

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



**EFFECTOS DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO Y LA  
APLICACIÓN DE QUITOSANAS EN LA CALIDAD,  
COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE  
DE LAS SEMILLAS DE MELOCOTONERO**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Marzo-2025**

**Autor: Aitana Martorell Piqueres**

**Tutor/es: Francisca Hernández García**

**Cotutor/a: Pedro J. Blaya Ros**



**EFFECTOS DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO Y LA APLICACIÓN DE  
QUITOSANAS EN LA CALIDAD, COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD  
ANTIOXIDANTE DE LAS SEMILLAS DE MELOCOTONERO.**

**EFFECTS OF SUSTAINED DEFICIT IRRIGATION AND THE APPLICATION OF  
CHITOSAN ON THE QUALITY, BIOACTIVE COMPOUNDS, AND  
ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PEACH SEEDS.**

**Resumen**

El estudio evalúa los efectos del Riego Deficitario Sostenido (RDS) y la aplicación de quitosanas en la calidad, compuestos bioactivos y actividad antioxidante de las semillas de melocotonero, variedades Duero y Tiétar, bajo condiciones controladas en Jumilla, Murcia. El riego deficitario disminuye la calidad de las semillas, reduciendo peso y compuestos bioactivos, mientras que las quitosanas mitigan estos impactos al mejorar la actividad antioxidante, el uso eficiente del agua y la resistencia al estrés hídrico. La variedad Duero mostró mayor adaptabilidad, produciendo semillas de mejores propiedades físicas y químicas, lo que destaca el potencial de combinar estas estrategias para la sostenibilidad agrícola.

**Palabra clave:** Riego deficitario sostenido, quitosanas, actividad antioxidante, calidad semillas, melocotonero.

**Abstract**

The study evaluates the effects of Sustained Deficit Irrigation (SDI) and the application of chitosan on the quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of peach seeds from the Duero and Tiétar varieties, under controlled conditions in Jumilla, Murcia.

Deficit irrigation decreases seed quality, reducing weight and bioactive compounds, while chitosan mitigates these impacts by enhancing antioxidant activity, water use efficiency, and resistance to water stress. The Duero variety showed greater adaptability, producing seeds with superior physical and chemical properties, highlighting the potential of combining these strategies for agricultural sustainability.

**Keywords:** Sustained deficit irrigation, chitosan, antioxidant activity, seed quality, peach tree.



## ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	8
1.1	Importancia económica del cultivo del melocotonero .....	8
1.2	Descripción del cultivo del melocotonero .....	9
1.3	Los recursos hídricos. Estrategias de riego deficitario .....	10
1.3.1	Riego Deficitario Sostenido (RDS).....	11
1.4	Indicadores del estado hídrico de la planta.....	12
1.4.1	Potencial hídrico de tallo .....	12
1.5	Las quitosanas. Propiedades y usos en la agricultura .....	13
1.6	Aprovechamiento y usos del hueso y semillas del melocotonero.....	14
1.7	Estudios previos. Contextualización .....	16
2	OBJETIVOS.....	18
3	MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
3.1	Material vegetal .....	18
3.1.1	Descripción de las variedades de melocotón Tiétar y Duero.....	18
3.1.2	Descripción del patrón .....	20
3.2	Descripción de la finca experimental .....	20
3.3	Condiciones edafoclimáticas.....	21
3.4	Tratamientos de riego .....	21
3.5	Tratamientos de quitosanas .....	22
3.6	Parámetros evaluados .....	23
3.6.1	Potencial hídrico de tallo .....	23
3.6.2	Caracterización morfológica del hueso.....	24
3.6.3	Caracterización morfológica de la semilla .....	25

3.6.4	Perfil de azúcares y ácidos orgánicos de las semillas .....	27
3.6.5	Actividad antioxidante y contenido en fenoles totales de las semillas..	27
3.7	Análisis estadístico.....	29
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1	Caracterización morfológica del hueso .....	29
4.2	Caracterización morfológica de las semillas .....	32
4.3	Perfil de azúcares y ácidos orgánicos de las semillas.....	36
4.4	Actividad antioxidante y contenido en fenoles totales de las semillas.....	40
5	CONCLUSIONES .....	43
6	BIBLIOGRAFÍA.....	44



## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la producción de melocotón en España .....	8
Figura 2: Distribución autonómica de la producción del melocotón .....	9
Figura 3: Fruto y árbol de la variedad Duero .....	19
Figura 4: Fruto y árbol de la variedad Tiétar .....	19
Figura 5: Evolución del potencial hídrico de tallo ( $\Psi_t$ ) según variedad .....	23
Figura 6: Huesos variedades según tratamientos y riego aplicado .....	26

## ÍNDICE TABLAS

TABLA 1: Parámetros morfométricos de los huesos del melocotón .....	31
TABLA 2: Parámetros morfométricos de las semillas del melocotón .....	32
TABLA 3: Rendimiento en cáscara (%) y porcentaje semilla .....	35
TABLA 4: Perfil ácidos orgánicos de las semillas .....	37
TABLA 5: Perfil de azúcares de las semillas .....	39
TABLA 6: Actividad antioxidante (mmol Trolox $\text{kg}^{-1}$ ) y contenido en fenoles totales (mg GAE $100 \text{ g}^{-1}$ ) de las semillas de melocotón .....	43

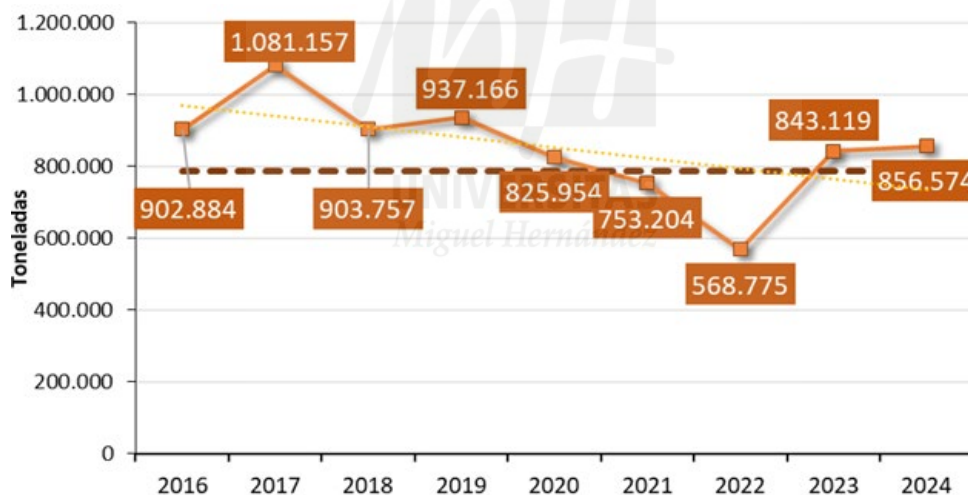
# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Importancia económica del cultivo del melocotonero

Según la FAO (2024), el melocotón es cultivado principalmente en China. En 2023, la producción de melocotón en China representó el 39,28 % de la producción mundial (17.516.000 toneladas).

En España, el cultivo representó en 2024 una parte relevante de la producción nacional de frutales con 856.574 toneladas, tras un incremento respecto al año anterior (843.119 toneladas). A pesar de su significativa contribución a nivel nacional, la producción española desde 2017 ha experimentado una disminución atribuida a factores climáticos adversos, principalmente la escasez de agua, con un descenso notable en 2022, cuando se alcanzó el mínimo de la serie con 586.775 toneladas (Figura 1).

Figura 1: Evolución de la producción de melocotón en España



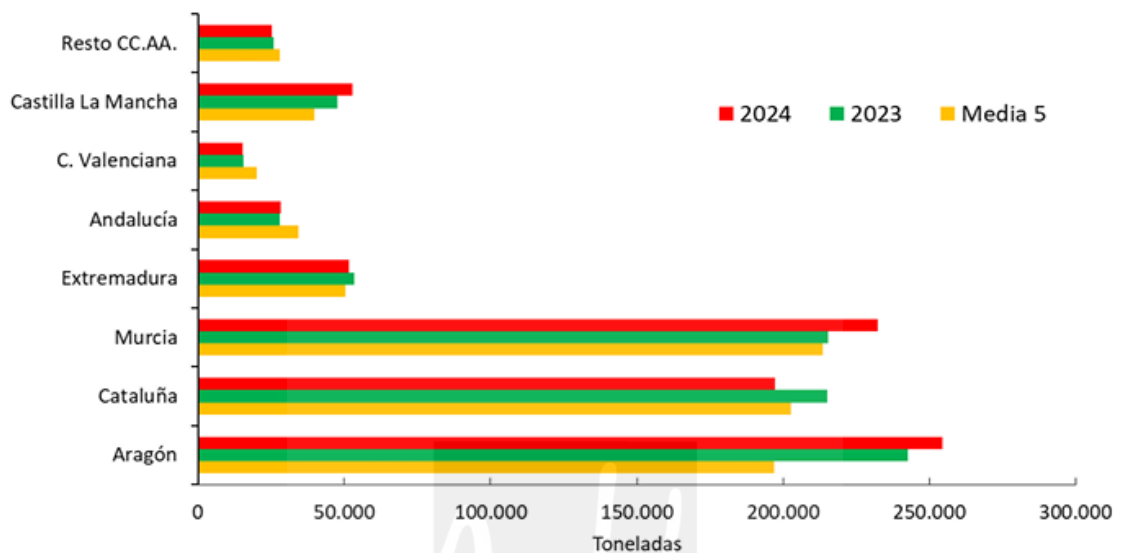
Fuente: MAPA.GOB.ES (2024)

El melocotón en España representa una parte significativa de la producción de frutales de hueso. En base a los datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de España, en las previsiones de la campaña 2024, Aragón fue la comunidad con mayor producción de melocotón, seguida de Cataluña y Murcia. Se incrementó la



producción por encima de los datos de 2023, aunque en algunas comunidades los valores aún se sitúan por debajo de la media de los últimos cinco años (Figura 2).

**Figura 2: Distribución autonómica de la producción del melocotón**



Fuente: MAPA.GOB.ES (2024)

A nivel nacional, Murcia se posiciona como una de las principales regiones productoras de melocotón, con una contribución significativa al total nacional. Según los datos de 2024, la producción regional fue de, aproximadamente, 200.000 toneladas, consolidando su papel clave en el sector. Murcia se beneficia de un clima mediterráneo, caracterizado por inviernos suaves y veranos cálidos, lo que favorece el desarrollo del cultivo. Además, la región cuenta con sistemas de riego eficientes que optimizan la producción en áreas como la Vega del Segura, donde el acceso a recursos hídricos es fundamental para mantener los altos niveles de rendimiento.

## 1.2 Descripción del cultivo del melocotonero

El melocotonero (*Prunus persica* (L.) Batsch) pertenece a la familia Rosaceae y al género *Prunus*. Es originario de China donde ha sido cultivado durante milenios. Desde allí, fue introducido en Persia (actual Irán), y siendo posteriormente introducido en Europa. En

España, su cultivo se consolidó especialmente en la cuenca mediterránea debido a las condiciones climáticas óptimas para su desarrollo (Martín et al., 2014).

El melocotonero es un árbol de porte mediano, con alturas entre los 3 y 6 metros, raíz pivotante y tronco erguido. Sus hojas son caducas, lanceoladas, de borde serrado y pecíolo largo. Las flores son solitarias o en pequeños grupos, de color rosado a blanquecino, que se desarrollan antes de la aparición de las hojas. El fruto es una drupa globosa con piel aterciopelada, cuyo color varía entre el amarillo y el rojo dependiendo de la variedad. La pulpa puede ser blanca o amarilla, jugosa y dulce, y contiene un hueso duro que alberga la semilla (Martín et al., 2014).

El melocotonero requiere climas templados a cálidos, con inviernos fríos para cumplir sus necesidades para la maduración del fruto. Es sensible a las heladas tardías, especialmente durante la floración y el cuajado del fruto, los suelos ideales son bien drenados, de textura franca y pH ligeramente ácido (Martín et al., 2014).

Actualmente, el melocotonero es valorado por su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y edáficas. La introducción de nuevas variedades con bajas necesidades de frío ha permitido su cultivo en zonas más cálidas, favoreciendo la expansión del cultivo en España.

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

### **1.3 Los recursos hídricos. Estrategias de riego deficitario**

El agua ha sido históricamente uno de los factores limitantes más importantes en la producción agrícola, tanto en términos de cantidad, calidad y disponibilidad. En muchas regiones de clima mediterráneo, la escasez de recursos hídricos supone un desafío para la sostenibilidad del sector agrícola. En estas zonas, la agricultura depende en gran medida del riego, siendo este uno de los principales consumidores de agua a nivel global (Alarcón et al., 2006).

A nivel mundial, el sector agrícola representa el mayor uso del agua dulce disponible, lo que ha llevado a la búsqueda de estrategias para optimizar su aprovechamiento sin comprometer la producción. Por tanto, el riego deficitario se basa en la reducción

controlada del suministro hídrico a los cultivos, ajustándolo a las necesidades en las distintas etapas de desarrollo (Ferreyra et al., 2001).

La respuesta de los cultivos al riego deficitario depende de múltiples factores, como la fase de desarrollo en la que se aplique la reducción de agua, las condiciones climáticas y el tipo de suelo. La combinación de técnicas como el riego deficitario sostenido junto con la automatización del riego basada en sensores de humedad, permite mejorar la eficiencia hídrica (Alarcón et al., 2006).

Existen dos tipos principales de riego deficitario: el Riego Deficitario Sostenido (RDS) y el Riego Deficitario Controlado (RDC).

### 1.3.1 Riego Deficitario Sostenido (RDS)

El Riego Deficitario Sostenido (RDS) es una herramienta importante para lograr reducir el uso del agua de riego, aumentando la eficiencia en el uso del agua (Feres et al., 2007).

La aplicación de RDS se basa en reducir el agua aplicada de manera uniforme durante todas las etapas del cultivo, independientemente de las fases fenológicas. Se suele utilizar en regiones con clima semiáridos o con escasez hídrica, donde la optimización del recurso del agua es crucial (Faci et al., 2010). En este contexto, el riego deficitario se ha convertido en una herramienta clave para reducir el consumo de agua sin afectar la producción y/o calidad del fruto (Feres et al., 2007).

En cuanto a la programación del RDS, la cantidad de agua aplicada se calcula generalmente con métodos como la ecuación de Penman-Monteith para estimar la ETC. Su implementación requiere un sistema eficiente de riego localizado y, preferiblemente, sensores de humedad para monitorear el suelo (Faci et al., 2010). Este enfoque permite maximizar la eficiencia de agua aplicada y reducir las pérdidas innecesarias por percolación profunda o evaporación.

En cuanto al impacto de RDS en los melocotoneros, encontramos, por una parte, la producción donde RDS permite mantener niveles de producción similares al riego

completo, especialmente en variedades adaptadas a un déficit hídrico moderado. Sin embargo, un estrés hídrico severo durante fases críticas puede reducir significativamente el rendimiento (Alarcón et al., 2006).

Además, en cuanto a la calidad del fruto se puede observar un incremento en la concentración de sólidos solubles totales (SST) y, en ocasiones, una mejor relación SST/acidez, lo cual mejora el sabor y la aceptación del fruto en el consumidor. Puede adelantar la maduración y reducir la pérdida de peso postcosecha, beneficioso para la comercialización (Faci et al., 2010).

El RDS tiende a limitar el vigor de los árboles, reduciendo el crecimiento de brotes, el diámetro del tronco y la sombra proyectada. Esto puede ser útil en plantaciones intensivas, donde un menor desarrollo vegetativo facilita las labores de manejo y recolección (Faci et al., 2010).

Es esencial evitar déficits severos durante etapas críticas, como el rápido crecimiento del fruto (fase III), ya que puede afectar al tamaño y a la calidad del melocotón. Es por ello por lo que requiere un manejo adecuado para equilibrar el ahorro hídrico con la productividad y la calidad del fruto (Alarcón et al., 2006).

Por tanto, se podría decir que el RDS mejora la sostenibilidad del uso del agua, además de favorecer la calidad del fruto sin comprometer gravemente la producción y reduce costos operativos al limitar el gasto hídrico y energéticos.

## **1.4 Indicadores del estado hídrico de la planta**

### **1.4.1 Potencial hídrico de tallo**

El  $\Psi_t$  es un indicador clave del estado hídrico en melocotoneros, usado para evaluar la respuesta del cultivo frente a diferentes estrategias de riego y estrés hídrico. El potencial hídrico del tallo se mide con una cámara de presión Scholander en hojas próximas al tronco, cubriéndolas previamente para minimizar la transpiración. El objetivo de cubrir las hojas es lograr un equilibrio hídrico entre el tallo y la hoja, evitando pérdidas de agua por transpiración durante el proceso de medición. Cuando este equilibrio se ha

establecido, la presión medida en la cámara refleja de manera precisa el  $\Psi_t$ , lo que permite evaluar el estado hídrico de la planta con mayor fiabilidad.

El  $\Psi_t$  se utiliza para identificar momentos en los que el estrés hídrico podría volverse crítico, ayudando a ajustar estrategias de riego y evitar, así, daños en las fases sensibles del cultivo, como la fase III de crecimiento de fruto (Ruiz et al., 2016).

En melocotoneros bajo RDS, el  $\Psi_t$  muestra valores más bajos que en cultivos regados al 100 % de  $ET_c$ , especialmente en las horas de mayor demanda evaporativa. Sin embargo, el estrés hídrico controlado no altera significativamente la producción ni la calidad del fruto.

Ruiz et al. (2016) lograron en melocotoneros sometidos a RDS ahorros de hasta el 50% en el uso de agua, sin comprometer, de manera significativa, el rendimiento. Aunque el potencial hídrico del tallo fue menor que en árboles con riego completo, los frutos alcanzaron niveles adecuados de sólidos solubles totales y firmeza.

Por tanto, el  $\Psi_t$  es un indicador clave para evaluar la eficacia de estrategias de RDS en melocotoneros, especialmente en regiones con recursos hídricos limitados. Su implementación permite optimizar el uso del agua, sin mermar la producción y/o la calidad del fruto (Ruiz et al., 2016).

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

### **1.5 Las quitosanas. Propiedades y usos en la agricultura**

La quitosana es un biopolímero derivado de la quitina presente en exoesqueletos de crustáceos, insectos y paredes celulares de hongos, ha captado la atención en la agricultura por su biodegradabilidad, biocompatibilidad y propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Sajid et al., 2020; Yang et al., 2020). Estas características no solo la convierten en un compuesto ecológico, sino que también promueven mejoras en el crecimiento vegetal, rendimiento de cultivos y protección frente a estrés biótico o abiótico (Sajid et al., 2020; Yang et al., 2020).

La quitosana actúa como un modulador del crecimiento vegetal, estimulando actividades enzimáticas esenciales, como la síntesis de hormonas vegetales (auxinas y

giberelinas), y mejorando la fotosíntesis y absorción de nutrientes (Sajid et al., 2020; Khan et al., 2023). Además, forma una película protectora sobre hojas y frutos, lo que reduce la pérdida de agua y protege contra patógenos, aumentando la resistencia a enfermedades. Su acción antimicrobiana, debido a su carga positiva altera la estructura de las membranas celulares de los microorganismos (Sajid et al., 2020).

La aplicación foliar de quitosanas mejora la productividad, incrementando el peso, tamaño y firmeza de los frutos. En melocotoneros, su uso al 1 % aumenta el rendimiento y la calidad, incluyendo un mayor contenido de sólidos solubles y ácido ascórbico, y reduce las pérdidas postcosecha al mitigar infecciones de hongos y bacterias (Sajid et al., 2020; Khan et al., 2023). También mejora la absorción de micronutrientes como manganeso y boro, elevando la calidad nutricional de los cultivos (Yang et al., 2020).

Como alternativa a los agroquímicos, la quitosana contribuye a una agricultura más sostenible al reducir la necesidad de fungicidas sintéticos y mejorar la eficiencia en el uso del agua (Yang et al., 2020).

## **1.6 Aprovechamiento y usos del hueso y semillas del melocotonero**

El procesamiento industrial del melocotón genera grandes volúmenes de residuos, entre los cuales los huesos y semillas son componentes clave. Se estima que la producción mundial de huesos de melocotón alcanzó 572,731 toneladas en 2021, representando aproximadamente el 10 % del peso total de la fruta. De estos huesos el 94 % corresponde a la cáscara dura y el 6 % al núcleo o semilla (Abuzar et al., 2024).

Las semillas del melocotón contienen aproximadamente un 42,73 % de lípidos, un 26,1 % de proteínas, un 14,98 % de carbohidratos y un 3,63 % de fibra cruda. También se han identificado compuestos bioactivos como catequinas, proantocianidinas y ácidos fenólicos, que les otorgan propiedades antioxidantes y beneficiosas para la salud.

El aceite de semilla de melocotón tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados, destacando el ácido oleico (54,94 %) y el linoleico (32,42 %), con niveles bajos de ácidos grasos saturados. Este perfil lipídico lo convierte en una alternativa viable para la

industria cosmética y alimentaria, además de su potencial para la industria nutraceútica (Abuzar et al., 2024).

Los huesos y semillas de melocotón poseen una composición rica en compuestos químicos y propiedades versátiles que permiten su aprovechamiento en diferentes sectores, como el alimentario, cosmético, ambiental e industrial (Abuzar et al., 2024).

Estos ácidos grasos son reconocidos por sus propiedades beneficiosas para la salud, incluyendo efectos antioxidantes y la capacidad de reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Lazos, 1991; Shaikhiev et al., 2023).

Además, el aceite de semilla de melocotón contiene fitoesteroles, especialmente  $\beta$ -sitosterol (más del 90 % del contenido total de esteroides), y compuestos fenólicos que incrementan su capacidad antioxidante y antimicrobiana (Lazos, 1991; Shaikhiev et al., 2023).

En el ámbito de la nutrición animal, los extractos de semillas de melocotón han mostrado ser efectivos como aditivos naturales en la dieta de animales como conejos. Estudios recientes han evidenciado que estos extractos mejoran significativamente el rendimiento de crecimiento, la digestibilidad de nutrientes y la respuesta inmunológica de los animales. Estos beneficios se atribuyen a la presencia de compuestos bioactivos como tocoferoles,  $\beta$ -caroteno y ácidos fenólicos, los cuales potencian el sistema antioxidante de los animales y favorecen el equilibrio de la microbiota intestinal (Basyony et al., 2023).

Otro aspecto relevante es el potencial de las semillas como base para la extracción de péptidos bioactivos y proteínas, que han mostrado propiedades antioxidantes y efectos beneficiosos para la salud, incluyendo la regulación de enzimas vinculadas a enfermedades metabólicas. Estos compuestos se han explorado como ingredientes funcionales para alimentos y suplementos nutracéuticos, abriendo nuevas oportunidades en los mercados de alimentos funcionales o farmacéuticos (Abuzar et al., 2024).

Los huesos del melocotonero, particularmente la cáscara dura que recubre las semillas tiene un gran potencial como materiales adsorbentes debido a su alto contenido en

lignocelulosa. Estos residuos pueden transformarse en carbón activado, que ha demostrado ser altamente eficiente para la eliminación de contaminantes del agua, como metales pesados y compuestos orgánicos, así como para la adsorción de tintes industriales (Lazos, 1991).

Por ejemplo, la modificación química de la cáscara de hueso de melocotón con ácido cítrico o tratamiento de activación de mejora notablemente su capacidad de adsorción, alcanzando eficiencias de eliminación de más del 97% para ciertos contaminantes. Además, las propiedades del material adsorbente, como la porosidad y la superficie específica, lo hacen competitivo frente a otros materiales comerciales más costosos (Lazos, 1991).

En términos de bioenergía, las cáscaras de los huesos han sido utilizadas como sustrato para la producción de biocombustibles como el biochar y el biogás. Este enfoque no solo fomenta la sostenibilidad energética, sino que también ofrece una solución viable para la gestión de residuos agroindustriales, contribuyendo a la reducción de emisiones de carbono (Abuzar et al., 2024).

La cáscara de los huesos también se ha utilizado como materia prima para la fabricación de biomateriales, incluyendo rellenos para composites plásticos. Además, se han desarrollado aplicaciones innovadoras como su uso como sustrato para el cultivo de hongos o como materia prima para la obtención de biopolímeros y productos químicos de alto valor, como extractos ricos en polifenoles (Lazos, 1991).

### **1.7 Estudios previos. Contextualización**

Diferentes estudios han explorado el impacto del Riego Deficitario Sostenido (RDS) y el uso de quitosanas en cultivos frutales, con especial atención en la mejora de la calidad, los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de las semillas.

El riego deficitario ha sido ampliamente estudiado en frutales de hueso, evidenciando su influencia en la eficiencia del uso del agua y en la calidad de los frutos sin afectar significativamente a su rendimiento. En este aspecto, estudios recientes han evaluado el impacto del RDS en la calidad de semillas de melocotonero (*Prunus persica*),



destacando cómo las estrategias hídricas pueden modificar la concentración de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante (Kumari et al., 2023; Mou et al., 2023).

En cuanto a la aplicación de las quitosanas, diversos estudios han identificado su papel en la mejora de la calidad y conservación postcosecha de frutos. Se ha reportado que las quitosanas actúan como bioestimulantes y agentes protectores, favoreciendo la acumulación de metabolitos secundarios con actividad antioxidante en diferentes tejidos vegetales (Pelentir et al., 2011). En el caso específico de semillas de melocotonero, se ha evidenciado que la aplicación de quitosanas contribuye a incrementar la concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, potenciando su capacidad antioxidante (El-Adawy et al., 1995).

El análisis de la composición química de las semillas de melocotonero ha revelado la presencia de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y potenciales beneficiosos para la salud. Estudios previos han identificado altas concentraciones de ácidos grasos insaturados, polifenoles y tocoferoles en las semillas de melocotonero, los cuales poseen efectos antioxidantes significativos (El-Adawy et al., 1995). Estos compuestos no solo contribuyen a la estabilidad oxidativa de los aceites extraídos de las semillas, sino que también pueden jugar un papel clave en la formulación de ingredientes funcionales y nutraceuticos (Kumari et al., 2023).

A pesar de estas evidencias, aún falta conocimiento sobre la interacción específica entre el RDS y la aplicación de quitosanas en calidad de las semillas de melocotonero. Actualmente se enfoca principalmente en la respuesta del fruto al estrés hídrico y en la aplicación de quitosanas en la conservación postcosecha, existiendo un vacío en la comprensión del efecto combinado de estas estrategias en la calidad de las semillas. Por ello, el presente estudio busca aportar nuevos conocimientos en este ámbito, contribuyendo al desarrollo de estrategias agrícolas más sostenibles y eficientes en el uso del agua, con el objetivo de mejorar la calidad y valor nutricional de las semillas de melocotonero.

## **2 OBJETIVOS**

El objetivo general de este estudio es evaluar los efectos del Riego Deficitario Sostenido (RDS) y la aplicación de quitosanas en la calidad, los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de las semillas de melocotonero, con el fin de optimizar la sostenibilidad agrícola en regiones de limitaciones hídricas.

Los objetivos principales de este trabajo se desglosan a continuación:

- Analizar el impacto del RDS sobre las propiedades morfológicas de los huesos y semillas de melocotonero, en las variedades Duero y Tiétar.
- Evaluar el efecto de la aplicación de quitosanas en la calidad de semillas, incluyendo su contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y perfil químico bajo condiciones de estrés hídrico.
- Optimizar la eficiencia del uso de agua (EUA) en zonas semiáridas mediante la combinación de estrategias de riego deficitario y bioestimulantes.
- Con el uso de quitosanas, mitigar los efectos negativos del déficit hídrico en los tratamientos de riego deficitario, optimizando la retención de agua en los tejidos vegetales y regulando la transpiración mediante mecanismos como el cierre estomático.

UNIVERSITAS  
Miguel Hernández

## **3 MATERIAL Y MÉTODOS**

### **3.1 Material vegetal**

#### **3.1.1 Descripción de las variedades de melocotón Tiétar y Duero**

Las variedades del melocotón Duero y Tiétar, ambas están desarrolladas por el programa de mejora genética de Provedo en Badajoz, se caracterizan por sus altos rendimientos y cualidades específicas para cada tipo de mercado.

**Figura 3: Fruto y árbol de la variedad Duero.**



Fuente: Blaya, 2024

La variedad Duero PRO-796 es una variedad apreciada por su alta productividad y características favorables tanto en el árbol como en el fruto. El árbol de esta variedad presenta un porte abierto, lo que facilita la penetración de luz, favoreciendo la calidad del fruto. La floración se produce a finales de marzo, siendo una floración intermedia, lo que la hace susceptible a heladas tardías.

En cuanto al fruto, la maduración ocurre a finales de agosto, lo que permite un acceso tardío al mercado. El peso del fruto es grande, con un peso medio de 150 gramos y presenta una piel de color amarillo con una chapa roja, lo que lo hace visualmente atractivo para los consumidores. La pulpa es firme, de color amarillo, y tiene un contenido en azúcares de 14,6 ° Brix, lo que le confiere un sabor dulce. (Viveros La Berrocosa, 2020).

**Figura 4: Fruto y árbol de la variedad Tiétar.**



Fuente: Blaya, 2024

Por otro lado, la variedad Tiétar PRO-798 es muy valorada por sus características. El árbol tiene un porte abierto que facilita el manejo y la entrada de luz, lo que contribuye a la calidad del fruto. La floración se da también a finales de marzo, mientras que la maduración del fruto se da a finales de septiembre, lo que permite un acceso tardío al mercado. El fruto Tiétar es grande, con un peso medio de 180 gramos, y presenta una piel amarilla.

La pulpa es de color amarillo y sabor dulce, con un contenido de 14,5 ° Brix. La firmeza alta de los frutos asegura una buena conservación y transporte (Viveros La Berrocosa, 2020)

### 3.1.2 Descripción del patrón

El patrón sobre el que están injertadas las variedades Duero y Tiétar es el INRA GF-677. El INRA GF-677 es un híbrido ampliamente utilizado en el cultivo del melocotonero, especialmente en regiones con suelos con alta presencia de caliza activa. Su principal ventaja radica en su tolerancia a la clorosis férrica (Martín et al., 2014).

Para las variedades Duero y Tiétar, el GF-677 ofrece un crecimiento vigoroso y una buena adaptación a suelos calcáreos. No obstante, su susceptibilidad a la asfixia radicular requiere un manejo agronómico adecuado, incluyendo un sistema de riego optimizado y una correcta aireación del suelo. La selección de estrategias de riego deficitario y bioestimulación con quitosanas podría potenciar aún más su rendimiento de condiciones de estrés hídrico, haciendo de este patrón una opción viable para mejorar la productividad del melocotonero en regiones con recursos hídricos limitados (Martín et al., 2014).

## 3.2 Descripción de la finca experimental

El experimento se realizó entre agosto y noviembre de 2023 en una finca comercial ubicada en el término municipal de Jumilla, Región de Murcia ( $38^{\circ}27'10,2''$  N,  $1^{\circ}17'10,4''$  W). La plantación consistió en melocotoneros (*Prunus persica* L.), variedades Duero y Tiétar, injertados sobre patrón GF-677.

Los árboles, de 3 años, estaban a un marco de plantación de 5 m x 3 m, resultando una densidad de 666 árboles por hectárea. El sistema de riego usado fue un lateral simple por hilera, compuesto por una tubería de polietileno de baja densidad (PEBD) de 16 mm de diámetro. Cada árbol contaba con cinco emisores autocompensantes de 3 L h<sup>-1</sup>.

En cuanto a la fertilización aplicada esta diferenciada según la variedad, así para la variedad Duero se aplicaron 134 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N), 24 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 115 kg ha<sup>-1</sup> de potasio (K<sub>2</sub>O); mientras que para la variedad Tiétar se aplicaron 147 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N), 27 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 127 kg ha<sup>-1</sup> de potasio (K<sub>2</sub>O).

El agua fue suministrada por la comunidad de regantes 'Miraflores', presentando una conductividad eléctrica ( $CE_{25^{\circ}C}$ ) de  $1,71 \text{ dS m}^{-1}$ , la cual fue considerada en la programación de los riegos para minimizar posibles pérdidas productivas.

El suelo, medianamente pedregosos, tuvo una textura franco-arenosa, caracterizado por una capacidad de retención hídrica media.

### **3.3 Condiciones edafoclimáticas**

El clima de la región se clasifica como semiárido, caracterizado por precipitaciones escasas de carácter torrencial. Las condiciones climáticas específicas del periodo experimental se obtuvieron de la estación meteorológica 'MU112', perteneciente a la red del Sistema de Información Agraria de la Región de Murcia (SIAM).

La evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ), calculado mediante el método FAO-Penman-Monteith, fue de 1497 mm y la precipitación anual fue de 155 mm lo que refleja la necesidad de riego suplementario constante para cubrir los requerimientos hídricos del cultivo.

### **3.4 Tratamientos de riego**

En el marco de experimento, se establecieron diferentes estrategias de riego con el objetivo de evaluar el comportamiento de las variedades de melocotonero Duero y Tiétar 'bajo condiciones controladas de suministro hídrico. Para ello, se diseñaron dos regímenes principales: el riego de finca (RF) y el riego deficitario (RD), aplicados mediante un sistema de goteo localizado.

El tratamiento de riego de finca (RF) fue considerado como control, ya que consistía en el riego convencional aplicado según las recomendaciones técnicas de la finca.

Por otro lado, el tratamiento de riego deficitario (RD) implicó una reducción del 33 % del volumen de agua aplicado en el riego de finca, es decir, se administró únicamente un 67 % del agua correspondiente a RF.

Las aplicaciones se programaron semanalmente basándose en los datos climáticos locales, como la ETo, obtenidos de la estación meteorológica 'MU112' del SIAM.

Adicionalmente, la evaluación de los tratamientos incluyó el análisis de volúmenes de agua aplicados (VAR) en cada uno, los cuales serán fundamentales para calcular la eficiencia del uso del agua (EUA), un indicador clave para interpretar los resultados del experimento. El diseño experimental permitió comparar directamente los efectos de estos regímenes sobre la fisiología del cultivo y su producción, ofreciendo información valiosa sobre la viabilidad de aplicar técnicas de riego deficitario en contextos semiáridos.

### **3.5 Tratamientos de quitosanas**

De manera complementaria, el experimento incluyó el uso de quitosanas como parte de una estrategia innovadora para mejorar la tolerancia del cultivo al estrés hídrico y potenciar la calidad de los frutos. Para ello, se empleó el producto comercial 'Quit Activ', elaborado a base de clorhidrato de quitosano, un compuesto derivado de la quitina que actúa como bioestimulante. Este producto, fabricado por Nutrigenia (Teruel, España), ha demostrado tener efectos beneficiosos en el fortalecimiento de las defensas naturales de las plantas y en la mejora de su rendimiento bajo condiciones adversas.

El tratamiento con quitosanas se implementó mediante dos aplicaciones diferenciadas a lo largo del ensayo: (i) el 1 de agosto de 2023, con una dosis de 16 L ha<sup>-1</sup>; (ii) el 4 de septiembre de 2023, administrando una dosis de 6 L ha<sup>-1</sup>. La primera aplicación coincidió con una fase clave del desarrollo de los frutos, mientras que la segunda se llevó a cabo durante su maduración, momento en el que el estrés hídrico podría tener mayor impacto en la calidad final del producto.

Para evaluar los efectos combinados del riego y la aplicación de quitosanas, se establecieron cuatro tratamientos específicos por variedad de melocotonero. Los árboles regados al 100% sin aplicación de quitosanas se identificaron como Control-Sin quitosanas (RFNQ), mientras que aquellos regados al 100% con quitosanas fueron clasificados como Control-Con quitosanas (RFQ). Por otro lado, los árboles regados al

67% sin quitosanas correspondieron al tratamiento Riego deficitario-Sin quitosanas (RDNQ), y aquellos regados al 67% con quitosanas conformaron el tratamiento Riego deficitario-Con quitosanas (RDQ).

Estos tratamientos permitirán analizar con precisión la interacción entre el régimen hídrico y la aplicación de quitosanas en la calidad, composición bioactiva y actividad antioxidante de las semillas de melocotonero.

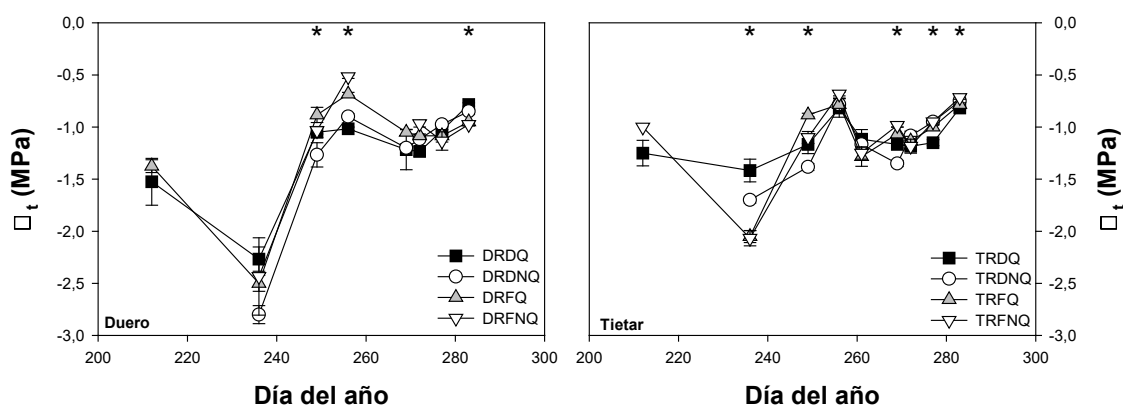
### 3.6 Parámetros evaluados

#### 3.6.1 Potencial hídrico de tallo

En el marco del experimento, el potencial hídrico del tallo ( $\Psi_t$ ) se utilizó como indicador de referencia para evaluar el estado hídrico de los melocotoneros bajo los diferentes tratamientos de riego y quitosanas.

El  $\Psi_t$  fue medido utilizando una cámara de presión Scholander (mod. 600-EXP, PMS instrument Co., Oregon, USA) en hojas completamente desarrolladas y cercanas al tronco, previamente cubiertas con papel de aluminio durante, al menos, dos horas antes de la medición. Las mediciones se realizaron semanalmente a lo largo del periodo experimental, abarcando desde agosto hasta noviembre del 2023. Cada tratamiento se replicó en varias plantas, permitiendo realizar un análisis estadístico robusto para identificar diferencias significativas entre los tratamientos de riego y quitosanas.

Figura 5: Evolución del potencial hídrico de tallo ( $\Psi_t$ ) según variedad



En la Figura 5, se puede observar la evolución del  $\Psi_t$  en el tiempo para las variedades (izquierda) Duero (DRDQ, DRDNQ, DRFQ, DRFNQ) y (derecha) Tiétar (TRDQ, TRDNQ, TRDQ, TRFNQ) donde D/T indican la variedad; RD/RC el régimen hídrico (riego deficitario o de finca) y Q/NQ la aplicación o no de quitosanas.

El  $\Psi_t$  reflejó, de forma precisa, el estado hídrico de los melocotoneros bajo los diferentes tratamientos. El régimen hídrico establecido por el técnico de la finca (RF) logró satisfacer la demanda hídrica en ambas variedades estudiadas, incluso durante las semanas más cálidas del ensayo. Por el contrario, los melocotoneros sometidos a RD presentaron valores de  $\Psi_t$  significativamente más bajos que los valores de RF, especialmente en los periodos de alta demanda evaporativa. De esta manera, el déficit hídrico generó un estrés ligero-moderado. Los tratamientos con quitosanas mostraron valores de  $\Psi_t$  más altos en comparación con los tratamientos sin quitosanas, bajo en condiciones de RD. Por ende, la aplicación de las quitosanas palió los efectos del estrés hídrico, manteniendo un mejor estado hídrico del cultivo, especialmente en los periodos de mayor estrés hídrico.

### 3.6.2 Caracterización morfológica del hueso

Para la caracterización morfológica de los huesos de melocotón se seleccionaron 30 huesos de cada tratamiento. Antes de proceder con las mediciones, los huesos se limpiaron para eliminar posibles restos de pulpa que pudieran interferir en los datos obtenidos (Figura 6).

Los parámetros morfométricos medidos en los huesos fueron: peso del hueso (g), longitud del hueso (mm), diámetro ecuatorial del hueso (mm) y grosor (mm) medido en la parte media del hueso. Para el peso de los huesos se utilizó una balanza digital (modelo Kern 440) con una precisión de 0,001 g. La anchura, longitud y grosor de los huesos se midieron con un calibre electrónico digital (Mitutoyo CD- 15 DC) con una precisión de 0,01 mm. Los huesos, una vez calibrados, se partieron de forma manual asegurando que las semillas no sufrieran daños durante el proceso.



El rendimiento de la cáscara se calculó en base a la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento de la cáscara (\%)} = \frac{\text{Peso almendra con cáscara} - \text{Peso semilla}}{\text{Peso almendra con cáscara}} \times 100$$

### 3.6.3 Caracterización morfológica de la semilla

Los parámetros medidos en las semillas fueron: peso de la semilla (g), diámetro ecuatorial, longitud y grosor (mm).

El instrumental utilizado para la caracterización de las semillas fueron los mismos que los utilizados para los huesos.

Una vez las semillas fueron calibradas y pesadas se procedió a su trituración manual mediante un mortero de porcelana.

Las semillas trituradas fueron envasadas al vacío y conservadas hasta su utilización para los posteriores análisis (perfil de ácidos y azúcares, determinación de la actividad antioxidante y determinación del contenido en fenoles totales).

**Figura 6: Huesos variedades según tratamientos y riego aplicado**



Variedad Duero: riego deficitario sin quitosanas



Variedad Duero: riego deficitario y quitosanas



Variedad Duero: riego finca sin quitosanas



Variedad Duero: riego finca con quitosanas



Variedad Tiétar: riego deficitario con quitosanas



Variedad Tiétar: riego finca con quitosanas



Variedad Tiétar: riego finca sin quitosanas



Variedad Tiétar: riego deficitario sin quitosanas

Fuente: elaboración propia

#### 3.6.4 Perfil de azúcares y ácidos orgánicos de las semillas

La extracción de los azúcares y ácidos orgánicos de las semillas se realizó como se describe a continuación. Brevemente, a 0,5 g de semillas trituradas se le adicionó 5 mL de tampón fosfato a pH 7,8; posteriormente se sonicó en un baño de ultrasonidos durante 15 minutos. Una vez sonicadas las muestras fueron centrifugadas (Sigma 3–18 K; Sigma, Osterode am Harz, Germany) a 15.000 rpm durante 20 minutos. Tras la centrifugación el sobrenadante se guardó en viales hasta su posterior uso. Para la determinación de los ácidos orgánicos, se tomó una alícuota de 1 mL de muestra centrifugada, la cual se filtró utilizando un filtro Millipore de 0.45  $\mu\text{m}$  y luego se inyectó en un sistema de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) HP Series 1100 (Hewlett-Packard, Wilmington, DE, EE. UU.). La fase móvil consistió en una solución de ácido fosfórico a una concentración 0,1 %, con un flujo de 0,5 mL /min. Los ácidos orgánicos fueron separados en una columna Supelcogel C- 610H (30 cm  $\times$  7.8 mm de diámetro interno) equipada con una precolumna Supelguard (5 cm  $\times$  4.6 mm) (Supelco, Inc., Bellefonte, PA, EE. UU.), y detectados mediante un detector UV-Vis a 210 nm. Para el análisis de azúcares, se utilizó el mismo sistema HPLC, la misma fase móvil, flujo y columnas, pero la detección se realizó con un detector de índice de refracción (G1362A, Hewlett-Packard). La cuantificación se llevó a cabo utilizando curvas estándar de ácidos orgánicos puros y azúcares. Las concentraciones de ácidos orgánicos y azúcares se expresaron en g/ 100 g de muestra y los análisis se realizaron por triplicado.

#### 3.6.5 Actividad antioxidante y contenido en fenoles totales de las semillas

Para la determinación de la actividad antioxidante, se preparó un extracto metanólico con cada muestra a analizar. Las semillas trituradas (0,5 g) se mezclaron con 10 mL de MeOH/agua (80:20, v/v) + 1 % de HCl, sonicados a 20 °C durante 15 minutos y se dejaron 24 h a 4 °C. A continuación, el extracto se volvió a sonicar durante 15 min y se centrifugó a 15.000 rpm durante 10 minutos. La actividad de barrido de radicales se evaluó utilizando el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), según lo descrito por Brand-Williams et al. (1995) modificando el tiempo de reacción. Brevemente, 10 mL del

sobrenadante se mezclaron con 40 mL de MeOH y se añadieron a 950 mL de solución de DPPH. La mezcla se agitó enérgicamente y se midió a los 10 minutos de reacción. La disminución de la absorbancia se midió a 515 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Uvikon XS (Bio-Tek Instruments, Saint Quentin Yvelines, Francia).

Además, el catión radical ABTS [ácido 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)] y el poder antioxidante férrico reductor (FRAP), se determinaron de acuerdo con la metodología propuesta por Re et al. (1999) y Benzie y Strain (1996), respectivamente. Brevemente, 10 mL de sobrenadante se mezclaron con 990 mL de ABTS o FRAP. Después de 10 minutos de reacción, se midió la absorbancia a 734 nm para el ABTS y a 593 nm para el FRAP. La absorbancia se midió mediante UV-Vis Uvikon XS (Bio-Tek Instruments, Saint Quentin Yvelines, Francia).

Se utilizaron curvas de calibración, en el intervalo 0,01-5,00 mM Trolox/L para la cuantificación de los tres métodos de actividad antioxidante, mostrando una buena linealidad ( $r^2 \geq 0.998$ ). Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en mmol Trolox  $\text{kg}^{-1}$  en peso seco.

**Los polifenoles totales** se cuantificaron utilizando el método de Folin-Ciocalteu. Para ello, se añadió el reactivo de Folin-Ciocalteu a una alícuota de la solución metanólica de las muestras, y la mezcla se incubó a 20 °C durante 3 minutos. Posteriormente, se agregó  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% (p/v en agua) y las soluciones se mantuvieron a temperatura ambiente y en oscuridad durante 1 hora. Después de este tiempo, se midió la absorbancia a 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Uvikon XS (Bio-Tek Instruments, Saint Quentin Yvelines, Francia).

Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de peso seco (mg GAE 100  $\text{g}^{-1}$  peso seco), calculados a partir de una curva estándar obtenida con ácido gálico puro (Sigma). Cada análisis se realizó en triplicado.

### **3.7 Análisis estadístico**

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para la comparación de las muestras, y las diferencias entre las medias se evaluaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Para determinar asociaciones estadísticamente significativas, se aplicó un umbral de  $\alpha = 0.05$ . El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software XLSTAT versión 9 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Las muestras con diferencias significativas se identificaron con letras distintas para facilitar la interpretación de los resultados.

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Caracterización morfológica del hueso**

Los resultados de los parámetros morfométricos medidos en los huesos del melocotón se muestran en la Tabla 1.

El peso del hueso no se vio afectado ni por el tratamiento de riego ni por el tratamiento de quitosanas aplicados, solo el efecto variedad influyó en el peso medio de hueso; siendo la variedad Duero la que presentó un mayor peso de hueso (4,50 g) frente a la variedad Tiétar (4,24 g). Estos resultados están en consonancia con estudios previos que indican que las diferencias en la morfología del hueso pueden estar determinadas por factores genéticos, como la variedad (Walker et al., 2018; Zheng et al., 2021).

En cuanto a la longitud de los huesos, no se observó un efecto del tratamiento de riego; sin embargo, fue influenciada por el tratamiento de quitosanas, donde el tratamiento sin quitosanas obtuvo una longitud promedio de los huesos mayor (32,35 mm) que con la aplicación de estas (31,48 mm). Este resultado puede estar relacionado con la capacidad de las quitosanas para modular el crecimiento en ciertas condiciones. Además, la variedad Tiétar (32,56 mm) mostró valores significativamente superiores a la variedad Duero (30,69 mm). Estos resultados son consistentes con lo reportado por estudios que sugieren que el estrés hídrico puede influir en el crecimiento vertical y la

morfología del endocarpio, donde la disponibilidad de agua tiene un impacto crucial en el desarrollo del fruto (Baldicchini et al., 2015; Rodríguez et al., 2019).

El grosor del hueso no fue afectado por el tratamiento de quitosanas, pero se observó un grosor mayor en riego de finca (17,49 mm vs 17,01 mm) y en la variedad Duero (17,72 mm vs 17,01 mm). Estos resultados son consistentes con investigaciones previas, donde observaron que un riego que satisface las necesidades favorece el desarrollo de estructuras más gruesas debido a la mayor disponibilidad de agua y nutrientes, lo que a su vez induce la acumulación de compuestos dentro del endocarpio (Famiani et al., 2012; Walker et al., 2018). Por último, el diámetro ecuatorial no mostró diferencias significativas en función del tratamiento con quitosanas, tipo de riego ni la variedad. Esto coincide con lo observado en estudios anteriores que señalan que, a pesar de que ciertos tratamientos pueden influir en otras características, el diámetro ecuatorial puede mantenerse relativamente estable bajo condiciones de riego diferentes (Moscatello et al., 2019).



**TABLA 1: Parámetros morfométricos de los huesos del melocotón**

Variedad	Riego	Tratamiento	Peso (g)	Longitud (mm)	Ø ecuatorial (mm)	Grosor (mm)
Duero	Riego finca	Quitosanas	4,49a	29,91 c	21,24 ab	17,75 ab
		No quitosanas	4,34 ab	30,12 bc	20,94 b	17,81 ab
	Riego deficitario	Quitosanas	4,61 a	31,99 abc	21,25 ab	17,58 ab
		No quitosanas	4,54 a	30,76 bc	21,09 ab	17,72 ab
Tiétar	Riego finca	Quitosanas	4,24 ab	31,77 bc	21,28 ab	16,74 ab
		No quitosanas	4,51 a	34,16 a	21,99 a	17,90 a
	Riego deficitario	Quitosanas	4,28 ab	31,77bc	21,45 ab	16,90 ab
		No quitosanas	3,92 b	32,45 ab	20,89 b	16,47 b
<b>Interacciones</b>			<b>Peso (g)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Ø ecuatorial (mm)</b>	<b>Grosor (mm)</b>
Tratamiento	Quitosanas		4,36 a	31,48 b	21,32 a	17,11 a
	No quitosanas		4,29 a	32,35 a	21,30 a	17,38 a
Riego	Finca		4,39 a	31,99 a	21,46 a	17,49 a
	Deficitario		4,26 a	31,86 a	21,17 a	17,01 b
Variedad	Duero		4,50 a	30,69 b	21,13 a	17,72 a
	Tiétar		4,24 b	32,56 a	21,41 a	17,01 b
Tratamiento + Riego	Riego finca	Quitosanas	4,33 ab	31,12 b	21,27 ab	17,10 ab
		No Quitosanas	4,45 a	32,81 a	21,64 a	17,87 a
	Riego deficitario	Quitosanas	4,40 ab	31,84 ab	21,38 ab	17,13 ab
		No Quitosanas	4,13 b	31,88 ab	20,96 b	16,89 b
Variedad + tratamiento	Duero	Quitosanas	4,55 a	30,95 b	21,24 a	17,66 ab
		No Quitosanas	4,448 ab	30,44 b	21,02 a	17,77 a
	Tiétar	Quitosanas	4,26 ab	31,77 b	21,37 a	16,82 b
		No Quitosanas	4,221b	33,31 a	21,44 a	17,19 ab
Variedad + riego	Duero	Riego finca	4,42 a	30,02 c	21,09 a	17,78 a
		Riego deficitario	4,58 a	31,37 bc	21,17 a	17,65 a
	Tiétar	Riego finca	4,38 a	33,01 a	21,65 a	17,34 ab
		Riego deficitario	4,10 b	32,11 ab	21,17 a	16,68 b

Los valores (medias) seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna, no son significativamente diferentes (prueba de Tukey  $\alpha < 0,05$ ; n = 30).

Los valores seguidos de letras diferentes (a,b,c...) dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey

## 4.2 Caracterización morfológica de las semillas

Los resultados de los parámetros morfométricos medidos en las semillas del melocotón y del rendimiento de la cáscara y porcentaje de la semilla se muestran en la Tabla 2 y la Tabla 3, respectivamente.

**TABLA 2: Parámetros morfométricos de las semillas del melocotón**

Variedad	Riego	Tratamiento	Peso (g)	Longitud(mm)	Ø ecuatorial (mm)	Grosor (mm)
Duero	Riego finca	Quitosanas	0,37ab	15,07 de	9,71 a	5,12 a
		No quitosanas	0,38 ab	15,42 cd	9,59 a	5,21 a
	Riego deficitario	Quitosanas	0,39 a	16,27 abc	9,95 a	5,03 a
		No quitosanas	0,38 ab	14,28 e	8,88 b	4,09 c
Tiétar	Riego finca	Quitosanas	0,36 ab	16,68 ab	9,58 a	4,54 b
		No quitosanas	0,37 ab	17,03 a	9,82 a	4,53 b
	Riego deficitario	Quitosanas	0,37 ab	16,82 a	9,89 a	4,51 bc
		No quitosanas	0,35 b	16,17 bc	9,54 a	4,54 b
Interacciones			Peso (g)	Longitud(mm)	Ø ecuatorial (mm)	Grosor (mm)
Tratamiento	Quitosanas		0,37 a	16,38 a	9,77 a	4,71 a
	No quitosanas		0,37 a	16,02 b	9,53 b	4,57 b
Riego	Finca		0,37 a	16,31 a	9,69 a	4,75 a
	Deficitario		0,37 a	16,08 a	9,61 a	4,54 b
Variedad	Duero		0,38 a	15,26 b	9,53 b	4,86 a
	Tiétar		0,36 b	16,67 a	9,71 a	4,53 b
Tratamiento + Riego	Riego finca	Quitosanas	0,36 a	16,11b	9,63 b	4,74 a
		No Quitosanas	0,37 a	16,49 ab	9,75 ab	4,76 a
	Riego deficitario	Quitosanas	0,38 a	16,63 a	9,91 a	4,69 a
		No Quitosanas	0,36 a	15,54 c	9,32 c	4,39 b
Variedad + tratamiento	Duero	Quitosanas	0,38 a	15,67 b	9,83 a	5,07 a
		No Quitosanas	0,38 a	14,85 c	9,24 b	4,65 b
	Tiétar	Quitosanas	0,37 a	16,75 a	9,74 a	4,53 b
		No Quitosanas	0,36 a	16,60 a	9,68 a	4,54 b
Variedad + riego	Duero	Riego finca	0,37 ab	15,25 b	9,65 ab	5,16 a
		Riego deficitario	0,39 a	15,28 b	9,41 b	4,56 b
	Tiétar	Riego finca	0,36 ab	16,86 a	9,70 a	4,54 b
		Riego deficitario	0,36 b	16,49 a	9,71 a	4,52 b

Los valores (medias) seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna, no son significativamente diferentes (prueba de Tukey  $\alpha < 0,05$ ; n = 30).

Los valores seguidos de letras diferentes (a,b,c...) dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey



El peso de la semilla (Tabla 2) no se vio afectado ni por el tratamiento de quitosanas ni por el tipo de riego aplicado. Sin embargo, la variedad Duero mostró un mayor peso (0,38 g) frente a la variedad Tiétar (0,36 g).

En cuanto a la longitud y el diámetro no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de riego. No obstante, el uso de quitosanas muestra una mayor longitud de la semilla (16,38 mm vs 16,02 mm) en comparación a sin tratamiento de quitosanas. De la misma manera, el diámetro ecuatorial fue mayor en el tratamiento de quitosanas (9,77 mm vs 9,53 mm). Las semillas de la variedad Tiétar presentaron una mayor longitud (16,67 mm) y diámetro (9,71 mm) comparadas con las semillas de la variedad Duero (15,25 mm y 9,53 mm, respectivamente).

Por otro lado, el grosor de semilla se vio afectado tanto por el uso de quitosanas como por el tipo de riego y variedad. Así, se observó un mayor grosor de la semilla en las muestras tratadas con quitosanas, riego de finca y con la variedad Duero (4,71 mm; 4,57 mm; 4,86 mm, respectivamente). En cambio, los valores fueron inferiores en las muestras que no fueron tratadas con quitosanas, bajo riego deficitario y en la variedad Tiétar (4,57 mm; 4,54 mm; 4,53 mm, respectivamente).

Estos resultados coinciden con los reportados por Romero et al. (2004), quienes indicaron que un suministro constante de agua mejora el transporte de azúcares y nutrientes hacia las semillas, favoreciendo su crecimiento. Además, el estrés hídrico puede afectar la acumulación de reservas de proteínas en el del fruto (Lombardo et al. 2011), lo que explicaría el menor crecimiento en semillas bajo riego deficitario sin quitosanas.

Por otro lado, la aplicación de quitosanas podría influir en la regulación hormonal del crecimiento de la semilla (Bonghi et al., 2011). De este modo, la modulación de la biosíntesis de lignina y flavonoides también juega un papel importante en la adaptación de las semillas a condiciones de estrés hídrico (Hu et al., 2011), lo que podría explicar el aumento del grosor de las semillas tratadas con quitosanas.

Asimismo, la variabilidad en el crecimiento de las semillas bajo diferentes condiciones de riego y tratamientos podría estar relacionada con la expresión diferencial de genes,

como señalaron Dardick et al. (2010). En este estudio se observó que el riego finca en la variedad Duero sin quitosanas favorece el mayor crecimiento en diámetro, lo que coincide con la idea de que el riego deficitario puede mejorar la eficiencia del uso del agua sin comprometer la calidad de la semilla (Romero et al., 2024).

En cuanto al rendimiento en cascara y porcentaje en semillas los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.



**TABLA 3: Rendimiento en cáscara (%) y porcentaje semilla**

Variedad	Riego	Tratamiento	Rendimiento cascara (%)	% semilla
Duero	Riego finca	Quitosanas	91,41 ab	8,58 ab
		No quitosanas	91,13 ab	8,87 ab
	Riego deficitario	Quitosanas	91,26 ab	8,73 ab
		No quitosanas	91,47 ab	8,52 ab
Tiétar	Riego finca	Quitosanas	91,46 ab	8,53 ab
		No quitosanas	91,68 a	8,31 b
	Riego deficitario	Quitosanas	91,17 ab	8,82 ab
		No quitosanas	90,95 b	9,05 a
<b>Interacciones</b>			<b>Rendimiento cascara (%)</b>	<b>% semilla</b>
Tratamiento	Quitosanas		91,32 a	8,67 a
	No quitosanas		91,31 a	8,68 a
Riego	Finca		91,47 a	8,52 b
	Deficitario		91,16 b	8,83 a
Variedad	Duero		91,32 a	8,67 a
	Tiétar		91,31 a	8,68 a
Tratamiento + Riego	Riego finca	Quitosanas	91,45 a	8,55 a
		No Quitosanas	91,50 a	8,49 a
	Riego deficitario	Quitosanas	91,20 a	8,79 a
		No Quitosanas	91,12 a	8,87 a
Variedad + tratamiento	Duero	Quitosanas	91,34 a	8,65 a
		No Quitosanas	91,30 a	8,69 a
	Tiétar	Quitosanas	91,31 a	8,68 a
		No Quitosanas	91,31 a	8,68 a
Variedad + riego	Duero	Riego finca	91,27 ab	8,72 ab
		Riego deficitario	91,37 ab	8,62 ab
	Tiétar	Riego finca	91,58 a	8,41 b
		Riego deficitario	91,05 b	8,94 a

Los valores (medias seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna, no son valores significativamente diferentes (prueba Tukey  $\alpha < 0,05$ ;  $n = 30$ ).

Los valores seguidos de letras diferentes (a,b,c...) dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

El rendimiento en cáscara (Tabla 3) no se vio afectado por el tratamiento de quitosanas ni por la variedad. Sin embargo, se observó que el riego finca presentó un mayor rendimiento (91,47 %) en comparación con el riego deficitario (91,16 %). Estos resultados están en consonancia con los reportados por Dardick et al. (2010), quienes indicaron que la formación de la pared celular y el desarrollo de la cáscara podrían verse afectados por la disponibilidad hídrica. Según sus estudios, el estrés hídrico moderado debería provocar una mayor lignificación y, en consecuencia, un aumento en el rendimiento de la cáscara en los árboles sometidos a estrés hídrico. Hu et al. (2011) señalaron que la biosíntesis de lignina juega un papel importante en la adaptación de las semillas a condiciones de estrés hídrico, lo que podría a ver favorecido un aumento en el grosor o resistencia de la cáscara en riego deficitario, sin necesariamente incrementar su rendimiento global. En este caso, la mínima diferencia observada sugiere que el impacto del estrés hídrico sobre la cáscara no es lo suficientemente significativo como para modificar su rendimiento.

El porcentaje de semilla no fue afectada por el tratamiento de quitosanas ni por la variedad. No obstante, el riego deficitario ofrece un mayor porcentaje de semillas (8,83 %) en comparación con el riego de finca (8,52 %). Estos resultados coinciden con los reportados por Hayama et al. (2006) y Bonghi et al. (2011), quienes señalaron que el balance hormonal bajo condiciones de estrés hídrico puede influir en la reducción de la biomasa hacia las semillas. Asimismo, Romero et al. (2004) destacaron que el riego deficitario puede optimizar el uso del agua por la planta, priorizando el empleo de recursos en órganos reproductivos, lo que podría explicar el leve incremento de porcentaje de semilla en este estudio.

#### **4.3 Perfil de azúcares y ácidos orgánicos de las semillas**

El perfil de ácidos orgánicos y azúcares de las semillas de melocotonero se muestra en la Tabla 4 y Tabla 5, respectivamente.

**Los ácidos orgánicos** identificados en las semillas fueron el cítrico y el quínico (Tabla 4).

**TABLA 4: Perfil ácidos orgánicos de las semillas**

Variedad	Riego	Tratamiento	Cítrico (g 100 g <sup>-1</sup> )	Quínico (g 100 g <sup>-1</sup> )	Total (g 100 g <sup>-1</sup> )
Duero	Riego finca	Quitosanás	3,22 ab	4,52 e	7,74 e
		No quitosanás	3,11 b	8,08 c	11,19 c
	Riego deficitario	Quitosanás	2,76 d	8,36 c	11,12 c
		No quitosanás	3,05 bc	9,05 b	12,10 b
Tiétar	Riego finca	Quitosanás	3,47 a	9,00 b	12,47 a
		No quitosanás	2,43 e	9,84 a	12,27 ab
	Riego deficitario	Quitosanás	1,95 f	7,13 d	9,08 d
		No quitosanás	2,78 cd	9,26 b	12,04 b
Interacciones			Cítrico (g 100 g <sup>-1</sup> )	Quínico (g 100 g <sup>-1</sup> )	Total (g 100 g <sup>-1</sup> )
Tratamiento	Quitosanás		2,85 a	7,25 b	10,10 b
	No quitosanás		2,84 a	9,05 a	11,90 a
Riego	Finca		3,05 a	7,86 b	10,91 b
	Deficitario		2,63 b	8,45 a	11,08 a
Variedad	Duero		3,03 a	7,50 b	10,53 b
	Tiétar		2,65 b	8,80 a	11,46 a
Tratamiento + Riego	Riego finca	Quitosanás	3,34 a	6,76 d	10,10 c
		No Quitosanás	2,77 b	8,96 b	11,73 b
	Riego deficitario	Quitosanás	2,35 c	7,74 c	10,10 c
		No Quitosanás	2,91 b	9,15 a	12,07 a
Variedad + tratamiento	Duero	Quitosanás	2,99 a	6,44 d	9,43 d
		No Quitosanás	3,08 a	8,56 b	11,64 b
	Tiétar	Quitosanás	2,71 b	8,06 c	10,77 c
		No Quitosanás	2,60 b	9,55 a	12,15 a
Variedad + riego	Duero	Riego finca	3,16 a	6,30 d	9,46 d
		Riego deficitario	2,90 b	8,70 b	11,61 b
	Tiétar	Riego finca	2,95 b	9,42 a	12,37 a
		Riego deficitario	2,36 c	8,19 c	10,56 c

Los valores (medias) seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna, no son significativamente diferentes (prueba de Tukey  $\alpha < 0,05$ ;  $n = 3$ ).

Los valores seguidos de letras diferentes (a,b,c...) dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

El ácido cítrico (Tabla 4) no presentó diferencias significativas en función del tratamiento con quitosanás. Sin embargo, se observó una mayor concentración bajo riego de finca (3,05 g 100 g<sup>-1</sup>) y en la variedad Duero (3,03 g 100 g<sup>-1</sup>) en comparación con el riego deficitario (2,63 g 100 g<sup>-1</sup>) y la variedad Tiétar (2,65 g 100 g<sup>-1</sup>).

Por otro lado, el ácido quínico mostró diferencias significativas según el tratamiento de quitosanas, tipo de riego y la variedad. De esta manera, se observó una mayor concentración de ácido quínico en las muestras sin tratamiento de quitosanas ( $9,05 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), bajo riego deficitario ( $8,45 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y en la variedad Tiétar ( $8,80 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ). En cambio, las concentraciones fueron menores en las muestras tratadas con quitosanas ( $7,25 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), bajo riego de finca ( $7,86 \text{ g}$ ) y en la variedad Duero ( $7,50 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ).

Por último, los ácidos totales también se presentaron diferencias significativas en función al tratamiento de quitosanas, tipo de riego y la variedad. Se obtuvo un mayor contenido en ácidos totales en las muestras sin quitosanas ( $11,90 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), bajo riego deficitario ( $11,08 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y con la variedad Tiétar ( $11,46 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), mientras que el menor contenido se obtuvo en las muestras tratadas con quitosanas ( $10,10 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), bajo riego de finca ( $10,91 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y variedad Duero ( $10,53 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ ).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Romero et al. (2004), quienes indicaron que el riego deficitario incrementa la concentración de compuestos orgánicos al reducir el contenido de agua en los tejidos, promoviendo una mayor acumulación de ácido orgánicos. Además, la respuesta diferencial entre variedades podría estar relacionada con la capacidad de cada genotipo para ajustar su metabolismo en condiciones de estrés hídrico (Dardick et al., 2010).

En este sentido, el uso de quitosanas parece modular la respuesta bioquímica de las semillas, reduciendo la acumulación de ácidos orgánicos. Esto podría estar vinculado con su efecto sobre la regulación del metabolismo secundario y la actividad enzimática, como sugieren estudios previos. Así, la combinación de factores como el manejo hídrico y el uso de bioestimulantes puede ser clave para optimizar la calidad bioquímica de las semillas (Romero et al., 2004).

En relación con el **contenido de azúcares**, los azúcares identificados en las semillas de melocotón fueron la sacarosa, maltitol, glucosa y fructosa (Tabla 5).

**TABLA 5: Perfil de azúcares de las semillas**

Variedad	Riego	Tratamiento	Sacarosa (g 100 g <sup>-1</sup> )	Maltitol (g 100 g <sup>-1</sup> )	Glucosa (g 100 g <sup>-1</sup> )	Fructosa (g 100 g <sup>-1</sup> )	Total azúcares (g 100 g <sup>-1</sup> )
Duero	Riego finca	Quitosanas	11,88 b	37,43 a	16,18 b	5,37 a	70,86 a
		No quitosanas	11,95 b	35,54 d	13,13 e	4,98 bc	65,60 d
	Riego deficitario	Quitosanas	8,58 e	35,99 c	13,39 e	5,24 ab	63,20 e
		No quitosanas	12,95 a	36,16 c	14,85 c	5,20 ab	69,16 b
Tiétar	Riego finca	Quitosanas	9,64 c	32,39 f	14,48 d	5,10 abc	61,61 f
		No quitosanas	7,21 f	32,77 e	12,20 g	4,89 c	57,07 g
	Riego deficitario	Quitosanas	6,71 g	28,53 g	12,64 f	5,19 ab	53,07 h
		No quitosanas	9,29 d	36,93 b	16,87 a	5,25 ab	68,34 c
Interacciones			Sacarosa (g 100 g <sup>-1</sup> )	Maltitol (g 100 g <sup>-1</sup> )	Glucosa (g 100 g <sup>-1</sup> )	Fructosa (g 100 g <sup>-1</sup> )	Total azúcares (g 100 g <sup>-1</sup> )
Tratamiento	Quitosanas		9,20 b	33,58 b	14,17 b	5,22 a	62,18 b
	No quitosanas		10,35 a	35,35 a	14,26 a	5,08 b	65,04 a
Riego	Finca		10,17 a	34,53 a	13,99 b	5,08 b	63,78 a
	Deficitario		9,38 b	34,40 b	14,43 a	5,22 a	63,44 b
Variedad	Duero		11,34 a	36,28 a	14,38 a	5,19 a	67,20 a
	Tiétar		8,21 b	32,65 b	14,04 b	5,10 b	60,02 b
Tratamiento + Riego	Riego finca	Quitosanas	10,76 b	34,91 b	15,33 b	5,23 a	66,23 b
		No Quitosanas	9,58 c	34,15 c	12,66 d	4,93 b	61,33 c
	Riego deficitario	Quitosanas	7,64 d	32,26 d	13,01 c	5,21 a	58,13 d
		No Quitosanas	11,12 a	36,54 a	15,86 a	5,22 a	68,75 a
Variedad + tratamiento	Duero	Quitosanas	10,23 b	36,71 a	14,78 a	5,30 a	67,03 b
		No Quitosanas	12,45 a	35,85 b	13,99 c	5,09 b	67,38 a
	Tiétar	Quitosanas	8,17 c	30,46 d	13,56 d	5,14 ab	57,34 d
		No Quitosanas	8,25 c	34,85 c	14,53 b	5,07 b	62,70 c
Variedad + riego	Duero	Riego finca	11,91 a	36,48 a	14,65 a	5,17 a	68,23 a
		Riego deficitario	10,76 b	36,07 b	14,12 b	5,22 a	66,18 b
	Tiétar	Riego finca	8,42 c	32,58 c	13,34 c	4,99 b	59,34 d
		Riego deficitario	8,00 d	32,73 c	14,75 a	5,22 a	60,70 c

Los valores (medias) seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna, no son significativamente diferentes (prueba de Tukey  $\alpha < 0,05$ ; n = 3).

Los valores seguidos de letras diferentes (a,b,c...) dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

El mayor contenido en sacarosa se obtuvo en las muestras sin quitosanas (10,35 g 100 g<sup>-1</sup>), bajo riego finca (10,17 g 100 g<sup>-1</sup>) y para la variedad Duero (11,34 g 100 g<sup>-1</sup>); mientras que los valores de sacarosa más bajos se obtuvieron en las muestras tratadas con quitosanas (9,20 g 100 g<sup>-1</sup>), bajo riego deficitario (9,38 g 100 g<sup>-1</sup>) y para la variedad Tiétar

(Tabla 5). Un patrón similar se encontró para el maltitol, obteniéndose una mayor concentración en la variedad Duero (36,28 g 100 g<sup>-1</sup>) frente a la variedad Tiétar (32,65 g 100 g<sup>-1</sup>).

Por otro lado, la glucosa mostró concentraciones similares en todos los tratamientos, sin diferencias significativas. La fructosa presentó un comportamiento análogo, con valores prácticamente idénticos entre muestras tratadas y no tratadas con quitosanas, así como entre los tipos de riego y variedades analizadas (Tabla 5).

El contenido total en azúcares fue superior en las muestras sin quitosanas (65,04 g 100 g<sup>-1</sup> vs 62,18 g 100 g<sup>-1</sup>), bajo riego finca (63,78 g 100 g<sup>-1</sup> vs 63,44 g 100 g<sup>-1</sup>) y para la variedad Duero (67,20 g 100 g<sup>-1</sup> vs 60,02 g 100 g<sup>-1</sup>). Estos resultados coinciden con lo observado por Romero et al. (2004), quienes indicaron que el riego deficitario durante el llenado de la semilla promueve la acumulación de compuestos osmoprotectores como respuesta al estrés hídrico. Además, la variedad Duero bajo riego deficitario y sin quitosanas presentó valores altos de azúcares, reforzando la hipótesis. Por otro lado, la variedad Tiétar bajo riego deficitario y sin tratamiento de quitosanas presentó una mayor acumulación de glucosa en comparación con la variedad Duero, lo que podría ser provocar una menor tasa fotosintética y un menor el crecimiento foliar en árboles sometidos a estrés hídrico (Romero et al., 2004).

#### **4.4 Actividad antioxidante y contenido en fenoles totales de las semillas**

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

En el ensayo ABTS, la muestra sin tratamiento de quitosanas (1,39 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>) presentó una mayor actividad antioxidante que el tratamiento con quitosanas (1,06 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>). De igual manera, el riego finca (1,37 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>) mostró una mayor actividad antioxidante que el riego deficitario (1,08 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>). Por otro lado, la variedad Duero mostró una mayor actividad antioxidante (1,42 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>) que la variedad Tiétar (1,02 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>).



Por el método DPPH no se observaron diferencias significativas en cuanto a tratamiento de quitosanas ni en cuanto a la variedad. Sin embargo, se observó que las muestras sometidas a riego deficitario presentaron una mayor actividad antioxidante (2,62 mmol Trolox kg<sup>-1</sup> comparado con el riego finca (2,57 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>), esto podría indicar que el riego deficitario tiene un impacto positivo en la actividad antioxidante.

Sin embargo, la actividad antioxidante medida por el método FRAP mostró que las muestras que no fueron tratadas con quitosanas presentaron una mayor actividad antioxidante (2,91 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>) en comparación con las muestras que sí recibieron aplicación de quitosanas (1,91 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>). Además, el riego de finca mostró valores superiores frente al riego deficitario (2,58 y 2,24 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Analizando por variedades, la variedad Duero presentó valores superiores de actividad antioxidante, por el método FRAP, (2,58 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>) en comparación con la variedad Tiétar (2,23 mmol Trolox kg<sup>-1</sup>).

En cuanto al **contenido en fenoles totales** (TP) las muestras sin tratamiento de quitosanas presentaron un mayor contenido en fenoles (12,14 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>) que las muestras con quitosanas (7,52 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>) en consonancia con los resultados obtenidos para la actividad antioxidante, donde la ausencia de quitosanas favoreció dicha actividad. Además, las muestras sometidas a riego deficitario presentaron un mayor contenido en fenoles totales (12,21 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>) frente a las sometidas al riego de finca (7,45 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>). En cuanto a las variedades, la variedad Tiétar mostró un mayor contenido en fenoles totales (11,98 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>) comparada con la variedad Duero (7,68 mg GAE 100 g<sup>-1</sup>).

En este estudio, las quitosanas mejoraron significativamente la actividad antioxidante bajo riego deficitario. Nowicka y Wojdyło (2019) analizaron la actividad antioxidante en huesos de melocotón y la atribuyeron a su contenido en fenoles y carotenoides. Además, señalaron que condiciones adversas, como el estrés hídrico, pueden influir en la concentración de compuestos bioactivos.

Estos hallazgos son consistentes con los resultados obtenidos en este trabajo, donde se observó una reducción de fenoles totales y actividad antioxidante en las muestras sin quitosanas bajo riego deficitario. Sin embargo, en el estudio de Nowicka y Wojdyło

(2019) no se evaluaron tratamientos agronómicos con quitosanas, por lo que los efectos beneficiosos observados en este estudio resaltan la importancia de su aplicación para mitigar el impacto del estrés hídrico.

Por otra parte, Redondo et al. (2020) evaluaron la actividad antioxidante y el contenido fenólico en diferentes partes del fruto, incluyendo semillas de melocotón. Sus resultados refuerzan la idea de que las semillas concentran una mayor cantidad de compuestos antioxidantes y fenólicos en comparación con otros tejidos, como la piel, la pulpa o el hueso del melocotón. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde las semillas presentaron una mayor concentración, lo que confirma su relevancia como fuente de antioxidantes naturales.



**TABLA 6: Actividad antioxidante (mmol Trolox kg<sup>-1</sup>) y contenido en fenoles totales (mg GAE 100 g<sup>-1</sup>) de las semillas de melocotón.**

Variedad	Riego	Tratamiento	ABTS	DPPH	FRAP	TP
Duero	Riego finca	Quitosanas	1,48 b	2,64 a	2,05 e	2,72 g
		No quitosanas	1,79 a	2,54 bc	3,21 b	4,65 f
	Riego deficitario	Quitosanas	1,17 d	2,59 abc	2,20 d	7,02 e
		No quitosanas	1,27 c	2,64 a	2,88 c	16,35 a
Tiétar	Riego finca	Quitosanas	0,71 g	2,52 c	1,76 f	8,77 d
		No quitosanas	1,48 b	2,59 abc	3,30 a	13,66 b
	Riego deficitario	Quitosanas	0,87 f	2,61 ab	1,64 g	11,58 c
		No quitosanas	1,04 e	2,62 a	2,25 d	13,90 b
Interacciones			ABTS	DPPH	FRAP	TP
Tratamiento	Quitosanas		1,06 b	2,59 a	1,91 b	7,52 b
	No quitosanas		1,39 a	2,60 a	2,91 a	12,14 a
Riego	Finca		1,37 a	2,57 b	2,58 a	7,45 b
	Deficitario		1,08 b	2,62 a	2,24 b	12,21 a
Variedad	Duero		1,42 a	2,60 a	2,58 a	7,68 b
	Tiétar		1,02 b	2,59 a	2,23 b	11,98 a
Tratamiento + Riego	Riego finca	Quitosanas	1,10c	2,58 b	1,90 c	5,75 c
		No Quitosanas	1,63 a	2,57 b	3,26 a	9,15 b
	Riego deficitario	Quitosanas	1,02 d	2,60 ab	1,92 c	9,30 b
		No Quitosanas	1,15 b	2,63 a	2,56 b	15,13 a
Variedad + tratamiento	Duero	Quitosanas	1,32 b	2,62 a	2,12 c	4,87 d
		No Quitosanas	1,53 a	2,59 ab	3,04 a	10,50 b
	Tiétar	Quitosanas	0,79 d	2,57 b	1,70 d	10,18 c
		No Quitosanas	1,26 c	2,61 ab	2,77 b	13,78 a
Variedad + riego	Duero	Riego finca	1,63 a	2,59 ab	2,63 a	3,69 d
		Riego deficitario	1,22 b	2,62 a	2,54 b	11,68 b
	Tiétar	Riego finca	1,10 c	2,56 b	2,53 b	11,21 c
		Riego deficitario	0,95 d	2,62 a	1,94 c	12,74 a

Los valores (medias) seguidos de la misma letra, dentro de la misma columna, no son significativamente diferentes (prueba de Tukey  $\alpha < 0,05$ ;  $n = 3$ ).

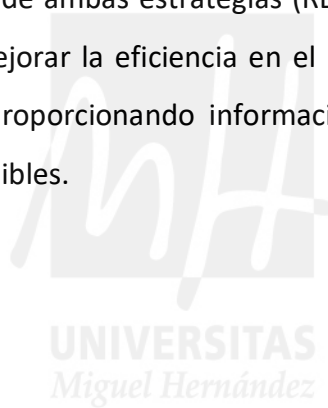
Los valores seguidos de letras diferentes (a,b,c...) dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey.

## 5 CONCLUSIONES

Tras el análisis de los resultados obtenido, se concluye que:

- 1.- El riego deficitario sostenido indujo un menor peso de las semillas de melocotón y un aumento de la actividad antioxidante.
- 2.- El uso de quitosanas combinado con la aplicación de riego deficitario sostenido tuvieron un efecto positivo tanto en la actividad antioxidante, como en el contenido de fenoles totales provocando un aumento de ambos.
- 3.- La variedad Duero fue la que mostró una mayor capacidad de adaptación a las condiciones de riego deficitario sostenido, presentando semillas de mayor peso y una mayor actividad antioxidante en comparación con la variedad Tiétar.

En conclusión, la integración de ambas estrategias (RDS y quitosanas) representa una opción prometedora para mejorar la eficiencia en el uso del agua y la calidad de las semillas de melocotonero, proporcionando información clave para el desarrollo de modelos agrícolas más sostenibles.



## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Abuzar, S., Sharif, H. R., Sharif, M. K., Arshad, R., Iahitisham-UI-Haq, Ashraf, W., & Rehman, A. (2024). A comprehensive review on exploring the nutraceutical potential and industrial applications of peach waste. *Food Reviews International*, 1(25). <https://doi.org/10.1080/87559129.2024.2366844>
- Alarcón, J. J., Torrecillas, A., Sánchez-Blanco, M. J., Abrisqueta, J. M., Vera, J., Pedrero, F., & Ruíz-Sánchez, M. (2006). Estrategias de riego deficitario en melocotonero temprano. *Vida Rural*, 225, 28-32. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf/Vrural/Vrural\\_2006\\_225\\_28\\_32.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf/Vrural/Vrural_2006_225_28_32.pdf)
- Baldicchi, A., Farinelli, D., Micheli, M., Di Vaio, C., Moscatello, S., Battistelli, A., & Famiani, F. (2015). Analysis of seed growth, fruit growth and composition and phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK) occurrence in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, 186, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.004>
- Basyony, M., Morsy, A. S., & Soltan, Y. A. (2023). Extracts of apricot (*Prunus armeniaca*) and peach (*Prunus persica*) kernels as feed additives: Nutrient digestibility, growth performance, and immunological status of growing rabbits. *Animals*, 13(5), 868. <https://doi.org/10.3390/ani13050868>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of 'antioxidant power': The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bonghi, C., Trainotti, L., Botton, A., Tadiello, A., Rasori, A., Ziliotto, F., et al. (2011). A microarray approach to identify genes involved in seed-pericarp cross-talk and development in peach. *BMC Plant Biology*, 11, 107.
- Dardick, C. D., Callahan, A. M., Chiozzotto, R., Schaffer, R. J., Piagnani, M. C., & Scorza, R. (2010). Stone formation in peach fruit exhibits spatial coordination of the lignin and flavonoid pathways and similarity to *Arabidopsis* dehiscence. *BMC Biology*, 8, 13. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-8-13>
- El-Adawy, T. A., & El-Kadousy, S. A. (1995). Changes in chemical composition, nutritional quality, physico-chemical and functional properties of peach kernel meal during detoxification. *Food Chemistry*, 52(2), 143-148. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)P4194-K](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)P4194-K)
- Faci González, J. M., Aragüés Lafarga, R., Blanco Alibés, O., & Medina Pueyo, E. T. (2010). Ensayo de riego deficitario controlado en melocotón de Calanda. CSIC, 12(4), 45-60. Digital Repository. <https://digital.csic.es/handle/10261/29936>

- Famiani, F., Bonghi, C., Chen, Z. H., Drincovich, M. F., Farinelli, D., Lara, M. V., ... & Walker, R. P. (2020). Stone fruits: Growth and nitrogen and organic acid metabolism in the fruits and seeds—A review. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 572601. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.572601/full>
- FAOSTAT. (2025). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, *58*(2), 147-159. <https://academic.oup.com/jxb/article-abstract/58/2/147/534071>
- Ferreira, E., Sellés Van, G., & Selles, M. (2001). Riego deficitario controlado en uva de mesa. Estrategias de riego para enfrentar situaciones de escasez de agua en frutales. <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-inia-cl-20.500.14001-7585/Description>
- Hayama, H., Ito, A., Shimada, T., & Kashimura, Y. (2006). Cellulose synthesis during endocarp hardening of peach fruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, *81*(6), 651-655. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.2006.11512119>
- Hu, H., Liu, Y., Shi, G.-L., Liu, Y.-P., Wu, R.-J., Yang, A.-Z., et al. (2011). Proteomic analysis of peach endocarp and mesocarp during early fruit development. *Physiologia Plantarum*, *142*(4), 390-406. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.2011.01479.x>
- Khan, M. J., Sakhi, S., Azam, N., Ahmad, Z., Hidayat, N., Ahmad, B., ... & Gaafar, A. R. Z. (2024). Effect of chitosan and gibberellic acid on fruit yield and production of peach (*Prunus persica* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*, *33*(1). <http://www.pjoes.com/pdf-171982-98909?filename=98909.pdf>
- Kumari, N., Kumar, M., Puri, S., Zhang, B., Rais, N., Pundir, A., ... & Lorenzo, J. M. (2023). Peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) seeds and kernels as potential plant-based functional food ingredients: A review of bioactive compounds and health-promoting activities. *Food Bioscience*, *54*, 102914. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102914>
- Lazos, E. S. (1991). Composition and oil characteristics of apricot, peach and cherry kernel. *Grasas y Aceites*, *42*(2), 127-131. <https://doi.org/10.3989/gya.1991.v42.i2.1260>
- Lombardo, V. A., Osorio, S., Borsani, J., Lauxmann, M. A., Bustamante, C. A., Budde, C. O., et al. (2011). Metabolic profiling during peach fruit development and ripening reveals the metabolic networks which underpin each developmental stage. *Plant Physiology*, *157*(4), 1696-1710. <https://doi.org/10.1104/pp.111.186064>

- Martín, J. J. H., & González, J. C. (Eds.). (2014). La fruticultura del siglo XXI en España. *Cajamar Caja Rural*. <https://publicacionescajamar.es/series-tematicas/agricultura/la-fruticultura-del-siglo-xxi-en-espana/>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). Previsiones de campaña de fruta de hueso 2024. [https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/boletin6\\_2024frutadehuesocampana202427deseptiembre2024\\_tcm30-697931.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/boletin6_2024frutadehuesocampana202427deseptiembre2024_tcm30-697931.pdf)
- Moscatello, S., Frioni, T., Blasi, F., Proietti, S., Pollini, L., Verducci, G., ... & Famiani, F. (2019). Changes in absolute contents of compounds affecting the taste and nutritional properties of the flesh of three plum species throughout development. *Foods*, *8*(10), 486. <https://doi.org/10.3390/foods8100486>
- Mou, L., Zhang, J., Lu, Y., Bilal, M., Li, J., & Li, G. (2023). Preservative paper containing phenolic acid grafted on chitosan for post-harvest peach preservation. *Food Bioscience*, *55*, 102925. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102925>
- Nowicka, P., & Wojdyło, A. (2019). Content of bioactive compounds in the peach kernels and their antioxidant, anti-hyperglycemic, anti-aging properties. *European Food Research and Technology*, *245*(5), 1123–1136. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3214-1>
- Pelentir, N., Block, J. M., Monteiro Fritz, A. R., Reginatto, V., & Amante, E. R. (2011). Production and chemical characterization of peach (*Prunus persica*) kernel flour. *Journal of Food Process Engineering*, *34*(4), 1253–1265. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00519.x>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, *26*(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Redondo Taberner, D., Gimeno, D., Calvo, H., Venturini, M. E., Oria, R., & Arias, E. (2020). Antioxidant activity and phenol content in different tissues of stone fruits at thinning and at commercial maturity stages. Digital. CSIC. <https://digital.csic.es/handle/10261/236074>
- Rodriguez, C. E., Bustamante, C. A., Budde, C. O., Müller, G. L., Drincovich, M. F., & Lara, M. V. (2019). Peach fruit development: A comparative proteomic study between endocarp and mesocarp at very early stages underpins the main differential biochemical processes between these tissues. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 715. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00715>
- Romero, P., Navarro, J. M., García, F., & Ordaz, P. B. (2004). Effects of regulated deficit irrigation during the pre-harvest period on gas exchange, leaf development, and

crop yield of mature almond trees. *Tree Physiology*, 24(3), 303–312. <https://doi.org/10.1093/treephys/24.3.303>

Ruiz Gómez, J. C., Temnani Rajjaf, A., Blaya Ros, P. J., Fernández Bastida, I., & Pérez-Pastor, A. (2016). Riego deficitario en melocotonero variedad Caterina. XXXIV Congreso Nacional de Riegos (pp. 20–25). Universidad Politécnica de Cartagena. <http://dx.doi.org/10.21151/CNRIegos.2016.A20>

Sajid, M., Basit, A., Ullah, Z., Shah, S. T., Ullah, I., Mohamed, H. I., & Ullah, I. (2020). Chitosan-based foliar application modulated the yield and biochemical attributes of peach (*Prunus persica* L.) cv. Early Grand. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00405-w>

Shaikhiev, I. G., Kraysman, N. V., & Svergzova, S. V. (2023). Review of peach (*Prunus persica*) shell use to remove pollutants from aquatic environments. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13, 459. <https://biointerfaceresearch.com/wp-content/uploads/2023/01/BRIAC135.459.pdf>

Viveros La Berrocosa. (2025). Melocotón Duero: Variedad de melocotonero. <https://berrocosa.es/producto/melocoton-amarillo-pavia-duero/>

Viveros La Berrocosa. (2025). Melocotón Tiétar: Variedad de melocotonero. <https://berrocosa.es/producto/melocotonero-amarillo-pavia-Tiétar/>

Walker, R. P., & Famiani, F. (2018). Organic acids in fruits: Metabolism, functions, and contents. *Horticultural Reviews*, 45, 371–430. <https://doi.org/10.1002/9781119431077.ch8>

Yang, L., Jiu, Z., Zhou, H., Zhang, H., Huang, Y., & Liao, M. A. (2020, February). Effects of chitosan on the uptake of total iron, manganese, and boron in peach seedlings. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 446(3), 032004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/446/3/032004>

Zheng, B., Zhao, L., Jiang, X., Cherono, S., Liu, J., Ogutu, C., ... & Han, Y. (2021). Assessment of organic acid accumulation and its related genes in peach. *Food Chemistry*, 334, 127567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127567>