

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



**“EFECTO DEL TRATAMIENTO PRECOSECHA CON
SORBITOL Y CALCIO SOBRE LA CALIDAD Y
COMPUESTOS BIOACTIVOS DE NECTARINA”**

TRABAJO FIN DE GRADO

OCTUBRE-2025

Autora: Cristina Gallego Peñalver

Tutor: Domingo Jesús Martínez Romero

Co-tutor: Ander Solana Guilabert

EFFECTO DEL TRATAMIENTO PRECOSECHA CON SORBITOL Y CALCIO SOBRE LA CALIDAD Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE NECTARINA

La nectarina, *Prunus persica*, es un fruto altamente consumido y apreciado por su calidad organoléptica y nutricional. La variedad ‘Garcima’ con la que se ha trabajado en este estudio es una variedad extratemprana, siendo de las primeras en ser cosechadas, pero presentando inconvenientes como la falta de calidad organoléptica debido a la falta de azúcares y aromas característicos. El objetivo de este estudio fue analizar la influencia de un tratamiento con un complejo de sorbitol y calcio sobre el rendimiento, calidad y compuestos bioactivos de nectarinas extratempranas. Para ello, se realizaron 6 aplicaciones del tratamiento desde el cuajado del fruto hasta la recolección, observándose un adelanto en la recolección y un incremento en parámetros de calidad como firmeza, sólidos solubles totales, índice de madurez y contenido en compuestos antioxidantes para los frutos tratados.

Palabras clave: Nectarina, precosecha, polioles, calcio, calidad

Effect of Preharvest Treatment with Sorbitol and Calcium on the Quality and Bioactive Compounds of Nectarine

The nectarine (*Prunus persica*) is a widely consumed fruit, valued for its organoleptic and nutritional qualities. The ‘Garcima’ variety used in this study is an extra-early cultivar, being among the first to be harvested; however, it presents drawbacks such as poor organoleptic characteristics due to its low content of characteristic sugars and aromatic compounds. The objective of this study was to analyze the influence of a preharvest treatment using a sorbitol–calcium complex on the yield, quality, and bioactive compounds of extra-early nectarines. For this purpose, six applications of the treatment were carried out from fruit set to harvest, resulting in an earlier harvesting date and an increase in quality parameters such as firmness, total soluble solids, maturity index, and antioxidant compound content in the treated fruits.

Keywords: Nectarine, preharvest, polyols, calcium, quality

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.INTRODUCCIÓN	6
1.1. NECTARINA	6
1.1.1. Características botánicas	6
1.1.2. Variedades.....	7
1.1.3. Composición nutricional	8
1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA	10
1.3. PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADURACIÓN DEL FRUTO.....	13
1.3.1. Color	14
1.3.2. Firmeza.....	14
1.3.3. Sólidos solubles y acidez.....	15
1.3.4. Compuestos bioactivos.....	15
1.3.5. Respiración y etileno	15
1.4. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA DE LAS NECTARINAS	15
1.5. PAPEL DEL CALCIO EN LA FIRMEZA Y CONSERVACIÓN DE FRUTAS.....	16
1.6. APLICACIONES DEL SORBITOL EN LA AGRICULTURA Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA NECTARINA	17
2.OBJETIVOS	17
3.MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	18
3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	19
3.2.1. Rendimiento del cultivo	19
3.2.2. Firmeza.....	19
3.2.3. Tasa de respiración y producción de etileno	20
3.2.4. Evolución del color del fruto.....	21
3.2.5. Contenido en sólidos solubles totales, acidez e índice de maduración.....	21
3.2.6. Antocianinas totales.....	22
3.2.7.Polifenoles totales	22
3.2.8 Actividad Antioxidante Total.....	23
3.2.9. Análisis estadístico	23
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. PRODUCCIÓN.....	24
4.2. PESO INDIVIDUAL Y DIÁMETRO	25
4.3. FIRMEZA	26
4.4. COLOR EXTERNO	27
4.5. TASA DE RESPIRACIÓN Y DE ETILENO	28

4.6. CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES, ACIDEZ E ÍNDICE DE MADURACIÓN	30
4.7. CONTENIDO ANTOCIANINAS	31
4.8. CONTENIDO EN POLIFENOLES TOTALES.....	32
4.9. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	33
5. CONCLUSIÓN.....	35
6. BIBLIOGRAFÍA	36



1.INTRODUCCIÓN

1.1. NECTARINA

1.1.1. Características botánicas

La nectarina, también conocida como *Prunus persica* (L.) Batsch var. *nucipersica*, constituye una mutación natural del melocotón, diferenciándose de este principalmente por su piel lisa y ciertos rasgos genéticos asociados a su pubescencia, originado en Asia, concretamente en China, hace más de 2 millones de años, trasladándose al oeste de Persia y Europa a través de la Ruta de la Seda (Blattny, 2003; Yu et al., 2018). Pertenece a la familia Rosaceae, clasificada dentro de la subfamilia Prunoideae y el género *Prunus* (Gil et al., 2002). Se trata de un fruto climatérico, caracterizado por un incremento en la emisión de etileno acompañado por un aumento en la tasa de respiración después de alcanzar la madurez fisiológica, prolongándose hasta la senescencia del fruto (Kader & Saltveit, 2002). Botánicamente, la nectarina es una drupa: una fruta carnosa compuesta con una piel exterior delgada y comestible (epicarpio) derivada del ovario, una pulpa comestible de grosor variable debajo de la piel (mesocarpio carnoso) y una pared del ovario interna dura que está altamente lignificada (endocarpio), conocida como ‘hueso de la fruta’ (Crisosto & Day, 2012).

La nectarina proviene del melocotonero (*Prunus persica*) como una mutación genética natural en la yema que provoca la ausencia de vellosidad en el fruto. Esta característica permite distinguirla del melocotón en cualquier estado de desarrollo, ya sea en el árbol o durante la floración, donde se puede observar si el ovario es vellosa o lampiño, en el caso de la nectarina, se puede diferenciar entre pulpa blanca (cáliz amarillo-verdoso) y pulpa amarilla (cáliz anaranjado) (Navarro-García, 1978).

Se caracterizan con un color atractivo presentando unas tonalidades de rojo a rojo púrpura, con una piel suave y fina debido a la ausencia de tricomas, que las hacen más susceptibles a la aparición de enfermedades, plagas o rozaduras. Además, están compuestas por unas células con espacios intercelulares más pequeños que los melocotones, siendo la carne más firme y con una textura fina o fibrosa de sabor más ácido, que puede ser amarilla o blanca (Crisosto & Day, 2012; Ravaglia et al., 2013; Stojanović et al., 2016).

Desde el punto de vista agroclimático los frutales *Prunus* se adaptan bien a regiones de climas mediterráneos. La mayoría de las variedades necesitan entre 600 y 900 horas de frío invernal, siendo temperaturas inferiores a 7 °C, aunque existen cultivares menos exigentes. En primavera, se requieren temperaturas estables, preferiblemente medias a altas, sin cambios bruscos para evitar agrietamientos y caídas prematuras (Navarro-García, 1978).

1.1.2. Variedades

La nectarina es un frutal con una gran diversidad varietal, lo que permite clasificarlas según distintos criterios agronómicos y comerciales. Atendiendo a su época de recolección se distinguen en variedades extratempranas (durante los meses de abril y mayo), tempranas (mayo y junio), medias (julio y mediados de agosto) y tardías (finales de agosto y septiembre) (**Tabla 1**), influyendo directamente en su disponibilidad en el mercado. Otro criterio a destacar es el color de la pulpa, diferenciándose entre frutos de pulpa amarilla (sabor agridulce) y de pulpa blanca (sabor más dulce, debido a una acidez más baja) (**Tabla 2**). Asimismo, en función de la adherencia del hueso al mesocarpio, se dividen en freestone (hueso libre) y clingstone (hueso adherente) (Badenes et al., 1999).

Acerca del color de la pulpa, las variedades de pulpa amarilla presentan niveles más altos de carotenoides totales y compuestos fenólicos, además de una textura firme y jugosa, un sabor pronunciado y un calibre mayor, favoreciendo su valor comercial. Por otro lado, las de pulpa blanca se distinguen por un mayor contenido de azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa, así como de ácidos totales, sólidos solubles y compuestos volátiles. No obstante, su calibre suele ser menor y a nivel comercial se consideran de calidad inferior, aunque presentan un perfil más dulce y aromático (Petruccelli et al., 2023).

También se ha demostrado que los cultivares de maduración temprana son una opción más rentable a las variedades tardías, ya que se optimiza el uso de recursos y maximizan las ganancias económicas al ser las primeras en llegar al mercado, recibiendo mejores precios (Conesa et al., 2021), incrementándose en los últimos años, debido al uso minoritario del consumo de agua, favoreciendo el riego (Ruiz-Sánchez et al., 2018).

Tabla 1. Época de recolección de los diferentes tipos de variedades de nectarina.

ÉPOCA	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
EXTRATEMPRANA	X	X				
TEMPRANA		X	X			
MEDIA				X	X	
TARDÍAS					X	X

Fuente: Elaboración propia a partir de Badenes et al., (1999); MAPA (2010) (s.f).

Tabla 2. Clasificación de algunas variedades de nectarina según su época de recolección, tipo de pulpa y hueso.

VARIEDADES DE NECTARINA			
ÉPOCA	VARIEDAD	PULPA	HUESO
EXTRATEMPRANA (Abril-Mayo)	VIOWHITE 5	BLANCA	LIBRE (FREESTONE)
	GARCIMA	AMARILLA	ADHERENTE (CLINGSTONE)
TEMPRANA (Mayo-Junio)	ARTIC ROSE	BLANCA	LIBRE (FREESTONE)
	MAYFAIR	AMARILLA	ADHERENTE (CLINGSTONE)
MEDIA (Julio-mediado de Agosto)	PACIFIC PRIDE	BLANCA	ADHERENTE (CLINGSTONE)
	INDEPENDENCE	AMARILLA	LIBRE (FREESTONE)
TARDÍAS (Finales Agosto-Septiembre)	SILVER WHITE	BLANCA	LIBRE (FREESTONE)
	GOLDEN GRAND	AMARILLA	LIBRE (FREESTONE)

Fuente: Elaboración propia a partir de Badenes et al., (1999); Iglesias & Echeverría (2009).

1.1.3. Composición nutricional

La nectarina (*Prunus persica* L.Batsch) es una fruta de hueso que combina el valor sensorial con una composición nutricional rica en compuestos bioactivos. El aroma característico se ve afectado principalmente por compuestos orgánicos volátiles (COV), habiéndose identificado más de un centenar entre ellos incluidos alquenos, alcoholes,

aldehídos, cetonas, ácidos, terpenoides, ésteres, lactonas y algunos otros compuestos aromáticos (Ceccarelli et al., 2020).

Desde el punto de vista fitoquímico, destaca por su elevado contenido en polifenoles (ácidos hidroxicinámicos, flavonoles, proantocianidinas y antocianinas), con una concentración mayor en los tejidos de la piel que en pulpa (Stojanović et al., 2016). Las antocianinas junto con los flavonoles y los flavan-3-oles influyen en los atributos saludables de la fruta gracias a su capacidad antioxidante natural, además son los responsables de la coloración roja en la piel (Boyer & Liu, 2004). Estos compuestos ayudan a mitigar el estrés oxidativo al reducir las especies reactivas de oxígeno, posicionando así a las nectarinas como alimentos funcionales que pueden ofrecer protección contra enfermedades crónicas (Abidi et al., 2011; Dantas et al., 2023). Varios estudios correlacionaron la ingesta de estos compuestos con la menor incidencia de ciertas enfermedades crónicas como cánceres, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Singh et al., 2008).

En su estado de madurez, las nectarinas son valoradas nutricionalmente (**Tabla 3**) por una proporción equilibrada de ácidos y azúcares, un contenido significativo de fibra dietética y minerales, principalmente potasio, así como un perfil vitamínico influenciado por la variedad, método de cultivo, entorno y grado de maduración (Legua et al., 2011; Falagán et al., 2015; Dantas et al., 2023). También aporta cantidades significativas de carotenoides, variando el contenido de betacaroteno (provitamina A) desde niveles bajos en variedades de pulpa blanca hasta concentraciones más altas en frutos de pulpa amarilla, amarilla anaranjada o roja. Esta combinación de propiedades organolépticas y nutricionales contribuye a la amplia aceptación y popularidad de la nectarina entre los consumidores (Blattny, 2003).

Tabla 3. Composición nutricional de la nectarina

Componente	Valor	Unidad	Fuente
Proximales			
alcohol (etanol)	0	g	310
energía, total	181 (43)	kJ (kcal)	236
grasa, total (lipidos totales)	0.1	g	258
proteína, total	1.4	g	258
agua (humedad)	87.3	g	258
Hidratos de Carbono			
fibra, dietetica total	2.2	g	258
carbohidratos	9	g	258

Grasas			
ácido graso 22:6 n-3 (ácido docosahexaenóico)	-	-	-
ácidos grasos, monoinsaturados totales	traza	ng	258
ácidos grasos, poliinsaturados totales	traza	ng	258
ácidos grasos saturados totales	traza	ng	258
ácido graso 12:0 (láurico)	-	-	-
ácido graso 14:0 (ácido mirístico)	-	-	-
ácido graso 16:0 (ácido palmítico)	-	-	-
ácido graso 18:0 (ácido esteárico)	-	-	-
ácido graso 18:1 n-9 cis (ácido oléico)	-	-	-
colesterol	0	mg	258
ácido graso 18:2	-	-	-
ácido graso 18:3	-	-	-
ácido graso 20:4 n-6 (ácido araquidónico)	-	-	-
ácido graso 20:5 (ácido eicosapentaenóico)	-	-	-
Vitaminas			
Vitamina A equivalentes de retinol de actividades de retinos y carotenoides	11	ug	310
Vitamina D	0	ug	258
Vitamina E equivalentes de alfa tocoferol de actividades de vitámeros E	0.9	mg	7
folato, total	traza	ug	32
equivalentes de niacina, totales	0.9	mg	258
riboflavina	0.04	mg	258
tiamina	0.02	mg	258
Vitamina B-12	0	ug	258
Vitamina B-6, Total	0.03	mg	258
Vitamina C (ácido ascórbico)	37	mg	258
Minerales			
calcio	7	mg	258
hierro, total	0.4	mg	258
potasio	170	mg	258
magnesio	10	mg	258
sodio	1	mg	258
fósforo	22	mg	258
ioduro	3	ug	258
selenio, total	1	ug	258
zinc (cinc)	0.1	mg	258

Fuente: AESAN/BEDCA Base de Datos Española de Composición de Alimentos (2007)

Tr: trazas, 0: ausencia en el alimento

1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA

Los datos obtenidos en la FAOSTAT (**Figura 1**) indican que la producción mundial y las superficies cultivadas de melocotón y nectarina han aumentado progresivamente con el tiempo. En 1980 están registradas 7,5 Mt de superficies cultivadas alrededor de 754.000 ha, hasta los últimos datos obtenidos en 2023 que la producción mundial ha alcanzado 27 Mt con áreas cosechadas alrededor de 1,5 Mha. Según la productividad/rendimiento de melocotones y nectarinas, el rendimiento también aumentó de 9,9 t/ha en 1980 a 17,08 t/ha en 2022 (Science Agriculture, 2024).

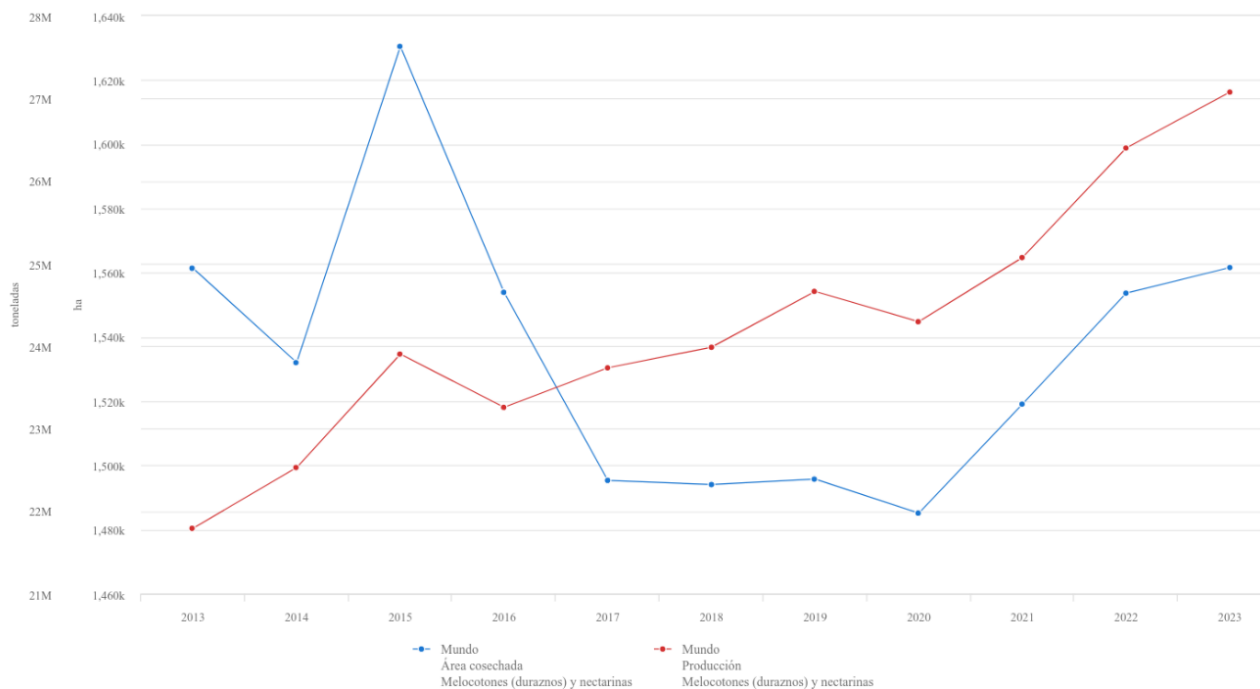


Figura 1. Producción y Área cosechada de Melocotones y nectarinas en el mundo. Fuente: FAOSTAT, 2023.

Asia es el continente con mayor producción de melocotón y nectarina (**Figura 2**), siendo directamente China el país con mayor producción, registrando en 2023 una producción con más de 17 mil t/ha, seguido de España y Turquía (FAOSTAT, 2023).

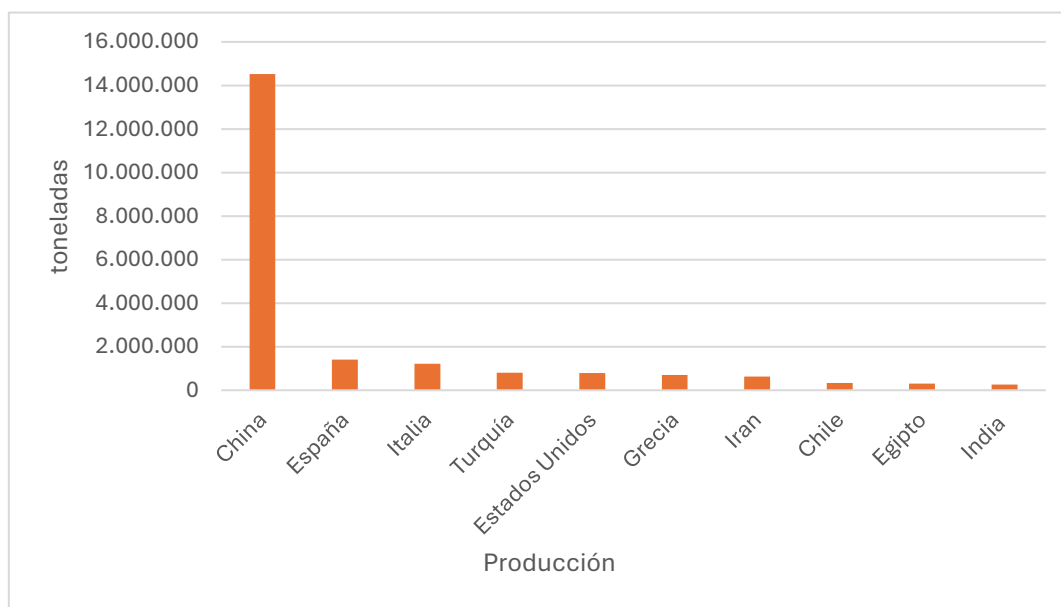


Figura 2. Principales países productores de melocotón y nectarina en el periodo 2013-2023. Fuente: (FAOSTAT, 2023)

España lidera la producción comercial de nectarinas y melocotoneros en la cuenca mediterránea, seguida de Italia, Grecia y Francia (**Figura 3**), la producción ha ido decreciendo sobre la década del 2010, debido a la disminución de superficie y condiciones climatológicas, entre otras razones, y donde se estima una disminución en 2025 (MAPA, 2025).

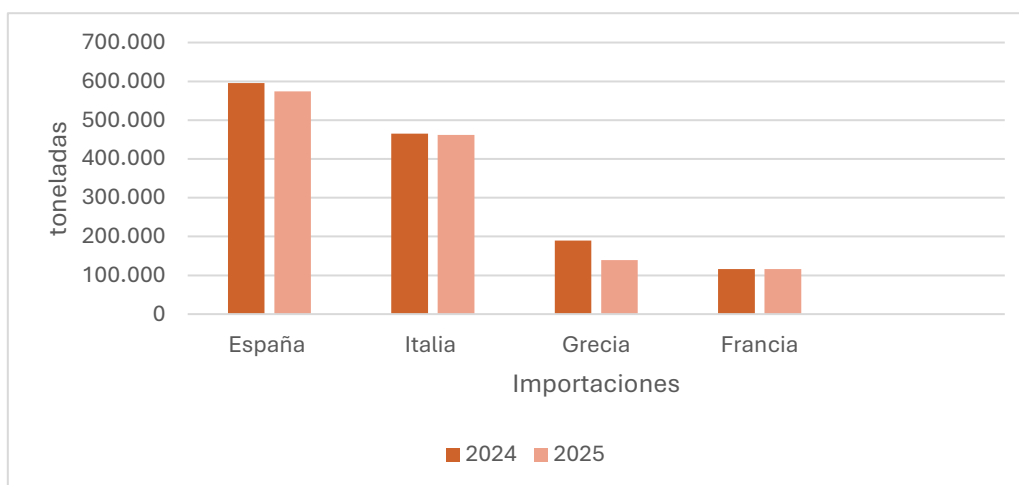


Figura 3. Predicción de producción de nectarina en Europa. Fuente: *Europêch* (2025).

Después de la manzana y la pera, el melocotón y la nectarina son los terceros frutales con mayor producción en España, siendo las frutas de hueso con mayor superficie de cultivo del país (Eurostat, 2023; MAPA, 2025).

En 2024 se sitúa la producción de nectarina en más de 514.181 t/ha aproximadamente, suponiendo una bajada del 5 % respecto a 2023, pero un volumen un 7 % superior a la media de las últimas cinco temporadas del fruto, siendo Cataluña, Aragón y Murcia las Comunidades Autónomas con mayor superficie que concentran más del 80 % del volumen nacional. Respecto a las previsiones de 2025, se espera una bajada de la producción, excepto en la Comunidad Valenciana que en 2024 experimentó por factores climatológicos una producción muy reducida (MAPA, 2025).

España se coloca como el primer país exportador de nectarina con 628.152 t/ha aproximadamente, siendo la nectarina el fruto de hueso con mayor exportación. En el año 2020 se alcanzó su máximo con 13.035 t/ha, mientras que el mínimo se registró en 2023

con 1.845 t/ha (**Figura 4**). Siendo Alemania, Francia e Italia los destinos principales de exportación (Mapa, 2025).

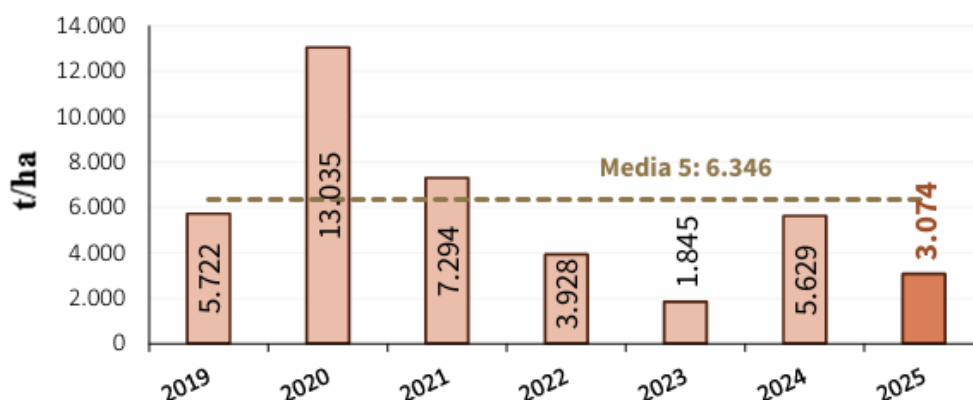


Figura 4. Evolución de exportación de nectarina de 2019-2025 en España. Fuente: MAPA (2025).

Se aprecia una tendencia creciente en 2019 de 1,92 (€/Kg) a 2,93 (€/Kg) en 2025, registrándose el máximo en 2023 (2,96 €/Kg) y el mínimo en 2020 (1,64 €/Kg) (**Figura 5**). Produciéndose el aumento del valor unitario al tener menos oferta que demanda (Mapa, 2025).



Figura 5. Evolución del valor unitario de exportación (€/Kg) de nectarina en España. Fuente: MAPA (2025).

1.3. PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADURACIÓN DEL FRUTO

Para garantizar la calidad del fruto es necesario considerar su estructura, fisiología y las transformaciones metabólicas que se desarrollan durante su vida poscosecha, las cuales se manifiestan en modificaciones de parámetros como el color, los compuestos volátiles

responsables del aroma, el peso, la textura, el pH y la producción de etileno entre otros (Martínez-González et al., 2017).

Dado que la mayoría de los atributos de calidad derivan directamente del proceso de maduración, resulta fundamental comprender los mecanismos regulatorios implicados. La maduración constituye un proceso complejo, caracterizado por múltiples alteraciones en la pared celular del fruto, promovidas por la acción de enzimas modificadoras. Aunque estas frutas presentan efectos beneficiosos para la salud, su aceptación por parte de los consumidores se debe principalmente a su dulzura, jugosidad y sabor característico. (Aubert et al., 2014).

Las nectarinas se tratan de una fruta climatérica, las cuales continúan su maduración una vez recolectadas, y son más susceptibles de sufrir una rápida senescencia y pérdida de calidad en poscosecha. Sus normas de comercialización están reguladas por el Reglamento (UE) n.º 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, refiriéndose a las normas de comercialización para el sector de frutas y hortalizas, donde incluye las normas de comercialización para melocotones y nectarinas (European Commission, 2023).

1.3.1. Color

El color es un parámetro determinante en la calidad de los frutos de cara a la aceptación y decisión de compra por parte del consumidor. Durante la maduración se produce el cambio de color, el cual se debe principalmente a la degradación de la clorofila y la acumulación de pigmentos como los carotenoides (responsables de tonos amarillos y anaranjados) y las antocianinas (responsables de tonos rojos y morados) (Guirao et al., 2025a).

1.3.2. Firmeza

La maduración conlleva la degradación de la pared celular y, con ello, la pérdida de firmeza de los frutos. Estos procesos están regulados principalmente por el etileno y por la actividad de enzimas hidrolíticas como la celulasa y la poligalacturonasa. Tiene lugar en tres etapas: primero la relajación de la pared mediada por expansinas, seguida de despolimerización de hemicelulosas y finalmente por la degradación de poliuronidos mediante poligalacturonasa u otras enzimas hidrolíticas. Estas transformaciones conllevan la pérdida de firmeza, derivando a una menor vida útil (Iqbal et al., 2017). El ablandamiento es uno de los principales problemas poscosecha que sufren las nectarinas y demás frutas de hueso, lo cual da lugar a una rápida pérdida de calidad.

1.3.3. Sólidos solubles y acidez

La relación azúcar-ácido es usada como índice de calidad. En el proceso de madurez, se producen transformaciones donde aumentan los azúcares, disminuyen los ácidos orgánicos y se presencian cambios en los compuestos volátiles, influyendo de una forma determinada en la calidad nutricional del fruto, así como en sus características de sabor y aroma (Martínez-González et al., 2017; Faruh & Hopfer, 2023). Respecto a la acidez, en los frutos del género *Prunus* disminuye mediante la maduración, siendo el ácido málico el más abundante (50-60 %) y en menor medida el ácido cítrico (20-25 %) y quínico (20-25 %) (Dirlewanger et al., 1999).

1.3.4. Compuestos bioactivos

Las nectarinas presentan varios compuestos bioactivos como carotenoides, polifenoles y vitamina C, responsables de sus propiedades antioxidantes al neutralizar y evitar la formación excesiva de los radicales libres. Durante la maduración estos compuestos tienden a aumentar, considerando así el contenido de estos compuestos un parámetro en su calidad y maduración (Aubert et al., 2014).

1.3.5. Respiración y etileno

La respiración va acompañada de un incremento en la producción de etileno, hormona considerada la reguladora de la maduración en frutos climatéricos, siendo la responsable de eventos clave como la pérdida de firmeza, cambios de color (por degradación de clorofila y acumulación de pigmentos) y la síntesis de compuestos volátiles. Sin embargo, recientes estudios se centran en un preciso equilibrio hormonal como regulador de la maduración, en lugar de una única fitohormona (Pérez-Llorca et al., 2019).

1.4. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA DE LAS NECTARINAS

Los principales problemas que pueden derivar en un descenso de la vida poscosecha de las nectarinas son los siguientes:

- Aparición de enfermedades fúngicas originadas en campo por factores climatológicos y desarrolladas en poscosecha, siendo la que más afecta a nivel mundial la podredumbre parda, causada mayoritariamente por la infección por *Monilinia*: *M. fructicola*, *M. fructigena* y *M. laxa*, provocando manchas marrones o la podredumbre gris causada por el patógeno *Botrytis cinerea*. También es importante destacar a la

podredumbre blanca causada por *Rhizopus stolonifer* y la podredumbre azul causada por *Penicillium expansum* (Palou, 2024).

- Rápido deterioro a temperatura ambiente, debido al aumento de la frecuencia respiratoria y producción de etileno, por lo que para alargar su vida útil es fundamental su almacenamiento en frío. Sin embargo, un almacenamiento a temperaturas bajas (5-7 °C) puede conllevar trastornos fisiológicos llamados daño por frío (chilling injury) o colapso interno, mostrando síntomas tales como: pardeamiento interno, harinosidad en la pulpa, incapacidad para madurar, pérdida de sabor y enrojecimiento o sangrado entre otros (Lurie & Crisosto, 2005; Thor, 2019).

1.5. PAPEL DEL CALCIO EN LA FIRMEZA Y CONSERVACIÓN DE FRUTAS

El calcio es un mineral esencial y principal para las plantas, requerido como catión divalente (Ca^{+2}). La mayor parte de este mineral se acumula en la lámina media de la pared celular, formando parte de una amplia variedad de funciones, tanto en la estructura como en la estabilidad de las paredes y membranas celulares. Además, desempeña un papel como segundo mensajero, interviniendo en procesos celulares y en la fotosíntesis, repercutiendo en el rendimiento y la calidad de los cultivos (White et al., 2003; Thor, 2019). A lo largo del proceso de maduración, las enzimas hidrolíticas modifican la estructura de las pectinas, aumentando la vulnerabilidad del fruto al ablandamiento, aparición de trastornos fisiológicos y ataques de patógenos. El efecto del Ca en poscosecha se encuentra estrechamente relacionado con una mayor firmeza, una reducción de las magulladuras durante la recolección, la clasificación y el transporte, así como una mejor vida útil (Serrano et al., 2004; Hocking et al., 2016; Liu et al., 2021; Carrasco-cuello et al., 2024).

El Ca se absorbe del suelo y se distribuye a través del xilema a las diferentes partes de la planta. Sin embargo, presenta una muy baja movilidad por el floema, por lo que durante los primeros estados de maduración la acumulación de Ca es un momento crítico para frutos carnosos (Carrasco-Cuello et al., 2024). Existen estrategias precosecha basadas en la aplicación de diferentes formas de Ca mediante pulverización foliar, habitualmente basadas en la aplicación de complejos con polioles (Guirao et al., 2025c).

1.6. APLICACIONES DEL SORBITOL EN LA AGRICULTURA Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA NECTARINA

El sorbitol es un polialcohol de cadena lineal, cuya fórmula empírica es $C_6H_{14}O_6$ y peso molecular: 182,17 g/mol. Es un azúcar natural producido simultáneamente por los carbohidratos a base de sacarosa y se puede encontrar en una amplia variedad de frutas (Newman et al., 1999).

Para algunas especies de las familias Rosaceae y Plantaginaceae, el sorbitol es el principal fotoasimilado. Se trata de una forma reducida de la glucosa que puede ser metabolizada a esta misma o a fructosa por acción de enzimas oxidativas. Debido a su alta capacidad osmótica se transporta de manera eficaz por el floema, pudiendo acumularse para su posterior uso. Se ha comprobado su papel en defensa contra el estrés abiótico (tolerancia a bajas temperaturas, sequía y estrés salino) y biótico, además de su capacidad como transportador de metabolitos de baja movilidad por el floema (Pleyerová et al., 2022).

El estado de nutrición mineral en la planta está estrechamente vinculado con la presencia y distribución de sorbitol, ya que los polioles, como el sorbitol, gracias a sus grupos cis-diol, pueden generar compuestos estables con otros metabolitos, favoreciendo su transporte a través del floema. Este mecanismo se ha informado para minerales como Zn, Ca, o B, y ácido salicílico, los cuales presentan baja movilidad en el floema. Cuando los polioles se combinan con dichos metabolitos, pueden ser absorbidos por vía foliar y desplazarse siguiendo un gradiente de concentración, llevando a un incremento en su translocación y acumulación en diferentes órganos diana (Guirao et al., 2025c). Además, la forma más simple de influir en el nivel de sorbitol en la planta es mediante su aplicación exógena, ya sea a través del riego o la pulverización foliar sobre las hojas (Hamet et al., 2022).

2.OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de tratamientos precosecha con un complejo Sorbitol (2 %) y nitrato cálcico $[Ca(NO_3)_2]$ (0,7 %) en frutos de nectarina (*Prunus persica* (L.) Batsch) de la variedad 'Garcima'.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos con finalidad complementaria:

- Evaluar la influencia del tratamiento precosecha con Sorbitol y Calcio en el rendimiento y la calidad de los frutos tras la recolección.
- Analizar su efecto sobre parámetros de calidad poscosecha, como el peso, la firmeza, el color, la tasa de respiración, la producción de etileno, el contenido de sólidos solubles totales, la acidez titulable y el índice de madurez.
- Determinar el contenido de antocianinas y polifenoles tras la recolección, así como la actividad antioxidante total.

3.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el estudio llevado a cabo en este Trabajo Final de Grado, el material vegetal empleado fue nectarinas (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. ‘Garcima’), una variedad extratemprana debido a sus requerimientos climáticos

La variedad seleccionada se cultiva en una finca comercial ubicada en Molina de Segura, Murcia (España) (Campotéjar, Lat: 38° 7’39.04” Long: 1° 13’14.36”, elevación 146 m). Las condiciones climáticas fueron registradas en la estación meteorológica de Campotéjar, Molina de Segura (IMIDA, 2025), con una temperatura media estimada de 15,24 °C, desde el primer día de tratamiento hasta la recolección, y una precipitación de 156,10 mm. Los frutos fueron seleccionados en el estado de madurez comercial y transportados al laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO) en menos de una hora, en condiciones óptimas, para evitar el deterioro. Posteriormente se realizaron los pertinentes análisis.

Se seleccionaron dos filas de nectarinas con 8 árboles, una para el control y otra para el complejo Sorbitol-Calcio, formado por sorbitol (2 %) y nitrato cálcico $[Ca(NO_3)_2]$ (0,7 %), aplicando 2 litros en cada árbol, en condiciones meteorológicas óptimas y haciendo uso de un rociador mecánico por pulverización foliar, se realizaron 6 tratamientos desde el cuajado del fruto (17 de febrero) hasta la madurez comercial (30 de abril) siguiendo

una frecuencia de un tratamiento cada 15 días. La recolección se realizó en 6 pases siguiendo los criterios de madurez comercial establecidos por los recolectores, comenzando el 2 de mayo y finalizando el 22 de mayo.

Los frutos cosechados, los cuales presentaban un peso promedio de 150 g, fueron seleccionados en el laboratorio, descartando aquellos que presentaban podredumbres y desórdenes fisiológicos, basándose en la uniformidad del color y tamaño.

3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

3.2.1. Rendimiento del cultivo

La recolección constó de 6 pases en los que se fueron recogiendo los frutos según si estaban en estado de madurez comercial. Durante estos 6 pases, se llevó a cabo un recuento del número de frutos recolectados en cada pase con el objetivo de comprobar si el tratamiento influía en el porcentaje de frutos recolectados por pase.

3.2.2. Firmeza

La firmeza de la nectarina se midió individualmente (**Figura 6**) utilizando un analizador de textura TX-XT2i (Stable mycosystems, Godalming, Reino Unido), equipado por una sonda de disco plano de acero con un diámetro de 100 mm y una fuerza máxima de 25 N. La medición se realizó aplicando una fuerza sobre el fruto hasta alcanzar un 5 % de deformación respecto a su diámetro inicial. La firmeza se expresó como la relación entre la fuerza aplicada y la distancia recorrida durante la compresión (N mm^{-1}). Los resultados se presentan como la media de 3 repeticiones \pm ES.

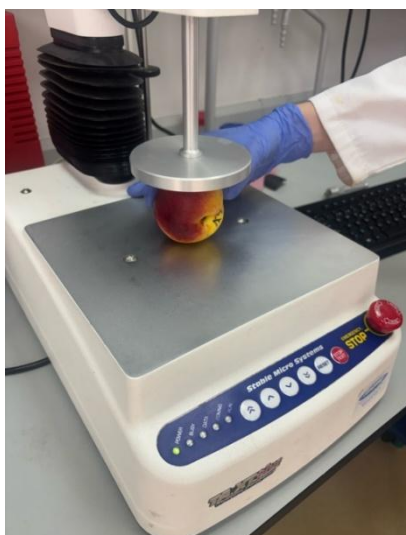


Figura 6. Evaluación de la firmeza utilizando el texturómetro TX-XT2i

3.2.3. Tasa de respiración y producción de etileno

Para la determinación de la respiración y producción de etileno de los frutos (**Figura 7**), se introdujeron 5 nectarinas por repetición en un recipiente herméticamente cerrado con un volumen de capacidad de 3,7 L durante un periodo de 1 hora. El recipiente estaba compuesto por un material polimérico totalmente hermético con barreras de alta resistencia a la permeabilidad gaseosa y dicha tapadera se encontraba acondicionada con un septum de bromobutilo permitiendo la perforación de una jeringa de 1ml para obtener el gas contenido en el espacio interno del recipiente, que posteriormente será inyectado por duplicado. Para la tasa de respiración, se midió en un cromatógrafo de gases Shimadzu CG-14B, compuesto por un detector de conductividad térmica y una columna Chromosorb 102 80/100 de 2 m por 1/8 de pulgada, registrando una temperatura de 120 °C en el detector e inyector y de 35 °C en la columna. Los resultados fueron la media de tres repeticiones \pm error estándar (ES), expresándose en $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

En el caso de la producción de etileno, se midió con un cromatógrafo de gases Hewlett-Packard™ modelo 5890^a (Wilmington, DE), el cual estaba equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna de acero inoxidable de 3 metros con un diámetro interior de 3.5 mm. La temperatura de la columna fue de 90 °C y la temperatura del inyector y del detector de 150 °C. Los resultados fueron la media de tres repeticiones \pm ES, expresándose como $\text{nL g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.



Figura 7. Nectarinas en recipiente hermético para determinación de tasa de respiración

3.2.4. Evolución del color del fruto

El color de las nectarinas se determinó externamente de forma individual a cada una de ellas, conduciendo a una medición más representativa del color integral del fruto. De este modo se llevaron a cabo tres medidas de color en áreas superpuestas de la delimitación del fruto, realizando este proceso por duplicado.

Para la determinación del color se hizo uso de un colorímetro Minolta (CRC200, Minolta Camera Co., Kanto, Tokio, Japón), registrando los resultados el ratio a^*/b^* basado en las coordenadas de color CIELab (L^* , a^* , b^*), donde las coordenadas L^* determinan la claridad de la muestra, a^* (eje rojo-verde) y b^* (eje amarillo-azul).

3.2.5. Contenido en sólidos solubles totales, acidez e índice de maduración

Tras finalizar las mediciones mencionadas anteriormente, donde la estructura del fruto no ha pasado por ningún procesado, se extrajo manualmente el zumo de una muestra homogénea utilizando un paño de algodón. Para obtener los sólidos solubles totales (SST) (**Figura 8**), se hizo uso por duplicado de un refractómetro digital (Atago PR-101, Atago Co.Ltd., Tokio, Japón), realizándose las lecturas a una temperatura de 20 °C e indicando los resultados como °Brix ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de SST en peso fresco).



Figura 8. Medición de SST en zumo de nectarina con refractómetro digital.

La acidez titulable (AT) se determinó por duplicado (**Figura 9**), diluyendo 1 ml del zumo obtenido de cada muestra a 25 ml de agua destilada, mediante un titulador automático (785 DMP Titrino, Metrohm) con NaOH 0,1 N hasta conseguir una valoración de pH 8,1. Los resultados se expresaron como gramos de ácido málico equivalentes por cada 100 g⁻¹ en peso fresco, indicándose como la media ± ES. El índice de maduración se obtuvo mediante la relación entre los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT).



Figura 9. Titulador automático 785 DMP Titrino.

3.2.6. Antocianinas totales

Las antocianinas totales se analizaron tomando 2 g de muestra de la parte del epicarpio e introduciéndola en un tubo de centrífuga con 10 ml de un agente extractante compuesto de metanol: ácido clorhídrico: agua en proporción de 80:1:19 v/v/v. Dicha muestra se homogeneizó durante 1 minuto en un Polytron (IKA T18 basic, Ultraturrax), donde posteriormente se centrifugó a 10000 rpm durante 15 minutos a 4 °C y se determinó por duplicado la absorbancia de la solución a 520 nm contra un blanco en el espectrofotómetro T70 UV/VIS, expresando el contenido como mg equivalentes de cianidina-3-O-glucósido kg⁻¹ de peso fresco, indicando los resultados como la media ± ES de las tres repeticiones.

3.2.7. Polifenoles totales

Para la determinación de los polifenoles totales se tuvo en cuenta el epicarpio y mesocarpio de la nectarina tomándose en un tubo 2 g de cada muestra y aplicando un agente extractante como bien indican Tomás-Barberán et al., (2001), se homogeneizó con un Polytron (IKA T18 basic, Ultraturrax) durante 60 segundos, para posteriormente equilibrarlos e introducirlos en la centrífuga C30P (B.Braun Biotech international) a 10000 rpm, durante 15 minutos a 4 °C. A continuación, se llevó a cabo la reacción con el reactivo de Folin-Ciocalteu como se describe en el estudio de González et al., (2019). Posteriormente se llevó a un baño durante 5 minutos a 50 °C. Finalmente, se dejaron atemperar, para realizar la lectura mediante un espectrofotómetro (T70 UV/VIS) a 760 nm.

Los análisis se realizaron por duplicado, expresándose los resultados como mg equivalentes de ácido gálico (GAE) 100 g⁻¹ de peso fresco y se muestran como la media ± el error estándar (ES).

3.2.8 Actividad Antioxidante Total

Para la determinación de la actividad antioxidante hidrosoluble y liposoluble se llevó a cabo una extracción en 2 g de epicarpio y mesocarpio de la nectarina mediante 10 ml de tampón fosfato y 5 ml de etil acetato. Posteriormente, se homogeneizó y se centrifugó durante 15 minutos a 4 °C a 10000 rpm. Finalmente, se separaron la fase hidrosoluble (tampón fosfato) de la liposoluble (etil acetato). Para la determinación de la actividad antioxidante, se llevó a cabo un sistema de reacciones compuesto por ABTS (ácido 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico), peroxidasa de rábano picante y peróxido de hidrógeno, que generó radicales ABTS^{•+}. Se registró la absorbancia a 730 nm y posteriormente se añadió la muestra y se midió el descenso en la absorbancia mediante un espectrofotómetro UV-1900, siendo este descenso en la absorbancia indicativo de la actividad antioxidante total.

Los resultados se expresaron como mg equivalentes de Trolox (TE) por 100 g⁻¹ de peso fresco y se muestran como la media ± el error estándar (ES).

3.2.9. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianzas cuyas variables fueron los tratamientos estudiados (Control y Sor-Ca). Los valores promedio se separaron mediante la prueba de t-test. Para ello, se utilizó el software SigmaPlot 11.0.

4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRODUCCIÓN

La producción de nectarinas en los árboles tratados con el complejo Sorbitol-Ca y Control se evaluó mediante el porcentaje de fruta recolectada en cada uno de los seis pases de cosecha respecto al total acumulado (**Figura 10**). Los datos obtenidos muestran que, aunque el número total de frutos recolectados fue similar entre ambos, se observaron diferencias notables en la distribución de la cosecha a lo largo del tiempo.

En los primeros tres pases de recolección, los arboles tratados presentaron un mayor porcentaje de fruta recolectada en comparación con el control, lo que evidencia un adelanto de la maduración en las nectarinas tratadas. Concretamente, el tratamiento Sorbitol-Ca mostró valores del 0,79 %, 6,75 % y 17,31 %, frente a los 0,42 %, 4,59 % y 17,87 % del control en el primer, segundo y tercer pase, respectivamente. Esta tendencia se mantuvo durante el cuarto pase, donde el tratamiento alcanzó un 39,01 % frente al 43,65 % del control, mostrando una ligera concentración de la recolección en las primeras etapas. En los últimos dos pases, los porcentajes se mantuvieron equilibrados entre ambos tratamientos (31,97 % vs. 30,97 % en el quinto pase y 4,17 % vs. 2,52 % en el sexto pase, respectivamente).

Estos resultados indican que el tratamiento con Sorbitol-Ca adelantó la producción, aumentando el porcentaje de fruta recolectada en las primeras fases de la cosecha. Dado que la recolección se realizó siguiendo los criterios establecidos de madurez comercial establecidos por los recolectores (color y firmeza), un mayor porcentaje de frutos tratados fue considerado apto para la cosecha en etapas tempranas. Este adelanto supone una importante repercusión económica para el productor, especialmente en variedades extratempranas, las cuales alcanzan mayores precios en el mercado y permiten reducir el número total de pases de recolección, disminuyendo así los costes de mano de obra.

El adelanto en la maduración podría atribuirse a la acción del sorbitol como transportador de nutrientes desde los tejidos productores hasta los receptores, como ha sido descrito en mango (Talang et al., 2016), así como a la capacidad de los polioles de influir en las enzimas relacionadas con la maduración (Ma et al., 2022).

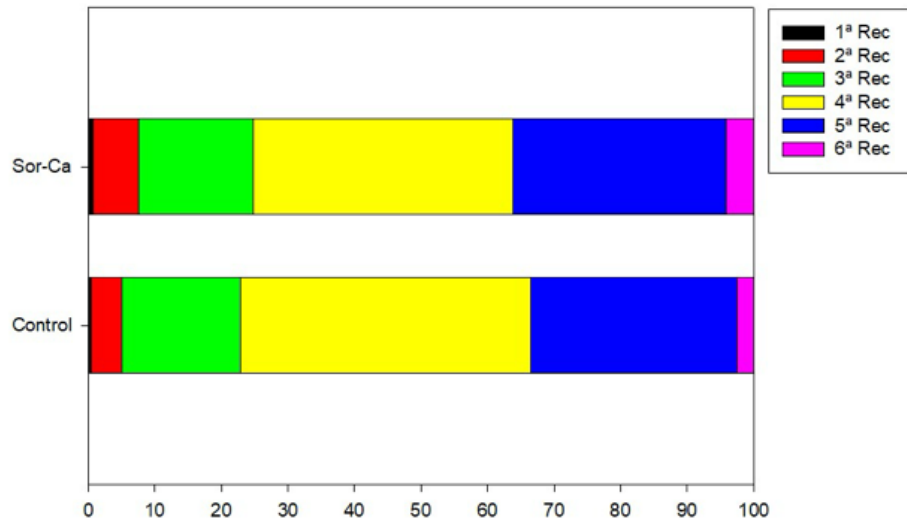


Figura 10. Porcentaje de nectarinas (*Prunus persica* (L.) Batsch cv ‘Garcima’ controles y tratadas con el complejo sorbitol-Ca recolectadas durante cada uno de los 6 pases realizados para su completa recolección.

4.2. PESO INDIVIDUAL Y DIÁMETRO

El peso individual (**Figura 11A**) y diámetro de los frutos (**Figura 11B**) registrados en cada uno de los frutos el día de la recolección mostraron valores similares entre los dos tratamientos. Los frutos de la muestra Control presentaron un peso promedio de $148,4 \pm 1,87$ g, mientras que los del tratamiento Sorbitol-Ca alcanzaron un promedio ligeramente superior de $151,3 \pm 2,32$ g. De manera similar, el diámetro promedio fue de $67,45 \pm 0,91$ mm en el Control y $68,58 \pm 0,94$ mm en los frutos tratados. Estadísticamente no hay diferencias significativas; sin embargo, se observan ligeras tendencias superiores en el tratamiento con Sorbitol-Ca respecto al control, lo cual podría estar relacionado al incremento en la acumulación de fotosintatos asociado al efecto transportador del sorbitol.

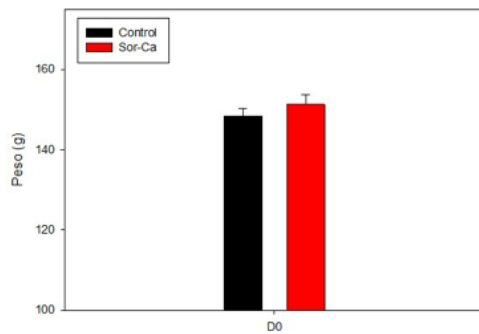
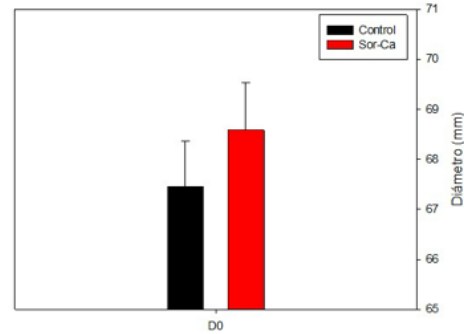
A**B**

Figura 11. Peso individual (A) y diámetro (B) de las nectarinas tratadas con complejo sorbitol-Ca y los frutos control en el día 0 de la recolección. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

4.3. FIRMEZA

La firmeza es un parámetro fundamental en la evaluación de la calidad de los frutos. En este estudio (**Figura 12**), las muestras tratadas con Sorbitol-Ca presentaron valores superiores ($18,09 \pm 0,76 \text{ N mm}^{-1}$) respecto al Control ($15,27 \pm 0,58 \text{ N mm}^{-1}$), mostrando diferencias significativas ($p < 0.01$). El suministro externo de calcio quelado no solo ejerce un efecto directo sobre la estructura celular, sino que también puede mejorar la firmeza mediante la modulación de diversas actividades enzimáticas relacionadas con la pared celular, como la pectinmetilesterasa y poligalacturonasa. Como consecuencia, se obtiene un aumento de la firmeza y una mejora general de la calidad del fruto, lo cual repercute positivamente en la aceptación por parte del consumidor (Guirao et al., 2024).

Estos resultados se corroboran con diferentes estudios previos en los que la aplicación foliar en precosecha de complejos Sorbitol-Ca incrementó la firmeza en cultivos como uva de mesa y naranja sanguina (Guirao et al., 2024; Guirao et al., 2025a). El ablandamiento de los frutos está asociado a procesos bioquímicos y fisiológicos que alteran los parámetros de calidad. Por lo tanto, una mayor firmeza en las nectarinas tratadas que en el Control, probablemente se deba a la función que ejerce el calcio sobre el mantenimiento de la integridad de la pared celular, reduciendo la acción de las enzimas hidrolasas y por consiguiente mejorando la textura del fruto en el momento de la cosecha (Martínez-González et al., 2017; Guirao et al., 2025b).

La acción del sorbitol como transportador de metabolitos de baja movilidad por el floema puede facilitar el movimiento del calcio cuando forma complejos con este mineral, incrementando su disponibilidad para desempeñar sus funciones estructurales en la membrana y la pared celular (Guirao et al., 2025b).

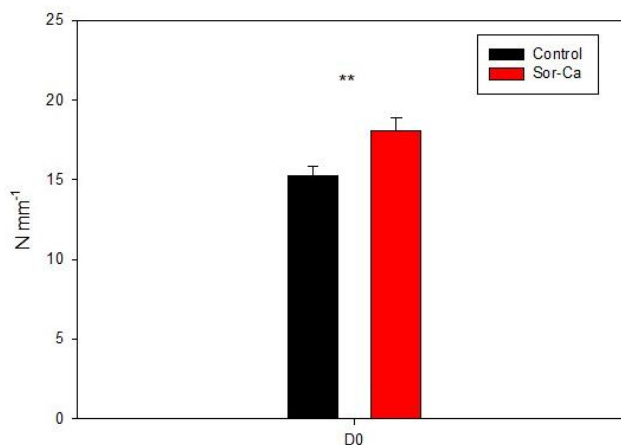


Figura 12. Firmeza de las nectarinas tratadas con el complejo Sorbitol-Ca quelado y los frutos control en el día 0 de recolección. Los datos son la medida ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

4.4. COLOR EXTERNO

La coloración del fruto se emplea habitualmente como indicador del estado de madurez, siendo su apariencia visual el principal parámetro empleado para determinar el momento óptimo de cosecha. (Petruccelli et al., 2023). Además, el color constituye uno de los atributos más determinantes de la calidad de la nectarina, ya que influye directamente en la percepción del consumidor y en su decisión de compra. En su estado de madurez comercial, la nectarina se caracteriza por una paleta de colores atractiva que abarca tonalidades que van desde el rojo y rojo púrpura hasta el amarillo (Iglesias, 2009).

En la **Figura 13** se muestran los valores medios de la relación a^*/b^* correspondiente a las nectarinas tratadas en precosecha con el complejo Sorbitol-Ca y los frutos Control en el día de la recolección. A pesar de que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, los frutos Control presentaron un valor medio de $0,78 \pm 0,05$, ligeramente superior al registrado en el tratamiento Sorbitol-Ca $0,67 \pm 0,08$, indicando una menor

proporción relativa en tonos rojizos en este último. Estos resultados contrastan parcialmente con lo observado en otros estudios realizados en naranja sanguina (Guirao et al., 2025b) y uva de mesa (Soliman et al., 2023), donde la aplicación foliar de complejos Sorbitol-Ca produjo un incremento significativo en la coloración roja externa de los frutos, asociado principalmente a un incremento en la síntesis de antocianinas.

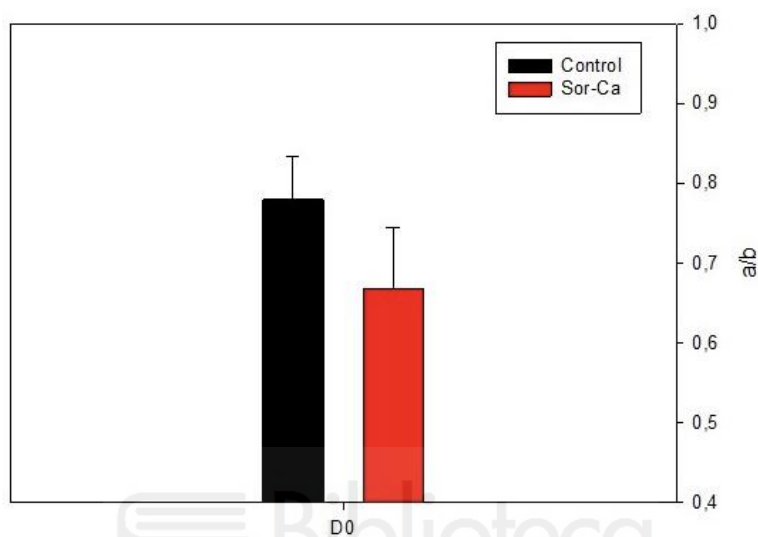


Figura 13. Color externo (a/b) en las nectarinas tratadas con el complejo Sorbitol-Ca quelado y los frutos control en el día 0 de recolección. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

4.5. TASA DE RESPIRACIÓN Y DE ETILENO

En frutos climatéricos, la tasa de respiración presenta un aumento conocido como pico climatérico al principio de la maduración, el cual coincide con un incremento en la producción de etileno (Kou et al., 2021). El etileno es el regulador de la maduración en frutos climatéricos, interviniendo en la degradación de clorofilas, síntesis de compuestos volátiles y acumulación de carotenoides y antocianinas (Tipu & Sherif, 2024).

La tasa de respiración de las nectarinas tratadas en precosecha con el complejo Sorbitol-Ca y de los frutos Control en el día de la recolección (**Figura 14A**) mostró diferencias significativas ($p < 0.001$). Los frutos tratados presentaron valores superiores ($54,59 \pm 1,68$ mg CO₂ Kg⁻¹h⁻¹) respecto al Control ($44,38 \pm 0,88$ mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹), evidenciando un incremento notable en la actividad respiratoria asociado al tratamiento. Este aumento en la tasa de respiración de los frutos tratados con Sorbitol-Ca podría modular la intensidad

del pico climatérico, ya sea aumentando su magnitud o prolongando su duración, lo que potencialmente influiría en el proceso de maduración del fruto.

En cuanto a la tasa de etileno (**Figura 14B**), los valores registrados fueron $0,36 \pm 0,20$ nL g⁻¹h⁻¹ en el tratamiento Sor-Ca y $0,33 \pm 0,09$ nL g⁻¹h⁻¹ en el Control, sin observarse diferencias significativas entre ambos. Esto indica que, aunque el tratamiento incrementó la respiración, no produjo cambios relevantes en la producción de etileno en el momento de la cosecha.

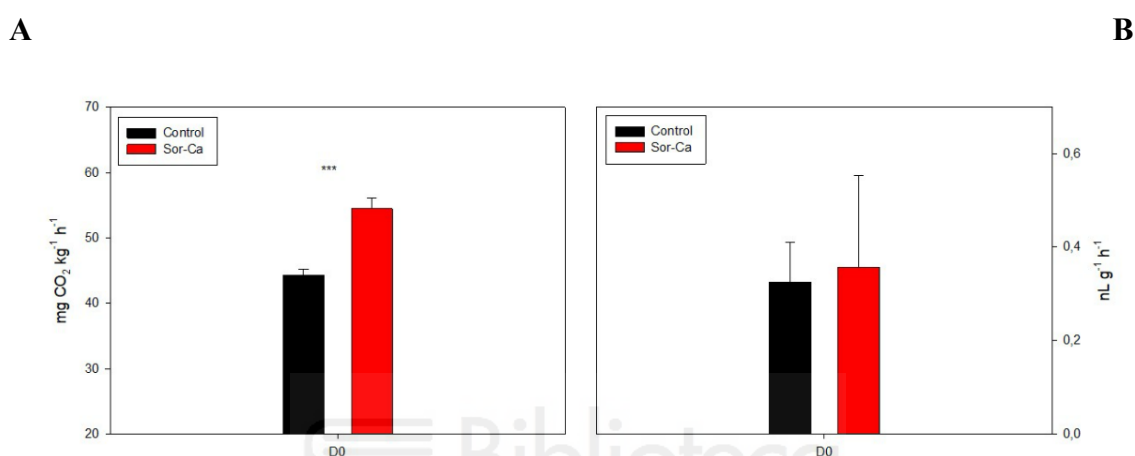


Figura 14. Tasa de respiración (A) y tasa de etileno (B) en nectarinas tratadas con el complejo Sorbitol-Ca quelado y los frutos control en el día 0 de recolección. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

En estudios como (Guirao et al., 2024; Guirao et al., 2025a), se empleó el mismo tratamiento de Sorbitol-Ca y se pudo apreciar como la tasa de respiración disminuyó en los frutos tratados tras su recolección y su conservación, lo que daría lugar a un metabolismo menos activo, ampliando su vida útil en su conservación poscosecha. Se necesitaría una investigación más exhaustiva para determinar la relación entre el tratamiento y su efecto en la tasa de respiración y de etileno ya que los resultados observados en la literatura se centran en frutos muy distintos como son la uva de mesa y la naranja sanguina, los cuales no son frutos climatéricos ni habituales acumuladores de sorbitol.

4.6. CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES, ACIDEZ E ÍNDICE DE MADURACIÓN

Con respecto a la fecha de cosecha, los cultivos de temporada media y tardía tienen una mayor capacidad de acumular azúcar en comparación con los cultivares de temporada temprana, y esto se debe al no interrumpirse el proceso de crecimiento, acumulación de azúcar, degradación ácida y síntesis de aromas (Iglesias, 2009).

Los resultados obtenidos en las nectarinas extratempranas tratadas con el complejo Sorbitol-Ca y en los frutos Control en el día 0 de muestreo (**Figura 15**), muestran que no se observaron diferencias significativas en la acidez total (AT) entre tratamientos (**Figura 15A**), cuyos valores fueron muy similares: $1,30 \pm 0,02$ g ácido málico 100 g^{-1} en el Control y $1,32 \pm 0,02$ g ácido málico 100 g^{-1} en las muestras tratadas.

Por el contrario, sí se detectaron diferencias significativas en los sólidos solubles totales (SST) ($p < 0,01$) y en el índice de madurez (IM) ($p < 0,05$) (**Figura 15B**). Los frutos tratados con Sorbitol-Ca alcanzaron valores superiores de SST ($9,77 \pm 0,22$ °Brix) respecto al Control ($9,10 \pm 0,13$ °Brix), así como un IM más elevado ($7,41 \pm 0,13$) frente al Control ($7,02 \pm 0,04$).

Este incremento significativo en SST e IM podría estar relacionado con el papel del sorbitol como fotosintato primario de reserva y como promotor del transporte de nutrientes, favoreciendo la acumulación de azúcares y contribuyendo a la mejora de los atributos de calidad del fruto.

En estudios previos se ha observado, que las aplicaciones previas a la cosecha de calcio quelado con sorbitol generalmente han sido efectivas para aumentar los niveles de SST y AT en diferentes variedades de frutas como: maní (Liu et al., 2021), uva de mesa (Guirao et al., 2024) y naranja sanguina (Guirao et al., 2025a).

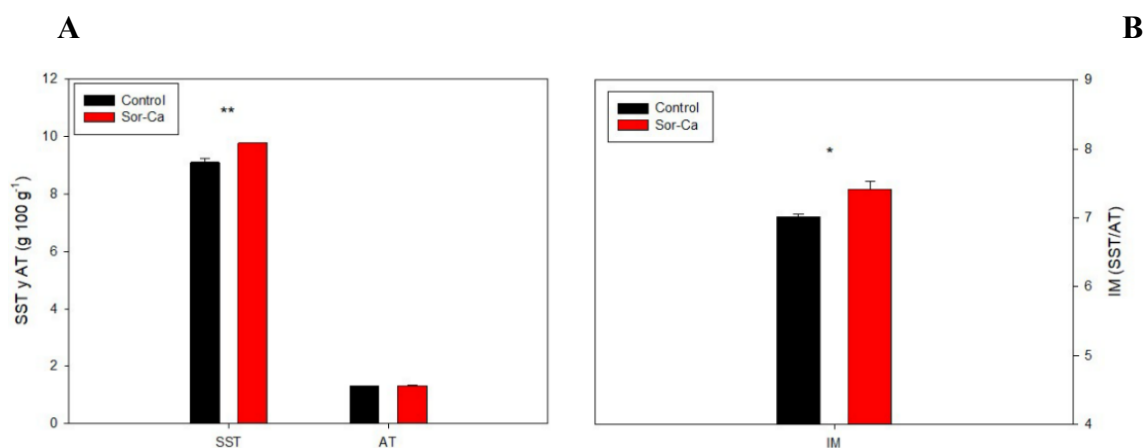


Figura 15. Sólidos solubles totales (SST) (A), acidez titulable (AT) (A) e índice de maduración (IM) (B), en nectarinas tratadas con el complejo Sorbitol-Ca quelado y los frutos control en el día 0 de recolección. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

4.7. CONTENIDO ANTOCIANINAS

Las antocianinas son los compuestos antioxidantes que aportan la coloración rojiza característica de la piel de las nectarinas. Además, ha sido ampliamente estudiado el efecto beneficioso de su consumo en la salud humana debido a sus propiedades antioxidantes, anticancerígenas y antimicrobianas.

Los resultados obtenidos para el contenido de antocianinas en piel (**Figura 16**) de las nectarinas tratadas en precosecha con el complejo Sorbitol-Ca y en los frutos Control en el día 0 de muestreo, indican diferencias significativas ($p < 0,01$), con valores notablemente superiores en las muestras tratadas. El contenido de antocianinas fue de $225,13 \pm 41,54$ mg eq cy3-glc kg⁻¹ en el Control, mientras que en el tratamiento Sorbitol-Ca alcanzó $544,97 \pm 74,39$ mg eq cy3-glc kg⁻¹, evidenciando un incremento sustancial asociado al tratamiento.

A pesar de que no se observaron diferencias significativas en el color externo, la síntesis de antocianinas sí se vio potenciada en los frutos tratados. Este comportamiento coincide con estudios previos, en los cuales los tratamientos foliares precosecha con Sorbitol-Ca incrementaron la acumulación de antocianinas en frutas como uva de mesa y naranja sanguina, debido a la activación de factores de transcripción y enzimas clave implicadas en la vía biosintética de antocianinas (Conde et al., 2024; Guirao et al., 2025a).

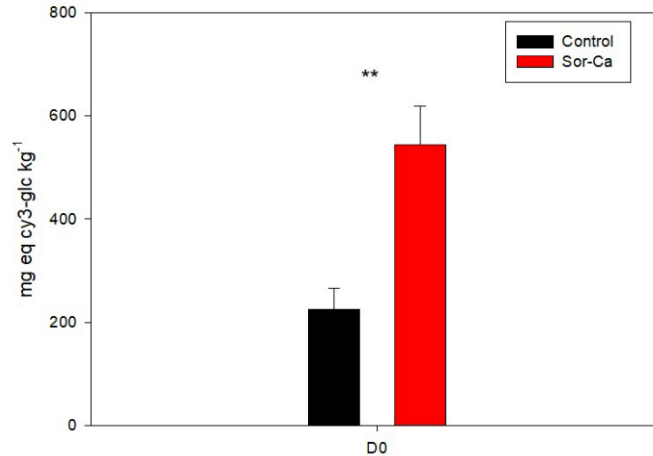


Figura 16. Contenido de antocianinas en piel de nectarinas con complejo sorbitol y calcio quelado tratadas previamente a la recolección y frutos control. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

4.8. CONTENIDO EN POLIFENOLES TOTALES

Dado que los polifenoles son indicadores clave del valor funcional y antioxidante del fruto, la **Figura 17** recoge los valores obtenidos en piel y pulpa para las nectarinas tratadas en precosecha con el complejo Sorbitol-Ca quelado y los frutos Control en el día 0 de muestreo, mostrando que en la piel, el contenido de polifenoles fue de $77,40 \pm 2,50$ mg eq ácido gálico 100 g^{-1} en el Control y de $94,13 \pm 4,21$ mg eq ácido gálico 100 g^{-1} en el tratamiento Sorbitol-Ca, observándose diferencias significativas ($p < 0,01$) a favor del tratamiento, lo cual concuerda con los resultados observados para las antocianinas. En la pulpa, los valores fueron de $36,22 \pm 0,30$ mg eq ácido gálico 100 g^{-1} en el Control y $37,86 \pm 0,54$ mg eq ácido gálico 100 g^{-1} en Sorbitol-Ca, mostrando también diferencias significativas ($p < 0,05$), aunque de menor magnitud que en la piel.

Como es habitual en nectarinas, el contenido total de polifenoles fue mayor en la piel que en la pulpa, debido principalmente a la acumulación de antocianinas, que constituyen un subgrupo importante dentro de los compuestos fenólicos. Este patrón ha sido descrito anteriormente en nectarinas y otras frutas de hueso (Michailidis et al., 2021).

El incremento observado de los polifenoles se atribuye al tratamiento con el complejo Sorbitol-Ca, ya que los polioles como el sorbitol, combinados con metabolitos, presentan una mayor eficiencia de absorción foliar y una distribución facilitada por un gradiente de

concentración para llegar a las células del floema. Esto favorece la translocación hacia distintos órganos diana, favoreciendo la síntesis de metabolitos secundarios como polifenoles totales (Guirao et al., 2024; Guirao et al., 2025a).

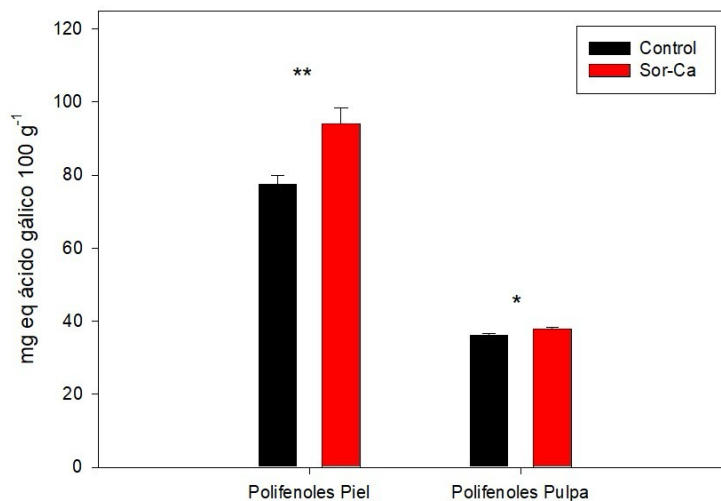


Figura 17. Contenido en polifenoles totales en pulpa y piel de nectarinas control y nectarinas con complejo Sorbitol-Ca quelado tratadas previamente a la recolección. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

4.9. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante de las nectarinas tratadas en precosecha con el complejo Sorbitol-Ca y los frutos Control en el día 0 de muestreo, presentaron diferencias significativas en la piel tanto en la fracción hidrosoluble como en la liposoluble (**Figura 18**).

En la fracción hidrosoluble de piel (AAT-H), los frutos control presentaron un valor medio $56,13 \pm 2,56$ mg eq. Trolox 100 g^{-1} , mientras que las nectarinas tratadas alcanzaron $76,44 \pm 6,20$ mg eq. Trolox 100 g^{-1} , evidenciando diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la fracción hidrosoluble de pulpa, los valores fueron muy similares entre tratamientos (Control: $14,18 \pm 1,02$ mg eq Trolox 100 g^{-1} ; Sorbitol-Ca: $14,64 \pm 0,26$ mg eq Trolox 100 g^{-1}), sin observarse diferencias relevantes.

Respecto a la fracción liposoluble (AAT-L), también se observaron diferencias significativas ($p < 0,01$) en la piel, donde los frutos control mostraron $18,32 \pm 0,53$ mg eq Trolox 100 g^{-1} , frente a $21,71 \pm 0,59$ mg eq Trolox 100 g^{-1} en los frutos tratados. En la pulpa, los valores fueron $9,46 \pm 0,34$ mg eq Trolox 100 g^{-1} para el control y $8,22 \pm 0,54$ mg eq Trolox 100 g^{-1} para Sorbitol-Ca, sin diferencias significativas entre ambos.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos para el contenido de antocianinas en piel y polifenoles, reforzando que los frutos tratados presentan mayor capacidad antioxidante en piel.

Según diversos estudios (Guirao et al., 2024; Guirao et al., 2025b), los tratamientos con Sorbitol-Ca en uva de mesa y naranja sanguina potenciaron un incremento tanto en la actividad antioxidante hidrosoluble como liposoluble. Esto puede deberse al efecto del Sorbitol-Ca favoreciendo la síntesis de compuestos de carácter antioxidante, como los carotenos y polifenoles, además de la participación del calcio manteniendo la integridad de las membranas y favoreciendo su mayor retención o biodisponibilidad.

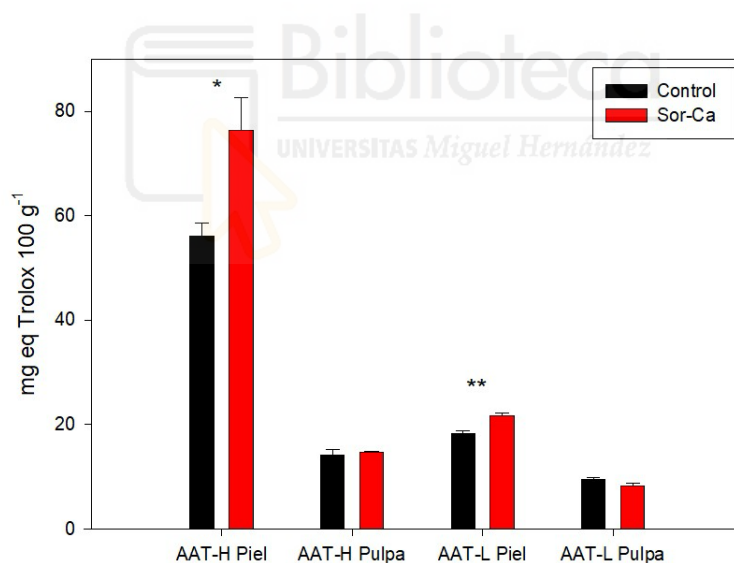
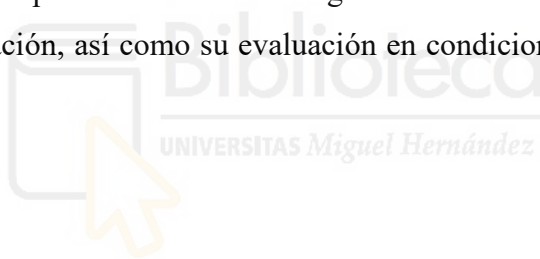


Figura 18. Actividad antioxidante hidrosoluble y liposoluble en piel y pulpa de nectarinas tratadas con el complejo Sorbitol-Ca quelado y los frutos control en el día 0 de recolección. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 5 frutos. * ($p < 0.05$); ** ($p < 0.01$); *** ($p < 0.001$).

5.CONCLUSIÓN

Este trabajo evidencia que, aunque aún queda mucho por investigar en relación con la nectarina, los tratamientos precosecha aplicados desde la floración hasta la cosecha con Sorbitol-Ca en nectarinas [*Prunus persica* (L.) Batsch cv 'Garcima'] tuvieron un impacto positivo en el rendimiento de las primeras tres cosechas, así como en parámetros de calidad como la firmeza, sólidos solubles totales, índice de madurez y el contenido en compuestos de carácter antioxidante como los polifenoles y las antocianinas, lo que produjo un incremento en la actividad antioxidante. El tratamiento favoreció el transporte de calcio a través de la planta hasta el fruto, facilitado por la capacidad de los polioles de transportar metabolitos de baja movilidad por el floema debido a su alta capacidad osmótica. En conclusión, la aplicación de calcio quelado con sorbitol mejora la absorción y utilización de nutrientes en la planta, mejora la calidad del fruto y permite adelantar la recolección, lo que puede traducirse en un mayor impacto económico, una mejor adaptación al cambio climático, además de ser una estrategia económicamente viable. Estos resultados abren la puerta a futuras investigaciones sobre la optimización de dosis y frecuencias de aplicación, así como su evaluación en condiciones comerciales y otras variedades.



6. BIBLIOGRAFÍA

- Abidi, W., Jiménez, S., Moreno, M. Á., & Gogorcena, Y. (2011). Evaluation of antioxidant compounds and total sugar content in a nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] progeny. *International journal of molecular sciences*, 12(10), 6919-6935.
- Aubert, C., Bony, P., Chalot, G., Landry, P., & Lurol, S. (2014). Effects of storage temperature, storage duration, and subsequent ripening on the physicochemical characteristics, volatile compounds, and phytochemicals of western red nectarine (*Prunus persica* L. Batsch). *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(20), 4707-4724.
- Badenes, M. L., Lorente-Solanas, M., Martínez-Calvo, J., & Llácer, G. (1999). Variedades de melocotón y Nectarina Temprana.
- BEDCA (2007). Consortium & Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN). <https://www.bedca.net/bdpub/index.php>
- Blattný, C. (2003). Peaches and nectarines.
- Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, 3(1), 5.
- Carrasco-Cuello, F., Van der Heijden, G., Rufat, J., & Torres, E. (2024). Unraveling calcium absorption and distribution in peach and nectarine during fruit development through ⁴⁴Ca isotope labeling. *Plants*, 13(16), 2287.
- Ceccarelli, A., Farneti, B., Khomenko, I., Cellini, A., Donati, I., Aprea, E., ... & Spinelli, F. (2020). Nectarine volatilome response to fresh-cutting and storage. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111020.
- Conde, A., Badim, H., Dinis, L. T., Moutinho-Pereira, J., Ferrier, M., Unlubayir, M., ... & Gerós, H. (2024). Stimulation of secondary metabolism in grape berry exocarps by a nature-based strategy of foliar application of polyols. *OENO one*, 58(1).
- Conesa, M. R., Conejero, W., Vera, J., Agulló, V., García-Viguera, C., & Ruiz-Sánchez, M. C. (2021). Irrigation management practices in nectarine fruit quality at harvest and after cold storage. *Agricultural Water Management*, 243, 106519.
- Crisosto, C. H., & Day, K. R. (2012). Stone fruit. *Crop Post-Harvest: Science and Technology: Perishables*, 212-225.

- Dantas, A. M., Fernandes, F. G., Magnani, M., & Borges, G. D. S. C. (2023). Gastrointestinal digestion assays for evaluating the bioaccessibility of phenolic compounds in fruits and their derivatives: an overview. *Food Research International*, 170, 112920.
- Dirlewanger, E., Moing, A., Rothan, C., Svanella, L., Pronier, V., Guye, A., ... & Monet, R. (1999). Mapping QTLs controlling fruit quality in peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Theoretical and Applied Genetics*, 98(1), 18-31.
- European Commission. (2023). Datos recuperados el 20 de agosto de 2025, de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302429
- Europêch (2025). Datos recuperados el 19 de agosto de 2025, de https://www.agro-alimentarias.coop/docs_download/europechsintesis-cosecha-europea-2024-y-actualizacion-de-la-previsiones-de-cosecha-2025-melocoton-nectarina
- Eurostat. (2023). Datos recuperados el 19 de agosto de 2025, de <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230720-2>
- Falagán, N., Artés, F., Artés-Hernández, F., Gómez, P. A., Pérez-Pastor, A., & Aguayo, E. (2015). Comparative study on postharvest performance of nectarines grown under regulated deficit irrigation. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 24-32.
- Faruh, M., & Hopfer, H. (2023). Aroma volatiles as predictors of chilling injury development during peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) cold storage and subsequent shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 195, 112137.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). FAOSTAT: Crops and livestock products (QCL). Datos recuperados el 19 de agosto de 2025, de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. (2002). Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(17), 4976-4982.
- González, V., Cuzzo, V., Torres, E., Pariani, Y., & Silveira, A. C. (2019). Tratamiento con aire caliente y su efecto sobre el metabolismo de nectarina var. Big Top almacenada a diferentes temperaturas. *Agrociencia (Uruguay)*, 23(2), 198-211.

- Guirao, A., Valverde, J. M., Díaz-Mula, H. M., Valero, D., Serrano, M., & Martínez-Romero, D. (2024). Role of pre-harvest sorbitol–calcium treatments in controlling berry drop in bagged table grapes of the “Doña María” variety. *Horticulturae*, 10(7), 698.
- Guirao, A., Martínez-Romero, D., Solana-Guilabert, A., Agulló, V., Díaz-Mula, H. M., & Valverde, J. M. (2025a). Influence of preharvest sorbitol and calcium-sorbitol applications on the ripening process and anthocyanin biosynthesis in blood orange (*Citrus sinensis* cv. Sanguinelli). *Food Chemistry*, 481, 144105.
- Guirao, A., Valverde, J. M., Solana-Guilabert, A., Díaz-Mula, H. M., Valero, D., & Martínez-Romero, D. (2025b). Impact of pre-harvest sorbitol and sorbitol-Ca complex treatments on the quality of fresh blood oranges and their juice after storage at 8° C. *Postharvest Biology and Technology*, 227, 113601.
- Guirao, A., García-Pastor, M. E., Solana-Guilabert, A., Valverde, J. M., & Martínez-Romero, D. (2025c). Enhancing calcium transport in table grapes using sorbitol: A sustainable strategy for promoting fruit quality. *Horticulturae*, 11(11), 1320.
- Hocking, B., Tyerman, S. D., Burton, R. A., & Gilliam, M. (2016). Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in plant science*, 7, 569.
- Iglesias, I., & Echeverría, G. (2009). Differential effect of cultivar and harvest date on nectarine colour, quality and consumer acceptance. *Scientia Horticulturae*, 120(1), 41-50.
- IMIDA. (2025). Datos meteorológicos. Datos recuperados el 8 de julio de 2025, de <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:46:1985737155632736>
- Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A., & Khan, M. I. R. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: interaction with other phytohormones. *Frontiers in plant science*, 8, 475.
- Kader, A. A., & Saltveit, M. E. (2002). Atmosphere modification. *Postharvest physiology and pathology of vegetables* (pp. 274-294). CRC Press.
- Kou, X., Feng, Y., Yuan, S., Zhao, X., Wu, C., Wang, C., & Xue, Z. (2021). Different regulatory mechanisms of plant hormones in the ripening of climacteric and non-climacteric fruits: a review. *Plant Molecular Biology*, 107(6), 477-497.

- Legua, P., Hernández, F., Díaz-Mula, H. M., Valero, D., & Serrano, M. (2011). Quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of new flat-type peach and nectarine cultivars: a comparative study. *Journal of Food Science*, 76(5), C729-C735.
- Liu, C., Li, Y., Huo, W., Li, T. S., Wei, Q. Q., Huang, M. L., ... & Yan, D. (2021). Effect of sorbitol calcium chelate on yield and calcium nutrient absorption of peanut. *Am. J. Biochem. Biotechnol*, 17(2), 160-173.
- Lurie, S., & Crisosto, C. H. (2005). Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest biology and technology*, 37(3), 195-208.
- Ma, T., Hui, Y., Zhang, L., Su, B., & Wang, R. (2022). Foliar application of chelated sugar alcohol calcium fertilizer for regulating the growth and quality of wine grapes. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 15(3), 153-158.
- MAPA (2010). Calendario de maduración de variedades de nectarina de pulpa amarilla. Datos recuperados el 17 de agosto de 2025, de <https://www.mapa.gob.es/app/MaterialVegetal/Docs/Calendario%20de%20maduraci%C3%B3n%20nectarina%20amarilla%20IRTA.pdf>
- MAPA (2025). Boletín de seguimiento campaña de fruta de hueso 2025. Datos recuperados el 19 de agosto de 2025, de https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/frutas-y-hortalizas/informacion-subsectorial/fruta-de-hueso/campana2025/boletines-fruta-de-hueso/fruta-de-hueso.-boletin-n-1-campana-2025_-final.pdf
- Martínez-González, M.E., Balois-Morales, R., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M.A., Palomino-Hermosillo, Y.A. & López-Gúzman, G.G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4075-4087.
- Newman, A. W., Vitez, I. M., Mueller, R. L., Kiesnowski, C. C., Findlay, W. P., Rodriguez, C., ... & McGeorge, G. (1999). Sorbitol. *Analytical profiles of drug substances and excipients* (Vol. 26, pp. 459-502). Academic Press.
- Palou, L. (2024). Podredumbres de poscosecha del melocotón y la nectarina. *Revista de Fruticultura*, (Especial 2024), 82-95.

- Pérez-Llorca, M., Muñoz, P., Müller, M., & Munné-Bosch, S. (2019). Biosynthesis, metabolism and function of auxin, salicylic acid and melatonin in climacteric and non-climacteric fruits. *Frontiers in Plant Science*, 10, 136.
- Petrucelli, R., Bonetti, A., Ciaccheri, L., Ieri, F., Ganino, T., & Faraloni, C. (2023). Evaluation of the fruit quality and phytochemical compounds in peach and nectarine cultivars. *Plants*, 12(8), 1618.
- Pleyerová, I., Hamet, J., Konrádová, H., & Lipavská, H. (2022). Versatile roles of sorbitol in higher plants: luxury resource, effective defender or something else?. *Planta*, 256(1), 13.
- Ravaglia, D., Espley, R. V., Henry-Kirk, R. A., Andreotti, C., Ziosi, V., Hellens, R. P., ... & Allan, A. C. (2013). Transcriptional regulation of flavonoid biosynthesis in nectarine (*Prunus persica*) by a set of R2R3 MYB transcription factors. *BMC plant biology*, 13(1), 68.
- Ruiz-Sánchez, M. C., Abrisqueta, I., Conejero, W., & Vera, J. (2018). Deficit irrigation management in early-maturing peach crop. *Water scarcity and sustainable agriculture in semiarid environment* (pp. 111-129). Academic Press.
- Science Agriculture (2024). 10 World's Biggest Country Producers of Peaches and Nectarines. ScienceAgri. Datos recuperados el 20 de agosto de 2025, de https://www.scienceagri.com/2023/05/10-worlds-biggest-producers-of-peach.html#google_vignette
- Serrano, M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F., & Valero, D. (2004). Effect of preharvest sprays containing calcium, magnesium and titanium on the quality of peaches and nectarines at harvest and during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(11), 1270-1276.
- Singh, M., Arseneault, M., Sanderson, T., Murthy, V., & Ramassamy, C. (2008). Challenges for research on polyphenols from foods in Alzheimer's disease: bioavailability, metabolism, and cellular and molecular mechanisms. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(13), 4855-4873.
- Soliman, S. N., Abdel-Hamid, N., Aly, R., Ibrahim, M. F., & Nasser, M. A. (2023). Application of exogenous polyols, amino acids and girdling to improve (*Vitis vinifera* L.) Crimson Seedless cv. berries coloration, and postharvest quality. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 23(2), 70-80.

- Stojanovic, B. T., Mitic, S. S., Stojanovic, G. S., Mitic, M. N., Kostic, D. A., Paunovic, D. D., & Arsic, B. B. (2016). Phenolic profile and antioxidant activity of pulp and peel from peach and nectarine fruits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(1), 175-182.
- Talang, H. D., Dutta, P., Mukhim, C., & Patil, S. (2016). Effect of calcium, boron and sorbitol on fruit-set, yield and quality in mango cv. Himsagar. *Journal of Horticultural Sciences*, 11(2), 166-169.
- Thor, K. (2019). Calcium—nutrient and messenger. *Frontiers in plant science*, 10, 440.
- Tipu, M. M., & Sherif, S. M. (2024). Ethylene and its crosstalk with hormonal pathways in fruit ripening: mechanisms, modulation, and commercial exploitation. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1475496.
- Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I., Cremin, P., Waterhouse, A. L., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. (2001). HPLC–DAD–ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4748-4760.
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of botany*, 92(4), 487-511.
- Yu, Y., Fu, J., Xu, Y., Zhang, J., Ren, F., Zhao, H., ... & Xie, H. (2018). Genome re-sequencing reveals the evolutionary history of peach fruit edibility. *Nature communications*, 9(1), 5404.