 111771. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111771>

ma

Kumari, S., Chatterjee, A., & Varshney, A. K. (2023). Chitosan nanoparticles for fruit preservation: Recent advances and future perspectives. *Postharvest Biology and Technology*, 197, 112303. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112303>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). Informe de campaña 2024. Fruta de hueso.

[https://www.mapa.gob.es/va/agricultura/estadisticas/informecampana2024frutadehu eso\\_tcm39-707725.pdf](https://www.mapa.gob.es/va/agricultura/estadisticas/informecampana2024frutadehu eso_tcm39-707725.pdf)

Nubiola, V. (1921). Melocotonero y albaricoquero. Calpe.

Pérez-Pastor, A., Álvarez, S., & Egea, G. (2014). Strategies for improving water productivity in stone fruit orchards under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 142, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.012>

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>

Rodrigo García, F. J., & Hormaza Urroz, J. I. (2005). El albaricoquero. Diversidad genética y situación actual del cultivo.

Sajid, M., Ejaz, M., Ahmad, T., Khan, M. A., & Ullah, R. (2020). Chitosan application improves biochemical attributes of peach under heat stress. *International Journal of Agriculture and Biology*, 24(4), 853–858.

Andreu-Coll, L., Carbonell-Barrachina, Á.A., Burló, F., Galindo, A., García-Brunton, J., López-Lluch, D.B., Martínez-Font, R., Noguera-Artiaga, L., Sendra, E., Hernández-Ariola, P., et al. (2024). Regulated Deficit Irrigation Perspectives for Water Efficiency in Apricot Cultivation: A Review. *Agronomy*, 14(6), 1219. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061219>

Silva, P. A., Silva, E. M., Barbosa, L. S., & Cazarin, C. B. B. (2017). Chitosan as a biodegradable polymer: A review on chemical structure and properties. *Química Nova*, 40(7), 873–881. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170867>

Temnani, K., Lahlali, R., Loutfi, K., Douira, A., & Ezrari, S. (2023). Effects of deficit irrigation strategies on fruit quality and bioactive compounds in stone fruit crops: A review. *Agronomy*, 13(3), 703. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030703>

Temnani, M. A., Makhlouf, M., Mhadhbi, H., & Ben Mimoun, M. (2023). Influence of regulated deficit irrigation on quality and phytochemical composition of apricot fruits. *Scientia Horticulturae*, 312, 111948. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111948>

