

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



**“EFECTO DEL TRATAMIENTO PRECOSECHA CON
JASMONATO DE METILO SOBRE LA CALIDAD DE LA CEREZA CV.
PRIME GIANT (*Prunus avium* L.) DURANTE EL
ALMACENAMIENTO”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre 2022

Autora: Andrea Mas Montoya

Tutor: Dr. Antonio Fabián Guillén Arco

Co-tutora: María Celeste Ruiz Aracil

Resumen

Las cerezas (*Prunus avium* L.) son frutas muy perecederas. En este trabajo se ha estudiado el efecto de tratamientos precosecha con productos de origen natural como es el jasmonato de metilo (JaMe) en cerezas de la variedad 'Prime Giant'. Los tratamientos aplicados retrasaron la maduración en el árbol e incrementaron el tamaño en el momento de la cosecha. En postcosecha, los frutos tratados con JaMe retrasaron su senescencia a través de unas menores pérdidas de peso y de firmeza y una menor evolución del color al retrasar la acumulación de compuestos bioactivos. Por otro lado, los tratamientos incrementaron el contenido en sólidos solubles y acidez. Por tanto, los tratamientos precosecha con JaMe podrían incrementar las posibilidades de comercialización de las cerezas.

Palabras clave: Maduración, jasmonato de metilo, almacenamiento, recolección, precosecha, calidad.

Abstract

Sweet Cherries (*Prunus avium* L.) are very perishable fruits. In this study, the effect of pre-harvest treatments with products of natural origin such as methyl jasmonate (JaMe) on sweet cherries cv. 'Prime Giant' has been studied. The applied treatments delayed the ripening on tree and increased the size at harvest time. During postharvest, the fruits treated with JaMe delayed their senescence through lower weight losses and firmness losses and a delayed colour evolution by delaying the accumulation of bioactive compounds. On the other hand, the treatments increased the content of soluble solids and total acidity. Therefore, pre-harvest treatments with JaMe could increase the commercialization possibilities of sweet cherries.

Keywords: Ripening, methyl jasmonate, storage, harvest, pre-harvest, quality

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar en estas líneas el agradecimiento a todas las personas que, de una forma u otra, han hecho mi paso por esta etapa mucho más fácil y bonita.

En primer lugar, agradecer a mis tutores de TFG, Fabián y Celeste, su confianza en mí al permitirme realizar este Trabajo Final de Grado con ellos en el Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, por su amabilidad, apoyo y ayuda siempre que lo he necesitado.

Agradecer a mis compañeras y amigas, Nuria y Alba, por todos los buenos ratos que la carrera nos ha dejado dentro y fuera de la universidad, por los no tan buenos y por los que vendrán con esta bonita amistad que la UMH ha forjado.

A mi familia, a mis hermanos y, sobre todo, a mis padres, por darme la oportunidad siempre de estudiar lo que he querido y me ha gustado, pues, como dice mi madre: *El único regalo que te voy a dejar en esta vida es una carrera.*

Y como no, a mi perro, mi hijo, Thor, que ha sufrido mi falta de tiempo para él, para sus paseos y juegos. Él me ha acompañado fiel en mis horas de estudio, soportando recitales de temas y exposiciones como oyente atento, que escuchaba con paciencia y sin entender nada de lo que su madre le decía.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. La cereza	6
1.1.1. Características botánicas	6
1.1.2. Composición nutricional	8
1.1.3. Variedades de cerezas.....	9
1.2. <i>Producción e importancia económica</i>	10
1.3. <i>Parámetros de calidad y maduración del fruto</i>	14
1.4. <i>Problemática postcosecha</i>	16
1.5. <i>Nuevas tecnologías en la mejora de la calidad de cereza</i>	17
1.5.1. Conservación a bajas temperaturas.....	17
1.5.2. Hidrocooling.....	17
1.5.3. Aceites esenciales	18
1.5.4. Tratamientos térmicos.....	18
1.5.5. Tratamientos con calcio	18
1.5.6. Poliaminas	18
1.5.7. Envasado en atmósfera modificada.....	19
1.5.8. Recubrimientos comestibles	19
2. OBJETIVOS	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. <i>Material vegetal</i>	20
3.2. <i>Diseño experimental</i>	20
3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	23
3.3.1. Pérdida de peso	23
3.3.2. Determinación de CO ₂	23
3.3.3. Evaluación del color	24
3.3.4. Determinación de la firmeza	25
3.3.5. Evaluación de los sólidos solubles totales (SST).....	25
3.3.6. Determinación de la acidez valorable total.....	26
3.3.7. Evaluación del pedicelo.....	27
3.3.8. Contenido en antocianinas totales	27
3.3.9. Contenido en polifenoles totales	28
3.3.10. Evaluación de la actividad antioxidante hidrosoluble total	28
3.4. <i>Análisis estadístico</i>	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. <i>Peso medio de los frutos en el momento de la cosecha</i>	29
4.2. <i>Evolución de la pérdida de peso</i>	30
4.3. <i>Firmeza</i>	31
4.4. <i>Luminosidad y ángulo Hue*</i>	32
4.5. <i>Tasa de respiración</i>	34

4.6.	<i>Sólidos solubles</i>	35
4.7.	<i>Acidez valorable</i>	36
4.8.	<i>Antocianinas</i>	38
4.9.	<i>Polifenoles</i>	39
4.10.	<i>Actividad antioxidante hidrosoluble</i>	40
4.11.	<i>Deterioro de los pedicelos</i>	41
5.	CONCLUSIONES	42
6.	BIBLIOGRAFÍA	43



1. INTRODUCCIÓN

1.1. La cereza

La cereza (*Prunus avium* L.) es una fruta muy apreciada por su sabor dulce y su color atractivo. Es un fruto que no tiene una vida útil larga, se daña con facilidad y es estacionaria, además, al ser un fruto no climatérico debe ser recolectado en un estado de maduración óptimo para su consumo.

Este fruto, con origen entre el mar Negro y el mar Caspio, es cultivado en todo el mundo, pero principalmente en regiones con climas templados, como es la zona del mediterráneo y Europa central, el norte de África, Asia y Norte América (Nunes et al., 2021). En España se cultiva en las regiones de Aragón, el Valle del Jerte, la Montaña de Alicante, Castellón y Cataluña, donde algunas variedades locales siguen teniendo importancia y gran relevancia en cuanto a producción e ingresos (Calle et al., 2016).

Se considera una fruta muy nutritiva, con múltiples beneficios para la salud que derivan principalmente de su alto contenido en compuestos bioactivos, su capacidad antioxidante y el bajo contenido calórico que poseen, aunque su composición nutricional depende en gran medida de influencias externas y el procesamiento al que hayan sido sometidas previo a su consumo (Fonseca et al., 2021).

1.1.1. Características botánicas

La cereza (*Prunus avium* L.); fruto del cerezo (Imagen 1), es un árbol de hoja caduca que puede llegar a alcanzar los 25 metros de altura y hasta 0,60 metros de diámetro. Es una drupa diploide, de la familia *Rosaceae*, género *Prunus* L. y especie *Purnus Avium*, con un color que depende de la variedad y que abarca un amplio abanico de colores, que van desde rojizos claros hasta tonos negros (Imagen 2) (Lemus, 2005)



Imagen 1. Cerezo.

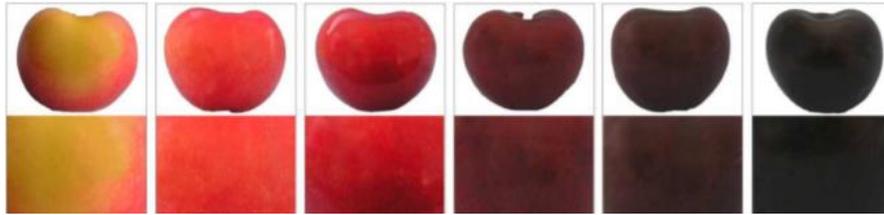


Imagen 2. Carta de color según normas de campaña cereza 2019 Valle del Jerte.

La cereza está formada por un endocarpo, que contiene una semilla simple cubierta por una testa delgada, el epicarpo o piel y el mesocarpo o pulpa, estas dos últimas partes son comestibles (Lemus, 2005).

El fruto del cerezo tiene una curva de crecimiento doble sigmoideal, que se divide en tres etapas: etapa I, el período de división celular, etapa II, de crecimiento lento del endurecimiento del hueso y etapa III, de agrandamiento celular, en el cual se produce el crecimiento del 50-80 % del fruto (Predieri et al., 2003).

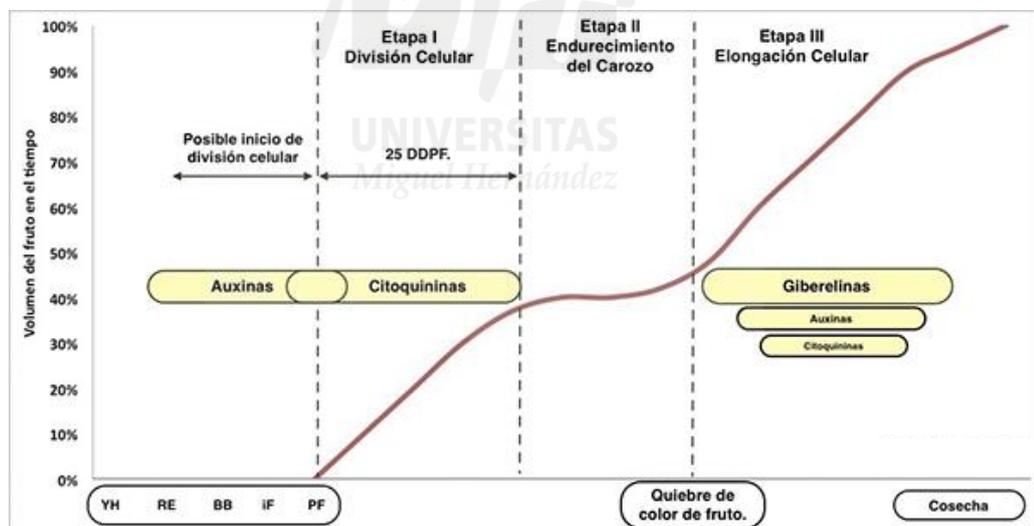


Imagen 3: Dinámica del crecimiento de fruto del cerezo representado por la curva doble sigmoidea.

En España, el cultivo del cerezo se centra en el cerezo productor de cerezas dulces, que es diploide ($2n=2x=16$), mientras que en otros países también se cultiva el guindo (*Prunus cerasus* L.), que es tetraploide ($2n=4x=32$) y que produce cerezas ácidas (Pérez, 2009).

1.1.2. Composición nutricional

La cereza (*Prunus avium* L.) es un fruto pequeño con pulpa rugosa y redondeado. Su color rojo se debe a la presencia de antocianinas y el sabor es debido principalmente a ácidos orgánicos como el ácido málico y, en menor concentración, ácido cítrico, succínico y fumárico.

En cuanto a su composición nutricional (Tabla 1), presenta macronutrientes como los hidratos de carbono, las proteínas, las grasas y la fibra. También micronutrientes como las vitaminas, siendo la vitamina C la mayoritaria, los minerales y compuestos fenólicos como el ácido hidroxicinámico, los flavonoides, más en concreto los flavonoles, los flavanoles y las antocianinas (Santos et al., 2020).

La composición nutricional de esta fruta por cada 100g de porción comestible se puede observar en la siguiente tabla (BEDCA, 2022; Virgen, 2019):

Tabla 1. Composición nutricional por cada 100 g de cereza.

Componente	Valor
Energía (kJ/Kcal)	262 / 63
Lípidos (g)	0,5
Ácidos grasos monoinsaturados (mg)	84
Ácidos grasos poliinsaturados (mg)	93
Ácidos grasos saturados (mg)	70
Proteínas (g)	0,8
Agua (g)	83,7
Hidratos de Carbono (g)	13,5
Azúcares (g)	12
Fibra insoluble (dietética) (g)	1,5
Vitaminas	

Vitamina A (ug)	3
Vitamina E (mg)	0,1
Vitamina B9 (ug)	8
Vitamina B3 (mg)	0,4
Vitamina B2 (mg)	0,06
Vitamina B1 (mg)	0,05
Vitamina B6 (mg)	0,05
Vitamina C (mg)	8
Minerales	
Calcio (mg)	16
Hierro (mg)	0,4
Potasio (mg)	255
Magnesio (mg)	11
Sodio (mg)	2
Fósforo (mg)	21
Yodo (mg)	2
Selenio (mg)	1.2
Zinc (mg)	0.12

Fuente: BEDCA, 2022

1.1.3. Variedades de cerezas

La recolección de la cereza se lleva a cabo entre mayo y agosto, aunque ciertas variedades tempranas es posible encontrarlas en abril, e incluso en marzo, dependiendo de la climatología del año.

Para poder llevar a cabo una cosecha durante un periodo de tiempo mayor y con mayor calidad y producción, se están introduciendo nuevas variedades de cereza obtenidas de mejoras varietales de países como Canadá, Estados Unidos, Francia, Hungría o Alemania (Rodrigo, 2016).

En España se cultivan diversas variedades de cereza (Tabla 2), pero las cinco más comunes, que son las variedades Lapins, Prime Giant, Earlise, Burlat y Sweet Heart, suponen un 30 % del total de la cereza cultivada en nuestro país (Rodrigo, 2020).

Tabla 2. Principales variedades de cereza cultivadas en España

Variedad	% de cultivo	Variedad	% de cultivo
Lapins	9,8	13s 3 13	2,5
Prime Giant	5,8	Summit	2,3
Earlise	6,1	Celeste	2,3
Burlat	5,5	Staccato	2,1
Sweet Heart	5,0	Chelan	2,0
Santina	3,4	Napoleón	1,8
Skeena	3,1	Frisco	1,6
Sonata	3,0	Ambrunés	1,5
Early Bigy	2,7	Brooks	1,4
Starking	2,6	Cristalina	1,1
Sumburst	2,5	Sommerset	1,1
		Otras	30,8

Fuente: Elaboración propia adaptada de J. Rodrigo (2020).

1.2. Producción e importancia económica

En lo que se refiere a superficie total de cerezo en nuestro país, se observa una tendencia al alza de la superficie cultivada (Gráfico 1) en el periodo de tiempo de 2008 a 2020 (MAPA 2022), llegando a 27.900 hectáreas cultivadas en este último año.

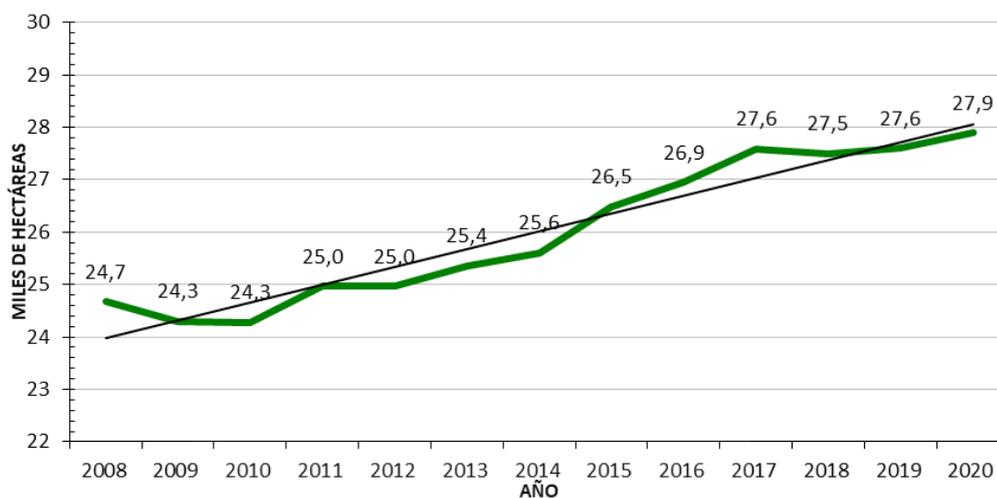


Gráfico 1. Superficie cultivada de cerezo en España entre 2008 y 2020.

En cuanto a la producción de cereza en España, se observa un aumento desde el año 2008 con una producción total de 72.500 toneladas una producción de 106.800 en el año 2020 (Gráfico 2) (MAPA, 2022).

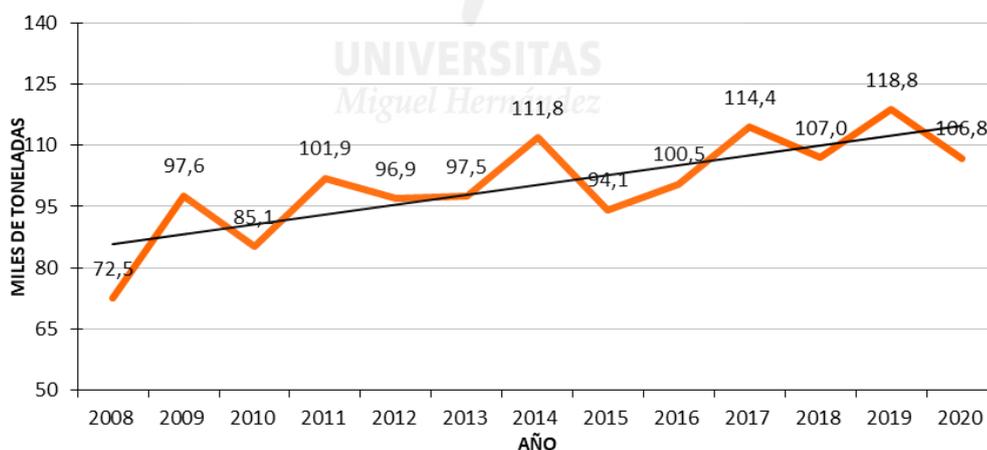


Gráfico 2. Producción de cerezo en España en el periodo 2008-2020. En cuanto a la cantidad percibida por el agricultor por cada 100 kg de cereza (Gráfico 3), en 2020 se marcó un máximo de 230,47 €, aunque en los años anteriores los precios eran visiblemente inferiores y mostrando cierta inestabilidad por la tendencia a tener recaídas, alcanzando valores mínimos en 2009 y 2018 (MAPA 2022).

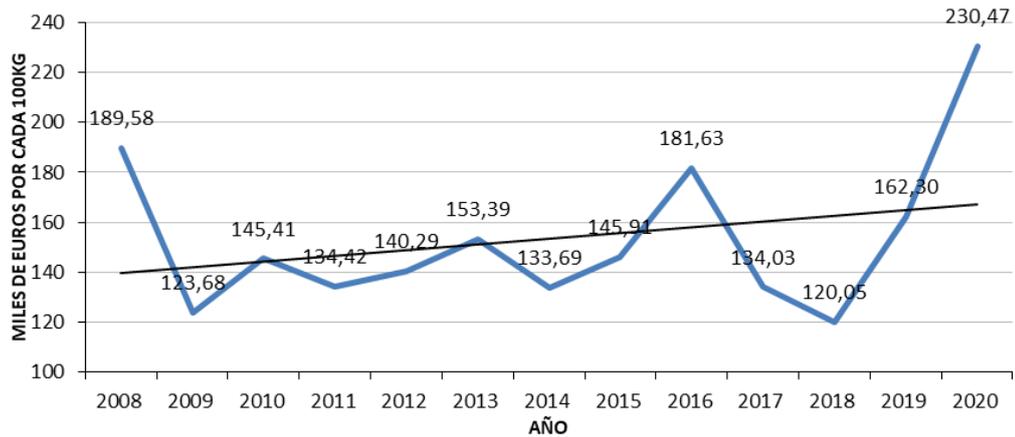


Gráfico 3. Valor del cerezo en el periodo 2008-2020.

Los cinco principales importadores de cereza a España son Rusia, China Continental, RAE de Hong Kong, Alemania y Canadá, colocándose a la cabeza de importaciones Rusia con 51.995,1 toneladas y seguido de China con 51.707,71 toneladas durante el periodo de 20 años que se muestra (Gráfico 4), suponiendo estas cantidades un 50,05 % del total de las importaciones de esta fruta. En los datos recogidos, se observa que las importaciones totales fueron de 207.200,01 toneladas de cereza a España en los últimos 20 años (FAOSTAT, 2022).

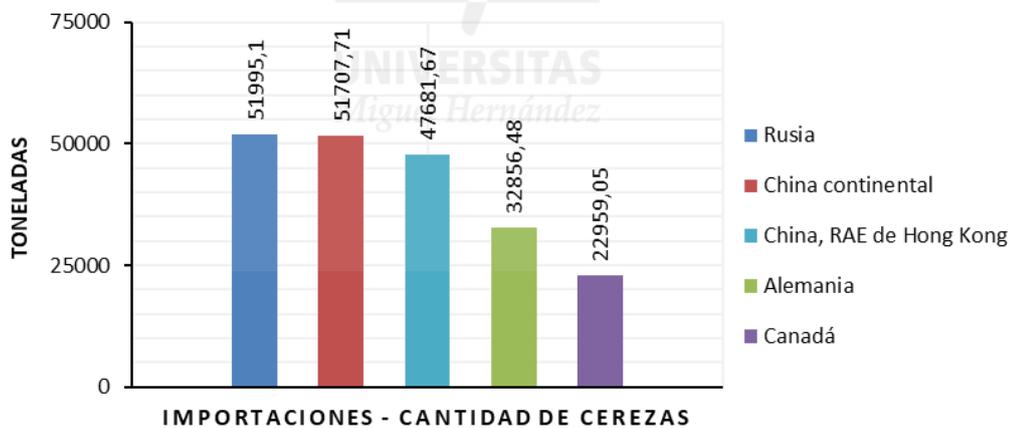


Gráfico 4. Importaciones de cereza por país en toneladas en el periodo 2000-2020.

Las importaciones por años durante el periodo 2000-2020, marca una clara tendencia en los dos últimos años de subida (Gráfico 5), aunque a lo largo de los años se observan fluctuaciones con una tendencia clara al alza hasta 2011. Produciéndose una bajada importante de las importaciones desde 2011 a 2013 pero con una dinámica de

crecimiento en los últimos años, con un máximo en la cantidad de importaciones en el último año (FAOSTAT, 2022).

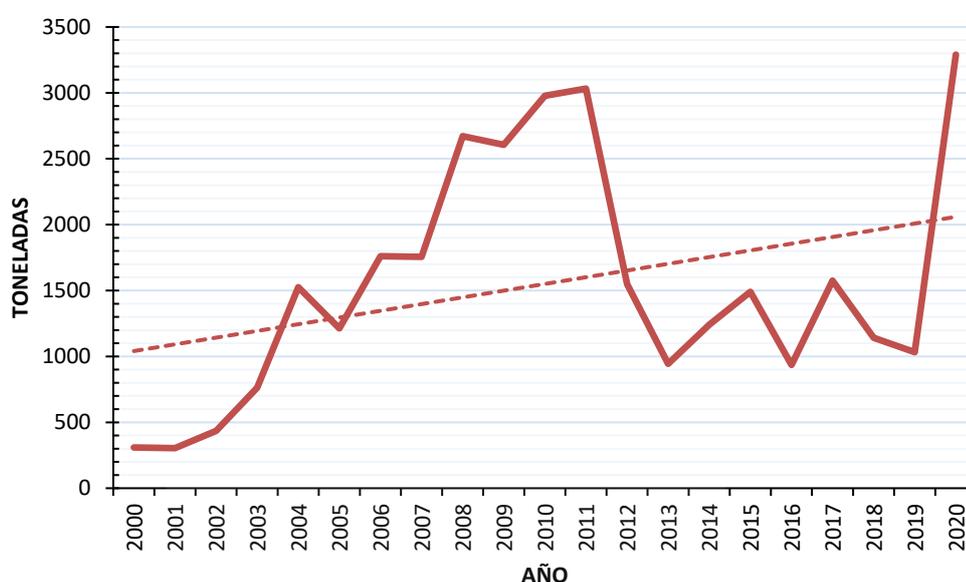


Gráfico 5. Evolución de las importaciones de cereza en toneladas entre el 2000 y el 2020.

En cuanto a exportaciones, los principales países a los que España destina la producción de cereza son Chile, EE. UU., Turquía, China y Uzbekistán, con un total de 244.024,72 toneladas en los últimos 20 años (Gráfico 6). Chile y EE. UU. son los principales exportadores, con 67.544,67 toneladas y 64.295,48 toneladas respectivamente, lo que supone un total de 54,03 % del total de cereza exportada durante el periodo que se muestra (FAOSTAT, 2022).

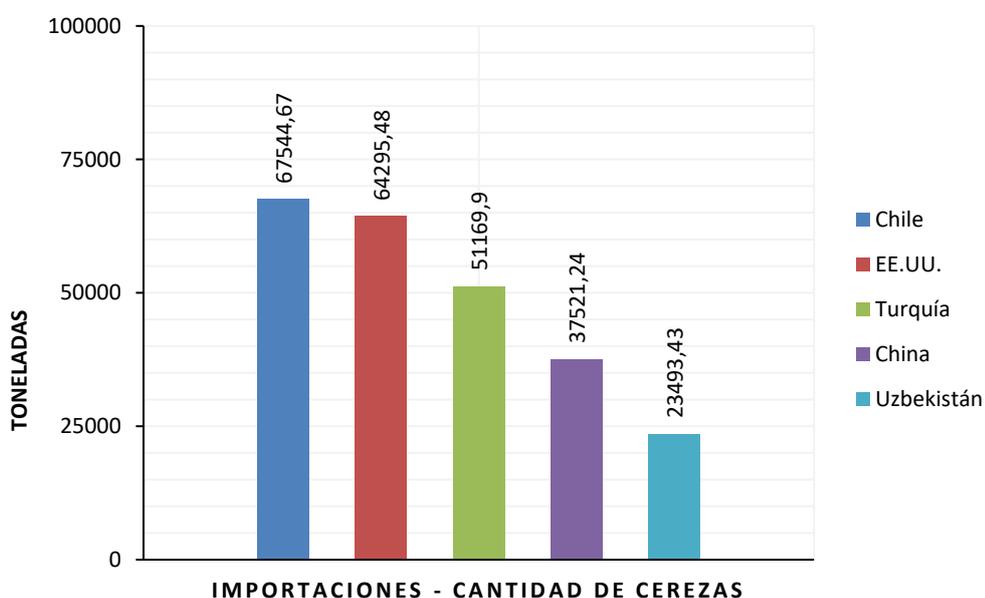


Gráfico 6. Exportaciones de cereza totales en toneladas en el periodo 2000-2020.

Respecto a la evolución de las exportaciones en los últimos 20 años (2000-2020) (Gráfico 7) se observa una caída de las exportaciones en 2006, produciéndose una recuperación de éstas en los siguientes años, aunque con fluctuaciones en los valores y una nueva baja de las exportaciones en los últimos dos años. Este análisis concuerda con los datos de importaciones, ya que en los últimos años se incrementan las importaciones y disminuyen las exportaciones. Los datos de producción de los que se dispone marcan un valor de 107 millones de toneladas de cereza producida en España en 2018 (Gráfico 7), que es el último año del que se recogen datos de producción, y 31.639 toneladas exportadas (Figura 7), los cuales indican que un 29,57 % del total de cereza producida se destina a exportación (FAOSTAT, 2022).

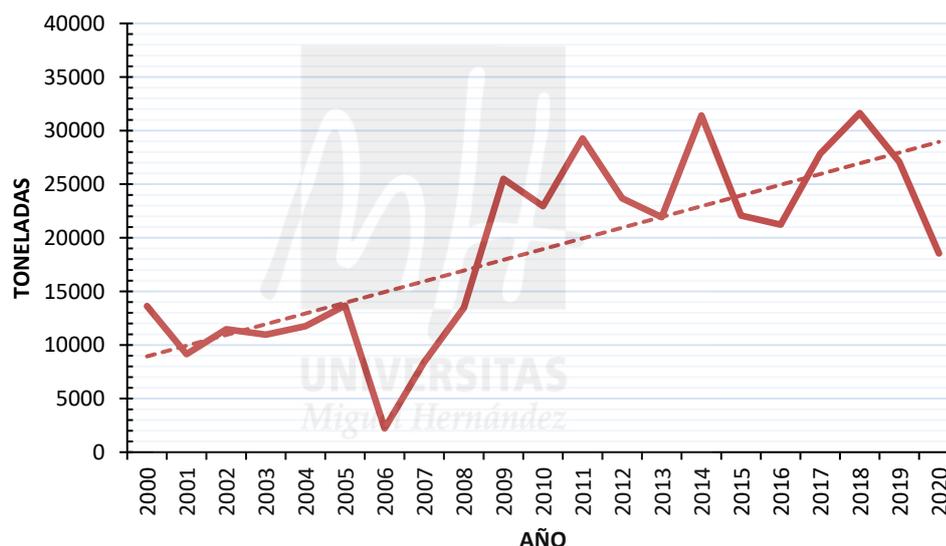


Gráfico 7. Exportaciones de cereza anuales en toneladas en el periodo 2000-2020.

1.3. Parámetros de calidad y maduración del fruto

Actualmente se está dando una importancia creciente a la calidad, sobre todo en frutas, verduras y hortalizas, derivado esto de la gran importancia que se da a la salud y al bienestar físico. Esto exige un gran esfuerzo a la hora de llevar a cabo todos los procesos que hay detrás de la producción de estos productos, haciendo hincapié en la investigación para obtener productos de calidad, en técnicas de conservación durante

el almacenamiento y comercialización y en la integración de los parámetros de calidad descritos anteriormente en el proceso de producción (López, 2003).

La calidad de la cereza se mide por parámetros externos como el color, el tamaño de la fruta por calibre entre 30 mm y 17 mm, la ausencia de defectos como pitting, que es una depresión en la superficie del fruto (Imagen 4), o podredumbres causadas generalmente por *Penicilium* (Imagen 5), *Alternaria* (Imagen 6) o *Botrytis* (Imagen 7), la frescura del pedúnculo (Imagen 8), ya que puede ocurrir una deshidratación de éste y la longitud del pedúnculo. Factores de calidad del fruto como el aroma, el sabor, la textura, la acidez o contenido en ácidos orgánicos, el dulzor o contenido en azúcares, que debe ser mayor a 14 °Brix en el momento de la recolección, pues disminuye el contenido en ácidos orgánicos y aumenta el contenido de sólidos solubles al madurar en el árbol. Todos estos parámetros definen la calidad del fruto y pueden ser determinados con técnicas experimentales definidas para cada uno de ellos (Candan, 2019).



Imagen 4: Pitting.



Imagen 5: Podredumbre por *Penicillium*.



Imagen 6: Podredumbre por *Alternaria*.



Imagen 7: *Botrytis* en cereza.



Imagen 8: Evolución de la frescura del pedúnculo.

1.4. Problemática postcosecha

La cereza presenta una tasa metabólica alta y una incidencia fúngica elevada una vez recolectada y aun teniendo una adecuada conservación y unas condiciones de almacenamiento óptimas se reduce el tiempo de almacenamiento a dos o tres semanas.

Existen diversas causas de deterioro de este fruto, como son el ablandamiento por degradación de pectinas, celulosa y hemicelulosas, los cambios de color por pérdida de clorofilas y aparición de antocianinas, las pérdidas de peso por transpiración o la decoloración del pedúnculo. Puede considerarse la podredumbre el principal motivo de deterioro, suponiendo grandes pérdidas durante el almacenamiento (Diaz-Mula et al., 2008; Santos et al., 2020).

1.5. Nuevas tecnologías en la mejora de la calidad de cereza

Debido a las dificultades que se encuentran a la hora de mantener la calidad del fruto, se presenta la necesidad de crear y estudiar nuevas técnicas para mantener las propiedades organolépticas, funcionales y nutricionales de las cerezas.

1.5.1. Conservación a bajas temperaturas

El deterioro de las cerezas, además de por su estrés fisiológico y por sus características intrínsecas, depende en gran medida de la temperatura de conservación, siendo necesario un enfriamiento a temperatura de refrigeración, lo más rápido posible, para así mantener la calidad del fruto y reducir el metabolismo del fruto y la sobre-maduración y, por tanto, la pérdida de calidad. La tasa de respiración también es posible controlarla por medio del frío, aunque no depende de este parámetro exclusivamente, es importante para mantener la tasa en niveles bajos, ya que la refrigeración ralentiza la respiración de los frutos (Kader, 2002).

1.5.2. Hidrocooling

El hidrocooling es un tratamiento de enfriamiento con agua, el cual alarga la vida útil en frutas y hortalizas, favoreciendo el retraso del proceso de senescencia y disminuyendo las pérdidas de calidad, al controlar los procesos de respiración y transpiración (Zoffoli et al., 2017).

Este método es recomendable cuando la cereza es recolectada en las primeras horas de la mañana, pues la temperatura de la cereza no debe exceder los 37 °C, pues así se mantiene la firmeza y se evita el deterioro del fruto. La temperatura de la pulpa de la cereza debe estar a 0 °C para mantener la firmeza, la calidad del pedicelo y reducir la

pérdida de humedad del fruto, pudiendo emplear para ello agua o corrientes de aire forzadas (Öztekin et al., 2000).

1.5.3. Aceites esenciales

Los aceites esenciales se emplean como un tratamiento de conservación aprovechando sus propiedades antifúngicas (Serrano et al., 2005).

1.5.4. Tratamientos térmicos

Este tipo de tratamientos influye de forma positiva en los parámetros bioquímicos, físicos, de calidad y nutritivos, pues inhiben la maduración y hacen al fruto más resistente a los daños por frío, alargando así la vida útil en almacenamiento de los frutos y, en consecuencia, el tiempo que estos pueden ser comercializados (Lurie, 1998; Paull y Chen, 2000). Este tratamiento se aplica de forma previa al almacenamiento, empleando, aire caliente, vapor o agua caliente, a temperaturas que oscilan entre los 39-58 °C en tiempos de entre 10 minutos a 12 horas, mostrando efectos positivos de este tipo de tratamientos en las propiedades funcionales y nutritivas de frutos como granada, tomate y mango (Valero y Serrano, 2010).

1.5.5. Tratamientos con calcio

En la planta, el calcio se encarga de la regulación de la permeabilidad de la membrana, procesos relacionados y del fortalecimiento de la pared celular, así pues los tratamientos con calcio es un método efectivo para aumentar la vida útil en almacenamiento y la calidad de los frutos, pues reduce el deterioro, el ablandamiento, la producción de etileno y retrasa la senescencia, pudiéndose aplicar el tratamiento en precosecha como un sistema de irrigación o por medio de pulverizaciones en la superficie del fruto (Kadir, 2004), o en postcosecha, por medio de inmersiones de los frutos en sales de calcio a elevadas concentraciones (Valero et al., 1998; Ferguson y Boyd, 2001).

1.5.6. Poliaminas

Estos compuestos son cationes orgánicos, los cuales están formados por grupos amino, siendo la espermidina (1,8-diamino-4-azaoctano), putrescina (1,4-diaminobutano), que es la más abundante, y la espermina (1,12-diamino-4,9-diazadodecano), que es la más policatiónica y tiene la capacidad de eliminar un mayor número de radicales libres y de

retrasar el deterioro de las membranas por medio de interacciones con compuestos aniónicos de las membranas, estabilizándolas (Giménez, 2015).

1.5.7. Envasado en atmósfera modificada

El envasado en atmósfera modificada consiste en mantener frutas y verduras selladas con films de plástico con una permeabilidad selectiva del oxígeno, de dióxido de carbono y del vapor de agua, regulando así la actividad respiratoria, Manteniendo unos niveles óptimos de estos gases para evitar tasas bajas de oxígeno, por debajo de su valor crítico, que darían lugar a respiración anaerobia, la cual es perjudicial para el fruto o tasas altas de dióxido de carbono, por encima de su valor crítico, que darían lugar a problemas fisiológicos. Sin embargo, tasas bajas de oxígeno reducen la respiración y, por tanto, la degradación de almidón y el consumo de azúcar, reduciendo el deterioro tisular y, en consecuencia, alargando la vida útil en almacenamiento. Del mismo modo, altos niveles de dióxido de carbono actúan como antagonista del etileno, impidiendo su síntesis catalítica, retardando la maduración y la pérdida de calidad del fruto (Giménez, 2015).

1.5.8. Recubrimientos comestibles

Se definen los recubrimientos comestibles como una delgada capa de material que recubre la superficie del alimento, pudiendo ser consumida junto con el alimento de forma completa. Estos recubrimientos modifican la atmósfera interna, aumentando la concentración de dióxido de carbono y disminuyendo la de oxígeno (Giménez, 2015).

Se emplean recubrimientos a base de biopolímeros como el almidón, la celulosa, proteínas, procariotas marinos, hidroxibutirato e hidroxivalerato, entre otros (Cha y Chinnan, 2004).

2. OBJETIVOS

La cereza es un fruto muy perecedero con una reducida vida útil y una tasa elevada de respiración. La principal causa de esta escasa vida útil es la aparición de podredumbres que compromete la comercialización y venta de esta fruta.

A pesar de los avances tecnológicos introducidos en los procesos de comercialización, los niveles de productos rechazados siguen siendo muy elevados, por lo que las estrategias empleadas siguen sin frenar la pérdida de calidad. En este trabajo

se pretende aplicar JaMe en precosecha para evaluar el efecto que pueda tener sobre la calidad de la cereza tanto en el momento de la recolección como durante la posterior conservación.

Para cumplir con este objetivo general se evaluarán distintos parámetros relacionados con la calidad general de los frutos, así como sobre los compuestos bioactivos más representativos y la actividad antioxidante de las cerezas de la variedad 'Prime Giant'.

Los parámetros a evaluar serán:

- Evolución de la producción de CO₂.
- Evolución de la pérdida de peso.
- Evolución de la textura del fruto.
- Evolución del color de las cerezas.
- Evolución del deterioro del pedúnculo.
- Evolución de la acidez y de los sólidos solubles.
- Evolución de la Actividad Antioxidante Total.
- Variación del contenido en Polifenoles Totales.
- Evolución del contenido en antocianos.

Los resultados nos permitirán conocer el impacto de los tratamientos precosecha con JaMe aplicados desde la floración de esta especie vegetal sobre la calidad fisicoquímica, nutritiva y funcional de los frutos una vez recolectados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material vegetal

Para la realización de este Trabajo Final de Grado se emplearon cerezas de la variedad cv. Prime Giant (*Prunus avium* L.), cultivadas en Alcoy, todo ello supervisado por la empresa Mas de Roc Coop. Agrícola.

3.2. Diseño experimental

Para llevar a cabo este estudio se seleccionaron y etiquetaron 18 cerezos, haciendo una clasificación en 2 lotes de 9 árboles para cada tratamiento uno de los dos

tratamientos propuesto: agua destilada para el control y jasmonato de metilo (JaMe) 0,5 mM.

El tratamiento se aplicó en las cuatro etapas principales de desarrollo del fruto: botón floral, plena floración, endurecimiento del hueso y cambios en el color. Los frutos se recolectaron según criterios de madurez óptima determinados por los técnicos de la finca, momento en el cual los frutos se transportaron hasta el Departamento de Tecnología Agroalimentaria de la UMH, con la consiguiente selección de la fruta sin fisiopatías ni daños. Tras la selección, las cerezas se agruparon en lotes de 240 cerezas por tratamiento, suponiendo un total de 480 frutas. Se llevaron a cabo 4 muestreos en condiciones de refrigeración a 2 °C, separando los frutos en 4 muestras diferentes de 60 unidades cada una, suponiendo cada una de estas muestras un día de muestreo cada una, y, a su vez, se hizo una división de 20 cerezas para realizar las técnicas por triplicado para cada tratamiento y día de muestreo (3 réplicas de 20 cerezas por día y tratamiento) (Diagrama 1). Por otro lado, se seleccionaron otras 60 cerezas de ambos tratamientos, suponiendo un total de 120 cerezas, para evaluar el día 0 y establecer así las condiciones en que las distintas cerezas tratadas en precosecha llegaron al laboratorio en el día de la cosecha, antes de su almacenamiento.

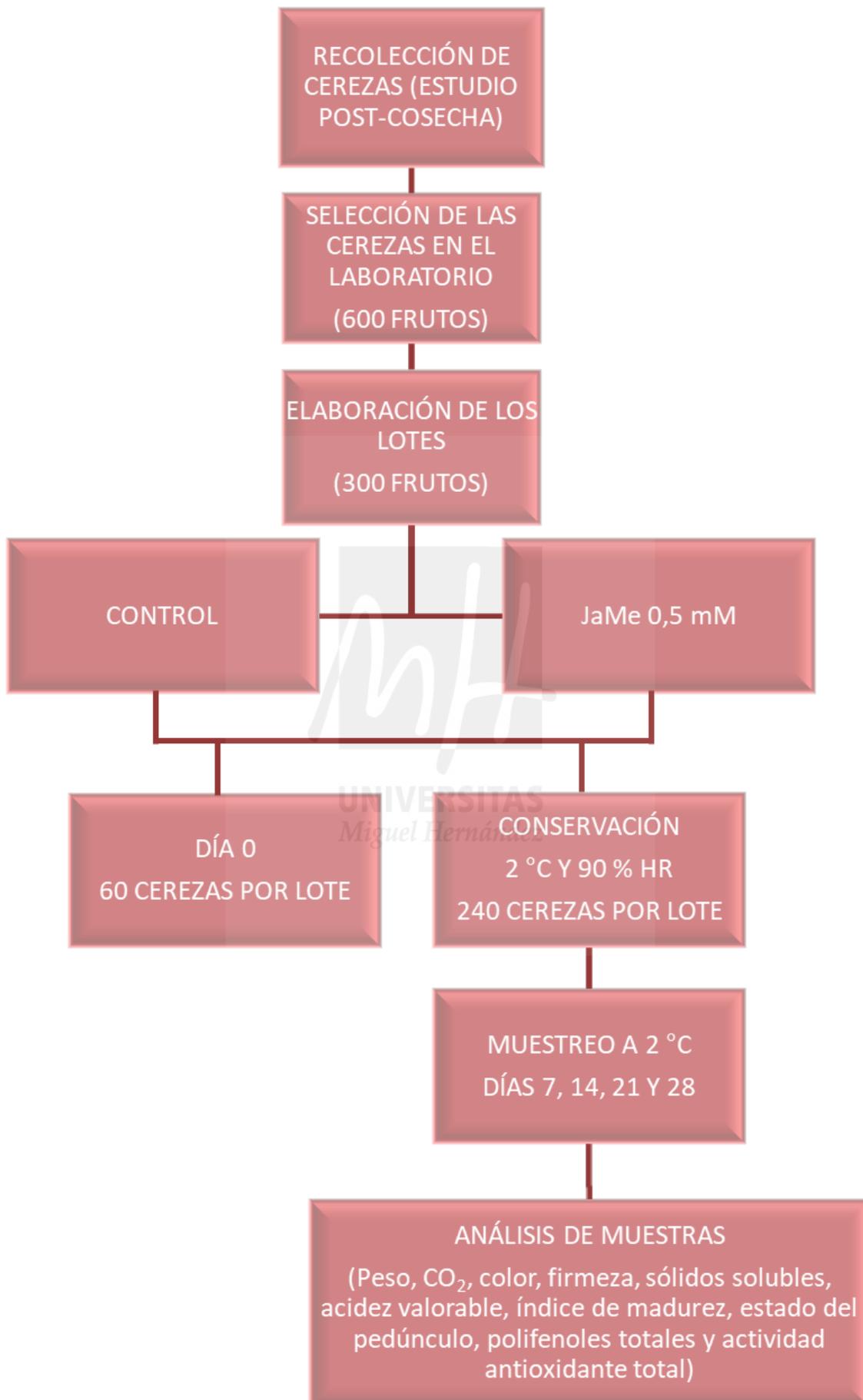


Diagrama 1. Diseño experimental realizado en el estudio de la aplicación precosecha con JaMe en cerezas cv. Prime Giant.

Estas cerezas fueron sometidas a un almacenamiento de 28 días en refrigeración, siendo evaluadas de forma semanal y midiendo en ellas los diferentes parámetros relacionados con la madurez y senescencia del fruto. En cada muestreo, y tras llevar a cabo la medición de los parámetros no destructivos como son la pérdida de peso, el color, la tasa de respiración y el estado del pedúnculo, se procedió a la medición de la textura, realizándose un posterior corte de la cereza en dos mitades iguales, obteniendo muestras homogéneas de 40 mitades por réplica de cada tratamiento. La mitad de las porciones fue sometida a ultracongelación a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, para, posteriormente medir los niveles de compuesto bioactivos, es decir, polifenoles totales, y actividad antioxidante, y la otra parte de las mitades se empleó para la evaluación del contenido en sólidos solubles y acidez valorable, empleando estos dos parámetros para determinar el índice de madurez.

3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

3.3.1. Pérdida de peso

Todas las muestras separadas en lotes se pesaron el mismo día de la selección y en cada uno de los muestreos semanales llevados a cabo, tomando grupos de 20 cerezas por réplica. Para ello se empleó una balanza de tipo Radwag con dos decimales de precisión ($\pm 0,01$). Los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm ES de la pérdida de peso en relación con el peso inicial de cada réplica ($n = 3$).

3.3.2. Determinación de CO₂

La tasa de respiración de las cerezas se evaluó por medio del sistema estático, determinando la cantidad de CO₂ producida por los frutos (Kader, 1992). Para esta determinación se introdujeron las 20 cerezas en tarros de cristal de 0,5 litros, con cierre hermético y una válvula de un material plástico en la tapadera a través de la cual es posible extraer los gases del recipiente con una jeringuilla. Las cerezas permanecieron en el recipiente durante 1 hora y tras ese tiempo se extrajeron dos jeringuillas de 1 mL, analizándose cada tratamiento por triplicado, tanto el control como el JaMe ($n = 3$). Posteriormente, para determinar el CO₂ se inyectaron los gases contenidos en las

jeringuillas en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC 14A), calculando la concentración de CO₂ y comparando el área de integración del pico de la muestra con la de los patrones de concentración conocida empleados. Los resultados se expresaron con la media de la tasa de respiración ±ES y se expresaron como mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

Las condiciones de trabajo del estudio fueron:

- Patrón empleado: Aire atmosférico (0,036 %).
- Temperatura del horno: 50 °C.
- Temperatura del inyector: 115 °C.
- Temperatura del detector: 115 °C.
- Flujo de helio como gas portador: 16 mL/mm

3.3.3. Evaluación del color

Para la evaluación del color se empleó el sistema CIEL*a*b*, empleando un colorímetro triestímulo Konica Minolta modelo CRC 400 (Imagen 9). La medición se realizó por triplicado, dos disparos en un lado de la cereza y uno por el otro lado del fruto, en ambos tratamientos (n = 3).



Imagen 9: Colorímetro empleado para la medición de los parámetros de color y calibrador.

El espacio CIEL*a*b* es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano y está definido por tres coordenadas. El componente de luminosidad (L^*) que oscila entre 0 y 100 y se desplaza entre el blanco y el negro, la coordenada a^* rojo-verde, desplazándose los valores negativos hacia el

verde ($-a^*$) y los positivos hacia el rojo ($+a^*$), y la coordenada b^* amarillo-azul que pueden estar comprendidas entre +127 y -128, desplazándose los valores negativos hacia el azul ($-b^*$) y los positivos hacia el amarillo ($+b^*$) (Minolta, 1994).

Los valores se expresaron con las tres coordenadas, L^* , a^* y b^* , que representan un punto en el espacio tridimensional, presentándose en este estudio de forma combinada con el ángulo hue^* , que determina el tono y los valores oscilan entre 0° y 360° , en unidades de 30° (Nomenclatura IRANOR, 1981).

3.3.4. Determinación de la firmeza

Para la evaluación de la firmeza se empleó un texturómetro conectado a un ordenador para procesar los datos recopilados por el equipo de medida, el cual ejerció una presión de deformación del 5 % con un disco plano de acero montado sobre el diámetro ecuatorial de cada fruto, con una velocidad de descenso de 20 mm min^{-1} .

Se realizó una medida en cada fruto con un total de 20 medidas realizadas por cada réplica de cada uno de los tratamientos ($n = 3$). Los resultados se expresaron como la relación entre la fuerza aplicada para la deformación requerida y la distancia de dicha deformación en N mm^{-1} .

3.3.5. Evaluación de los sólidos solubles totales (SST)

La evaluación de sólidos solubles totales se evaluó por medio de refractometría del zumo de cereza filtrado extraído de las 20 mitades de cereza, realizándose por duplicado ($n = 3$). Las mitades de cereza de las tres réplicas se trocearon por separado, se envolvieron en una tela de filtro de algodón y con la ayuda de un mortero, se extrajo manualmente el zumo que se filtró por la tela. Posteriormente, con la ayuda de una pipeta Pasteur se midieron los $^\circ\text{Brix}$ (g de sacarosa por cada 100 g^{-1}) en el refractómetro (**Imagen 10**), previo cero con agua destilada y a 20°C .



Imagen 10. Refractómetro digital empleado.

Esta técnica se basa en la diferencia entre los índices de refracción del agua destilada y el medio problema con una concentración específica de sustancias disueltas, no estableciendo el nivel de azúcares estrictamente, si no la cantidad de sólidos solubles, los cuales se relacionan con la cantidad de azúcares y la madurez de las cerezas.

Los resultados se expresaron como la media \pm ES.

3.3.6. Determinación de la acidez valorable total

Para la determinación de acidez se empleó 1 mL del zumo de cereza extraído y anteriormente descrito y se hizo una dilución en 25 mL de agua destilada, todas las repeticiones por duplicado, realizando una valoración automática con un valorador Methrom modelo 785DMP Tritino (Imagen 11), el cual nos permitió obtener el pH inicial y una valoración con NaOH 0,1 H con un punto final en pH 8,1.



Imagen 11. Valorador automático Methrom.

Los resultados se expresaron en g equivalentes de ácido málico por cada 100 g de muestra, expresándose el resultado final como la media \pm ES, empleando la fórmula siguiente:

$$Acidez\ valorable\ total = 6,7 \times V_1 \times f \times N \times \frac{100}{P}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH.

V₁ = Volumen del NaOH 0,1 N utilizado en la valoración.

f = Factor del NaOH.

P = Peso de la muestra en gramos.

3.3.7. Evaluación del pedicelo

Para la evaluación de la calidad del pedicelo se realizó una inspección visual de cada uno de ellos previa a su separación del fruto. Se evaluó el pardeamiento que provoca la deshidratación y la oxidación del pedúnculo, empleando una escala de 0 a 4, siendo el significado de cada valor el siguiente:

- 0: Sin daños.
- 1: Menos de un 25 % de superficie pardeada.
- 2: Entre 25 y 50 % de superficie pardeada.
- 3: Entre 51 y 75 % de superficie pardeada.
- 4: Más de un 75 % de superficie pardeada.

Para la expresión numérica de estos valores de incidencia de pardeamiento en el pedúnculo se empleó la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum \text{Nivel de pardeamiento} \times \text{Número de frutos con ese nivel de pardeamiento}}{\text{Número de frutos total}}$$

Estos resultados se expresaron como la media \pm ES de 3 evaluaciones de 20 frutos (n = 3) por cada tratamiento.

3.3.8. Contenido en antocianinas totales

Las antocianinas totales fueron evaluadas en las cerezas siguiendo el método descrito por García-Pastor et al., (2020). Para ello 5 gramos del fruto se homogeneizaron con 15 mL de metanol: ácido clorhídrico: agua (79: 1: 20, v / v / v) y luego se centrifugaron a 10.000 g durante 10 min a 4 °C. Se midió la absorbancia a 520 nm en el sobrenadante (por duplicado para cada muestra) y el contenido total de antocianinas se expresó como mg 100 g⁻¹ de equivalentes de cianidina 3-O-glucósido y son la media \pm ES de las

determinaciones realizadas por duplicado en cada una de las extracciones realizadas en cada muestra (n = 3).

3.3.9. Contenido en polifenoles totales

Para la determinación de polifenoles totales se empleó el método descrito por Lezoul et al. (2020), basado en la medición de absorbancia comparando los valores con la recta de calibrado patrón de concentraciones conocidas de polifenoles totales, basándonos en este caso en el ácido gálico.

Para la preparación de las muestras se homogeneizaron las 20 mitades de cereza de cada extracción de los lotes con una mezcla de metanol/agua 80:20 con FNa al 1 %, realizando una evaluación por duplicado. En cada tubo se añadieron 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu 1:10, añadiendo posteriormente 200 μ L de la extracción anterior de cereza. Del mismo modo, en cada uno de los tubos se añadió el agente extractor hasta 500 μ L, con una posterior agitación, dejando reposar 2 minutos, frenando la reacción con 2 mL de Na_2CO_3 , volviéndose a agitar e introduciendo los mismos tubo en un baño a 50 °C.

Por último, se vertieron las muestras en cubetas, midiendo la absorbancia por duplicado de cada muestra a 760 nm en un espectrofotómetro modelo Uvikon XS Bio-Tek Instruments y expresando los resultados en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso en fresco, con el resultado expresado como la media \pm ES.

3.3.10. Evaluación de la actividad antioxidante hidrosoluble total

La actividad antioxidante total se basó en la generalización de radicales ABTS accionados por enzimas peroxidasa, realizando una extracción de cada una de las réplicas de cada día de muestreo con tampón fosfato 50 mM. Para la determinación de AAT se realizó un muestreo en microcubetas por duplicado, añadiendo 955 μ L de tampón glicina 50 mM a pH 4,5, 25 μ L de ABTS 10 mM y 25 μ L de H_2O_2 1 mM, agitando la muestra y colocándola en el espectrofotómetro, empleando en este caso una longitud de onda de 730 nm. Seguidamente, se hizo un cero para, posteriormente, añadir 25 μ L de peroxidasa 10 μ L, agitándose y midiendo la absorbancia, cuyos valores son debidos a la coloración de los radicales ABTS generados. Posterior a esto, se añadieron 25 μ L del extracto de cereza y se realizó otra medida de la absorbancia a los 60 segundos.

La actividad antioxidante total se determinó por diferencia de las dos medidas tomadas, siendo esta proporcional a la cantidad de antioxidantes presentes en la muestra, en la cual se genera una desaparición de los radicales ABTS previamente generados y una disminución del color azul, utilizando para la expresión de resultados en la recta de calibrado las cantidades patrón de trolox. Dichos resultados se expresaron como la media \pm ES, expresándose en mg equivalente de trolox por cada 100 g de cerezas frescas (Cano et al. 1998).

3.4. Análisis estadístico

Este estudio se diseñó de manera aleatoria, llevándose a cabo un análisis de la varianza (ANOVA), empleando el software SPSS v. 20.0 para Windows para el procesado de datos. La comparación de las medias \pm ES se realizó empleando la *t*-Student para un valor de $P < 0,05$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Peso medio de los frutos en el momento de la cosecha

El peso y tamaño de los frutos es una variable importante para el consumidor, pues, aunque subjetiva, éste es quien fija estos parámetros de calidad (Guerandain, F. y Manavella, F., 2003).

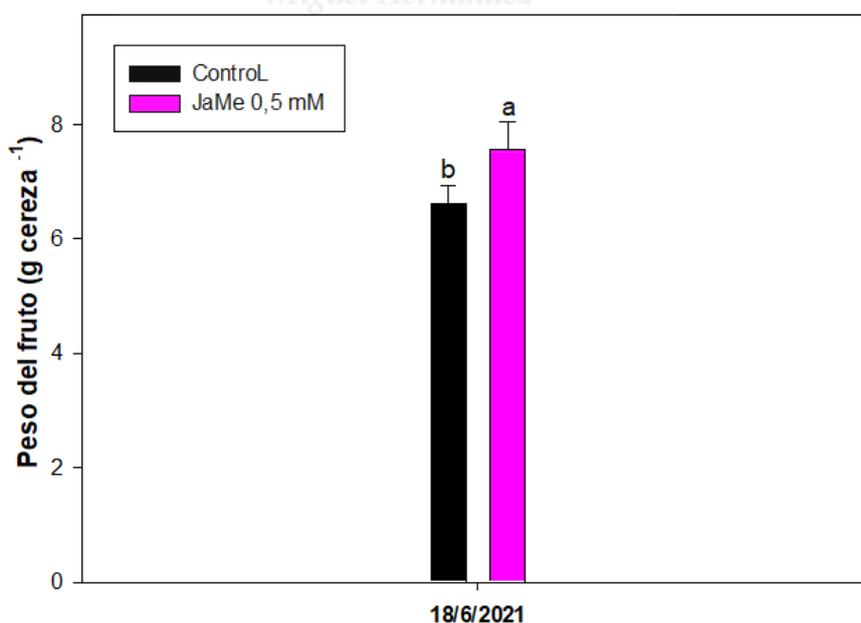


Figura 1. Peso medio (g) de las cerezas 'Prime Giant' tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

Tras evaluar el efecto de los tratamientos precosecha sobre el peso del fruto (Figura 1), pudimos comprobar como los tratamientos con JaMe fueron exitosos a la hora de incrementar significativamente ($P < 0,05$) el peso del fruto y con ello el tamaño general de la cereza. De hecho, los valores medios alcanzados en los frutos control y tratados con JaMe en el momento de la cosecha fueron de 6,61 g y 7,56 g por fruto respectivamente.

Con relación a los resultados obtenidos, Martínez-Esplá et al. (2014) concluyeron en su estudio que los frutos tratados con JaMe aumentó el tamaño de éstos, aunque este efecto varió según el cultivar y la concentración a la que se aplicó el tratamiento.

4.2. Evolución de la pérdida de peso

La pérdida de peso es debida a la pérdida de agua por deshidratación tras la recolección, ocasionando una pérdida de la turgencia en el fruto, lo cual compromete la calidad de la materia prima, provocando que esta sea más susceptible de sufrir ataques microbianos (Crisosto et al., 1992).

Al evaluar los resultados obtenidos con respecto a la pérdida de peso en cerezas cv. Prime Giant, se observó una clara tendencia creciente a lo largo del periodo de almacenamiento como era de esperar en estos frutos (Figura 2). Aunque no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los muestreos, sí se pudo comprobar que, tras 14 días de almacenamiento a 2 °C, se encontró una menor pérdida de peso en los frutos que fueron tratados en precosecha con JaMe 0,5 mM, observándose en ese punto diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los frutos tratados con respecto a los frutos control con valores de $5,61 \pm 0,09$ y $4,23 \pm 0,12$ % para las cerezas control y tratadas con JaMe respectivamente.

Las pérdidas de peso que se producen pueden ser debido a la difusión de agua desde la superficie del fruto, a actividades metabólicas como rupturas celulares por respiración y a los daños por frío al almacenar a bajas temperaturas (Habibi y

Ramezianian, 2017). En este sentido, se ha descrito la capacidad del JaMe para mantener la permeabilidad de las membranas, así como su integridad, lo que podría estar reduciendo la difusión del agua que provocan la ruptura celular (García-Pastor et al., 2019; Giménez et al., 2019)

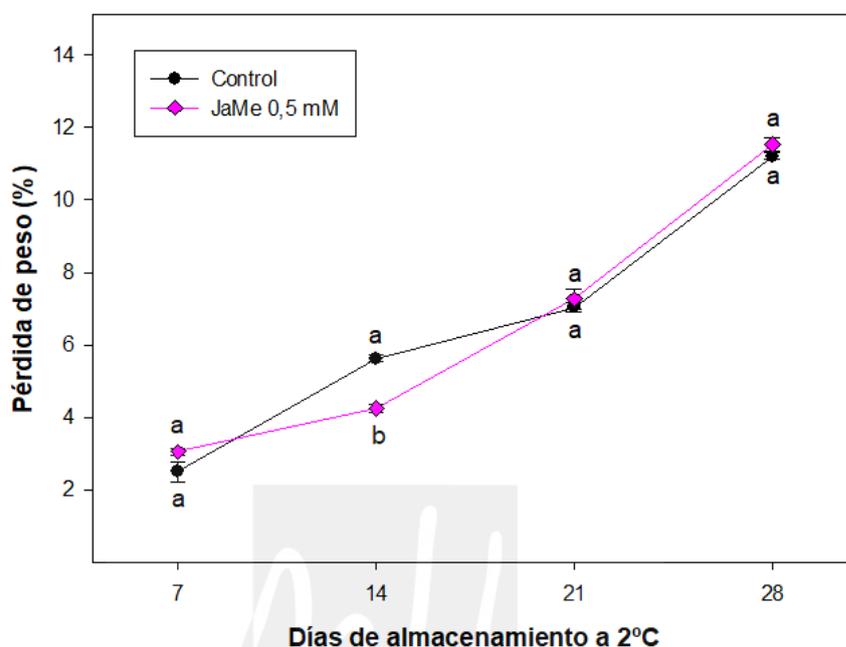


Figura 2. Evolución de las pérdidas de peso (%) en cerezas ‘Prime Giant’ controles y tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

4.3. Firmeza

La firmeza es un parámetro que se ve afectado en la postcosecha, comprometiendo la calidad del fruto resultando en la aparición de podredumbres que ocasionan una pérdida de valor en el mismo (Valero y Serrano, 2010).

Con respecto a la firmeza se pudo comprobar que desde el momento de la cosecha se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los frutos sometidos a tratamiento y aquellos que no fueron tratados con JaMe (Figura 3). A lo largo del almacenamiento se comprobó que los mayores niveles de firmeza se mantuvieron en los frutos tratados con JaMe con valores significativamente superiores con respecto al control.

Según estudios consultados el mantenimiento de la firmeza en las cerezas se atribuye a una menor actividad enzimática en la degradación de la pared celular provocado por el tratamiento con JaMe (Sayyari et al., 2011), el cual incide en una inhibición de la actividad de estas enzimas (Giménez et al., 2016).

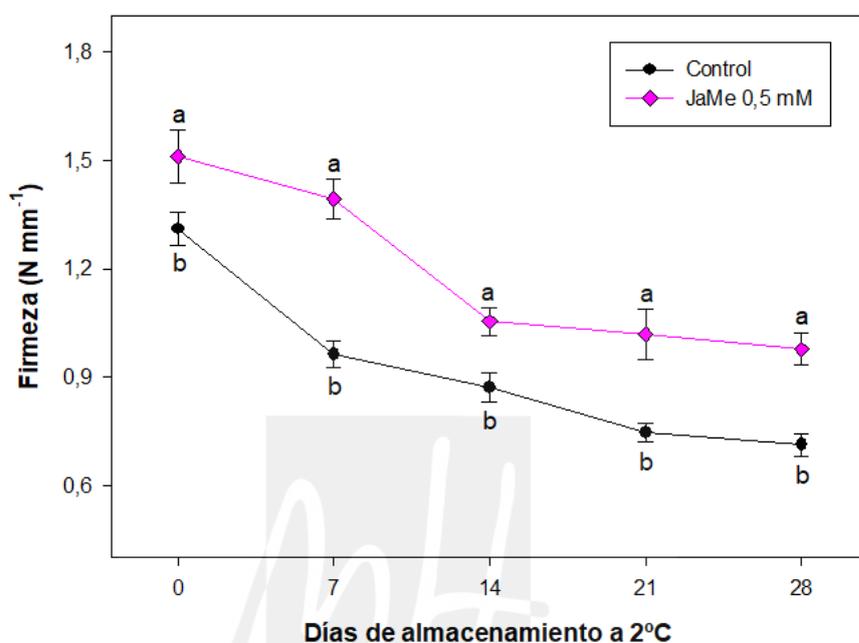


Figura 3. Evolución de la firmeza (N mm^{-1}) en cerezas 'Prime Giant' controles y tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

4.4. Luminosidad y ángulo Hue*

Al estudiar los valores obtenidos de luminosidad (Figura 4), se observó como los frutos tratados en precosecha con JaMe mostraron mayores niveles de luminosidad a lo largo de todo el periodo de almacenamiento con diferencias significativas ($P < 0,05$), pues los frutos control presentaron una coloración más oscura que los frutos tratados con JaMe. Esta variación de color se mantuvo durante todo el periodo de estudio, ya que en todo momento los frutos tratados con JaMe mostraron unos valores de luminosidad claramente superiores.

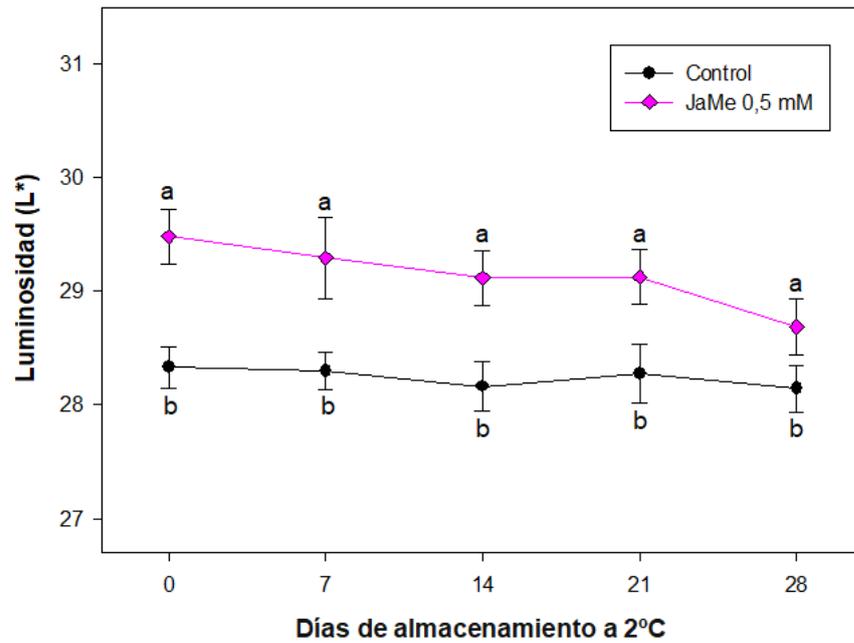


Figura 4. Evolución de la luminosidad (L^*) en cerezas 'Prime Giant' controles y tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

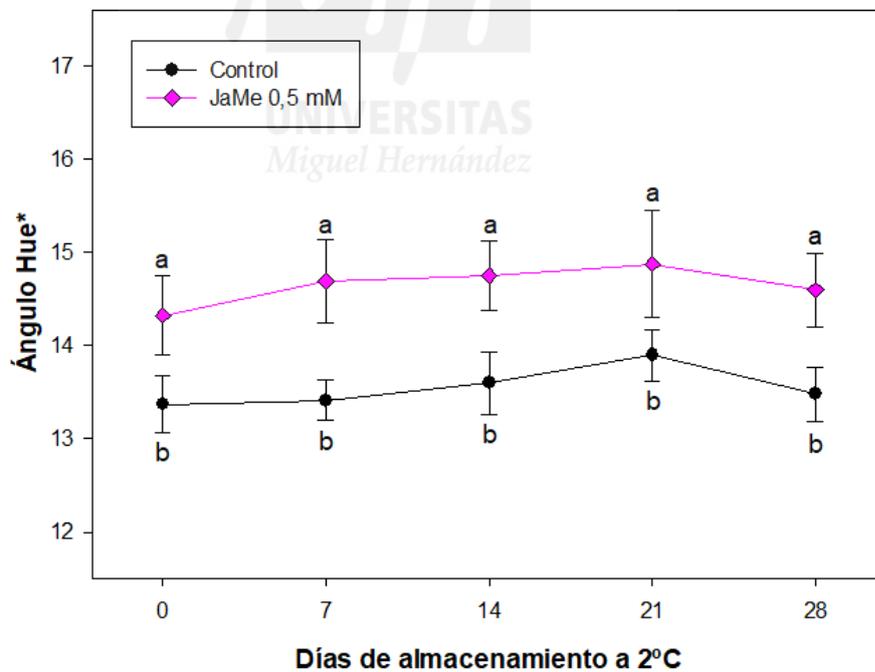


Figura 5. Evolución del ángulo hue* de las cerezas 'Prime Giant' tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES

de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

Los valores más elevados del parámetro de color L^* y del ángulo hue^* en los frutos tratados con JaMe nos estaría indicando una tonalidad más clara y brillante que correspondería con un estado de madurez más retrasado con respecto a los frutos control (Valero y Serrano, 2010).

4.5. Tasa de respiración

La tasa de respiración nos ayuda a evaluar en gran medida el metabolismo de los frutos, así pues, en el caso de la cereza, cuanto mayor sean los valores de este parámetro, mayor será la actividad metabólica que estarían experimentando los tejidos del fruto (Giménez, 2015).

Tras realizar la determinación de CO_2 , se observó un incremento tanto en los frutos control como en aquellos sometidos al tratamiento con JaMe a lo largo de todo el periodo de almacenamiento a 2 °C (Figura 6). No se observaron diferencias significativas durante el periodo de almacenamiento en los frutos tratados con JaMe con relación a los frutos control.

En otros estudios se ha observado una disminución de la respiración en los frutos tratados con JaMe, que puede ser debida a un menor metabolismo celular, trayendo consigo un retraso en el proceso de senescencia (Giménez et al., 2016; García-Pastor et al., 2019).

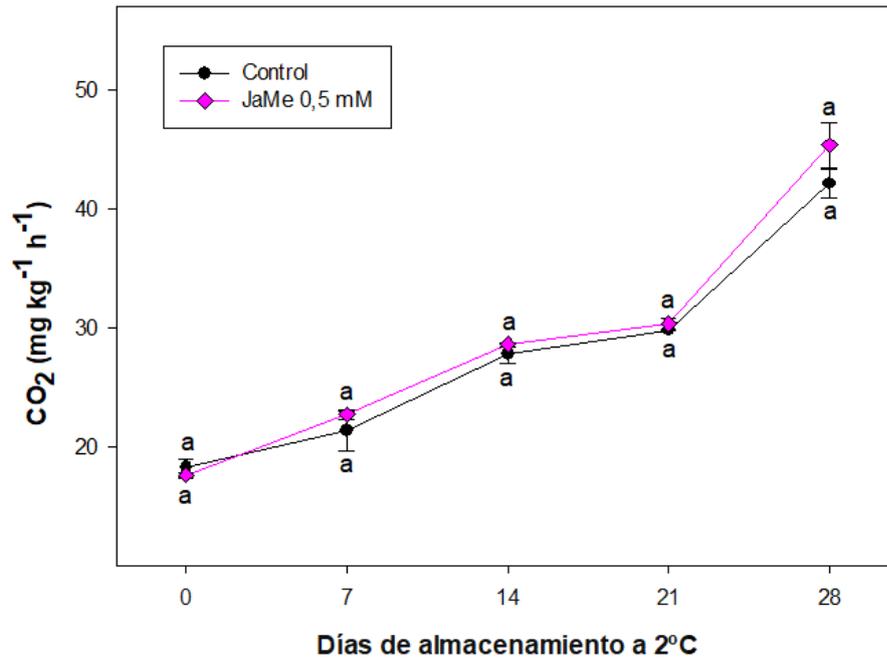


Figura 6. Evolución de la tasa de respiración ($\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) de las cerezas ‘Prime Giant’ tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

4.6. Sólidos solubles

La concentración de sólidos solubles aumenta a medida que crece y madura el fruto, suponiendo el aumento de estos parámetros un aumento en los °Brix (Giménez, 2015).

Desde el inicio del almacenamiento hasta transcurridos 7 días no se observaron diferencias significativas entre los frutos control y los frutos tratados con JaMe (Figura 7). Sin embargo, tras 14 días de almacenamiento, mientras que la concentración de °Brix se mantuvo prácticamente constante en el caso de los frutos control, se observó un aumento significativo ($P < 0,05$) en la concentración de sólidos solubles en los frutos tratados con JaMe alcanzándose, un valor máximo de $19.98 \pm 0.06 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ una vez transcurridos 28 días de almacenamiento refrigerado.

Al retrasar los procesos de maduración y senescencia con la aplicación de JaMe, es posible un retraso en el consumo de sólidos solubles con el almacenamiento en frío

(Selcuk y Erkan, 2015). De hecho, Gonzalez-Aguilar et al., (2000), concluyeron que se produjo un aumento de los sólidos solubles tras la aplicación de JaMe en mango.

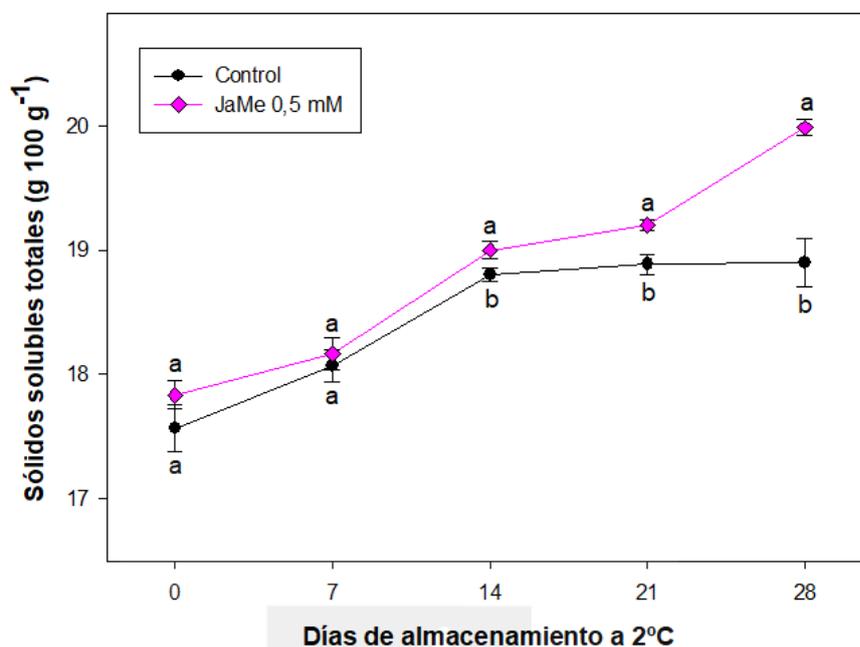


Figura 7. Evolución de la concentración de sólidos solubles ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) de las cerezas 'Prime Giant' tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

4.7. Acidez valorable

Del análisis global de la acidez del fruto se comprobó que, al contrario que los sólidos solubles, ésta disminuye con el tiempo de almacenamiento, manteniéndose una mayor concentración durante más tiempo en el caso de los frutos sometidos a tratamiento con JaMe (Figura 8).

Durante la maduración hay una disminución del contenido en ácidos orgánicos debido a la utilización de estos ácidos durante la respiración o su conversión en azúcar (Giménez, 2015).

Tras estudiar este parámetro, cabe destacar que, al inicio del estudio en el día 0, no se observaron diferencias significativas entre los frutos tratados con JaMe y controles. Un hallazgo interesante se puede observar durante la primera semana de almacenamiento, donde los valores de acidez en los frutos tratados con JaMe se

mantuvieron prácticamente constantes y con diferencias significativas respecto a los frutos control. Sin embargo, los frutos controles mostraron una disminución bastante más pronunciada en su acidez. Este hecho es un claro indicativo de que el tratamiento con JaMe fue exitoso retrasando la maduración de los frutos durante su almacenamiento postcosecha. Estas diferencias no se mantuvieron durante el almacenamiento posterior. No obstante, en el último día de muestreo, se observaron valores de acidez significativamente superiores ($P < 0,05$) en los frutos tratados con JaMe con respecto a las cerezas control, presentando valores de 0.83 ± 0.03 y de $0.78 \pm 0.01 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ respectivamente.

Geransayeh et al. (2015) concluyeron que las fresas tratadas con JaMe en postcosecha mostraron unos niveles más altos de acidez al finalizar el almacenamiento en frío respecto al control. Esto puede ser debido a que el metabolismo celular se encuentre retrasado, al emplearse el JaMe para suministrar energía, retrasando así el consumo de los ácidos orgánicos en la respiración celular, incrementando los niveles de estos compuestos a lo largo del periodo de almacenamiento en frío (Aghdam y Fard, 2017; Faizy et al., 2021).

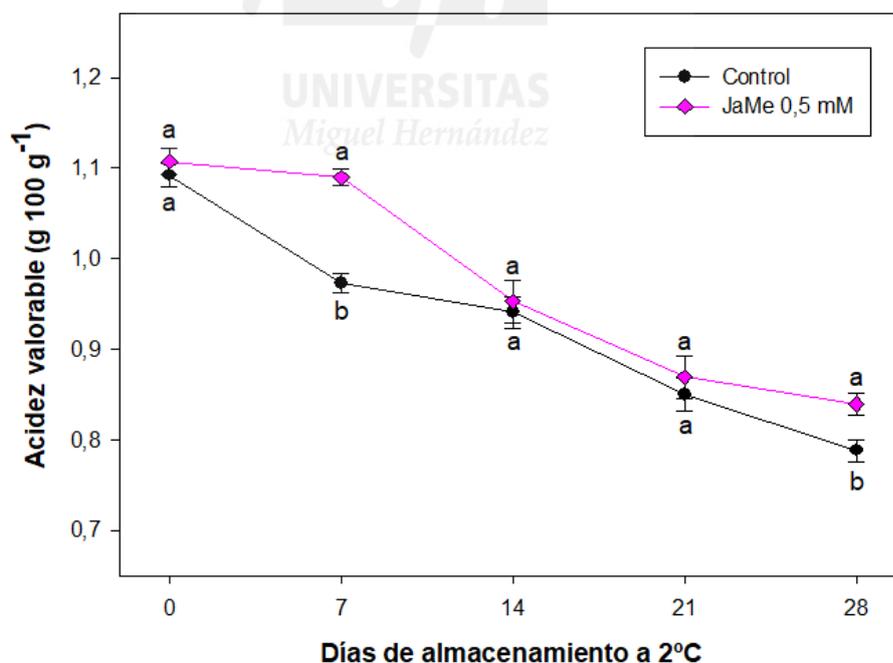


Figura 8. Evolución de la acidez valorable ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) de las cerezas 'Prime Giant' tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos

son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

4.8. Antocianinas

Las antocianinas, responsables del color rojo-morado de los frutos y tienden a aumentar su concentración en las cerezas a medida que evoluciona la maduración y senescencia de este fruto (Giménez, 2015).

El estudio del contenido en antocianos mostró diferencias significativas ($P < 0,05$) durante todo el periodo de almacenamiento, siendo la concentración de antocianos significativamente inferior en los frutos tratados con JaMe en comparación con los frutos control, desde el momento de la recolección hasta el final del almacenamiento (Figura 9). Es decir, los tratamientos con JaMe fueron eficaces a la hora de retrasar la acumulación de estos pigmentos con actividad antioxidante. Así, al final del estudio, los valores más bajos de antocianinas se observaron en los frutos tratados con JaMe, donde se registraron unos valores de concentración de antocianos de $61,96 \pm 6.42 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$. En este día de muestreo los niveles de antocianinas totales para los frutos control fueron de $77,15 \pm 5.18 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

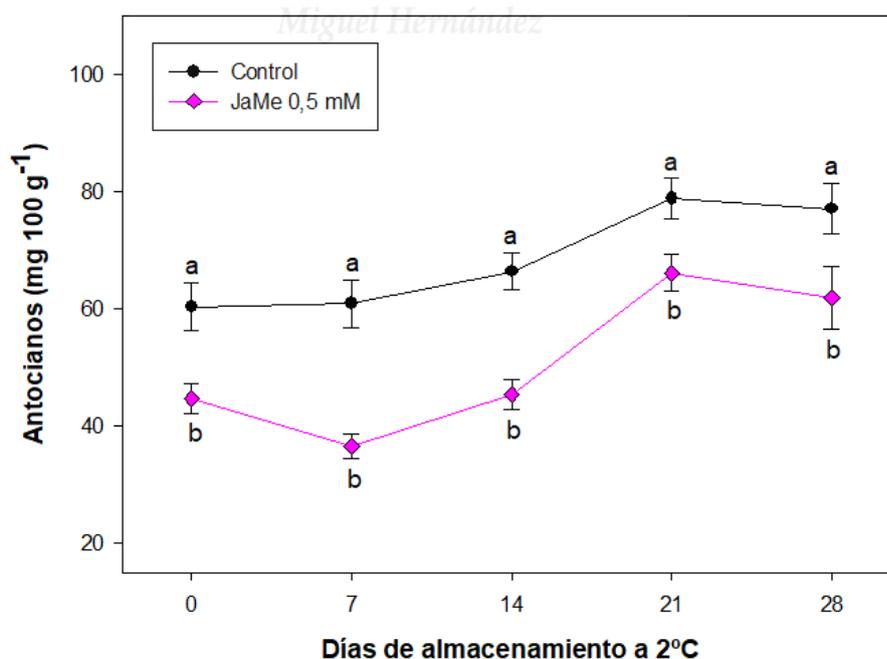


Figura 9. Evolución de los antocianos ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) de las cerezas 'Prime Giant' tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

Diferentes estudios han demostrado que en distintos frutos incluyendo a las cerezas, el JaMe al retrasar la maduración o la senescencia de los frutos, también muestran un retraso en la acumulación de compuestos bioactivos como es el caso de los antocianos (Huang et al., 2015; Saracoglu et al., 2017).

4.9. Polifenoles

El contenido en polifenoles tiene un importante impacto en la calidad del fruto, pues modifica el aroma, el sabor y el color, siendo las cerezas una fuente importante de estos compuestos (Giménez, 2015). En este estudio pudimos comprobar como pese a que en el momento de la recolección el contenido en polifenoles totales fue similar en todos los frutos muestreados, este comportamiento no se mantuvo hasta el final del experimento (Figura 10).

De hecho, tras 14 días de almacenamiento a $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, el análisis de la concentración de estos compuestos en el fruto mostró que el contenido de los mismos en aquellos tratados con JaMe fue significativamente inferior ($P < 0,05$) durante el resto del periodo de almacenamiento. Así los valores obtenidos al final del almacenamiento estudiado fueron de $106,03 \pm 0,46 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ y de $113,79 \pm 2,56 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ para los frutos tratados con JaMe y control respectivamente.

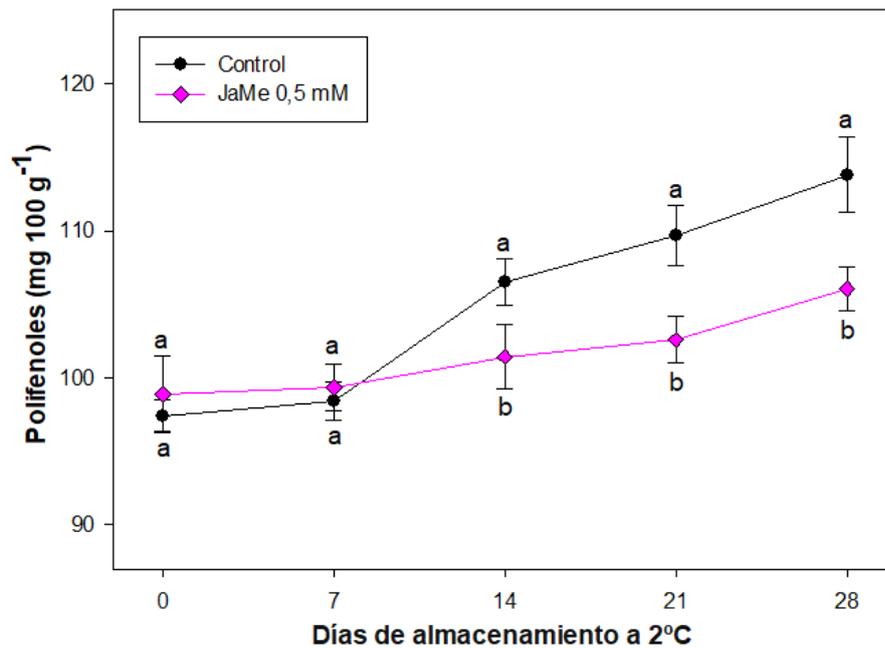


Figura 10. Evolución de los polifenoles ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) de las cerezas 'Prime Giant' tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

Al igual que en el caso de los antocianos, el JaMe ha demostrado en distintos estudios incluyendo distintas variedades de cereza, su capacidad para retrasar la acumulación de polifenoles totales (Huang et al., 2015; Saracoglu et al., 2017). Este hecho es un importante indicativo del retraso en la madurez en el árbol, así como en la senescencia de esta fruta durante su almacenamiento que ejerce el JaMe aplicado en precosecha.

4.10. Actividad antioxidante hidrosoluble

Con relación al estudio de la actividad antioxidante hidrosoluble (AAH), se pudo apreciar que tanto los frutos tratados como los frutos controles no mostraron diferencias significativas en el inicio del almacenamiento (Figura 11). Sin embargo, durante el posterior almacenamiento se observó un importante retraso en la evolución de la actividad antioxidante total en los frutos tratados con JaMe. De hecho, estas diferencias fueron significativas ($P < 0,05$) incluso tras dos semanas de almacenamiento a 2 °C con valores de $74,56 \pm 3,87$ y $85,33 \pm 3,22 \text{ mg eq. } 100 \text{ g}^{-1}$, para las cerezas tratadas con JaMe y control respectivamente. Estas diferencias no se encontraron pasado este

periodo de estudio, ya que las concentraciones en todas las cerezas muestreadas tuvieron un nivel similar de AAH.

La menor concentración de compuestos antioxidantes que hemos observado anteriormente estaría reduciendo los niveles de actividad antioxidante en los frutos tratados con JaMe en algunos de los muestreos, ya que el contenido en compuestos fenólicos afecta directamente a los niveles de actividad antioxidante (Hodges et al., 2004; Mondal et al. 2009; Valero y Serrano 2010).

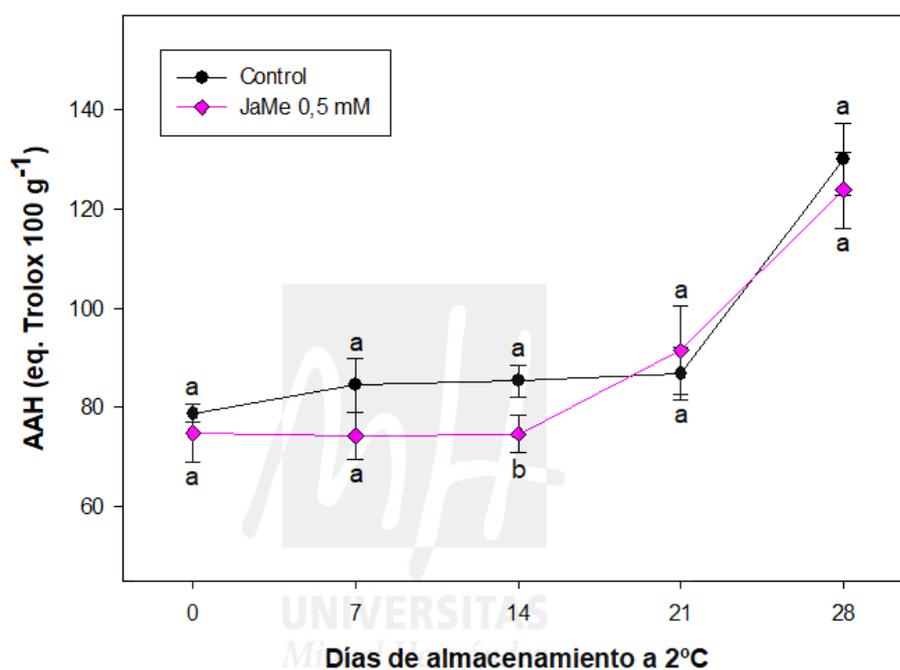


Figura 11. Evolución de la actividad antioxidante hidrosoluble (eq. Trolox 100 g⁻¹) de las cerezas 'Prime Giant' tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media ± ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

4.11. Deterioro de los pedicelos

Al evaluar los datos obtenidos del pardeamiento del pedicelo se comprobó que, aunque de forma general los valores en las cerezas tratadas fueron ligeramente inferior en todos los muestreos, no fue hasta pasadas dos semanas de almacenamiento cuando las diferencias fueron significativas ($P < 0,05$) (Figura 12). De hecho, tras almacenar en frío durante 14 días, los valores obtenidos en la evaluación visual de los frutos control y tratados con JaMe fueron de $2,22 \pm 0,15$ y de $1,74 \pm 0,12$ respectivamente. Dicha

observación es indicativa de un mayor deterioro sufrido por los frutos controles con respecto a los tratados con JaMe.

El deterioro del pedicelo se debe a la principalmente a la deshidratación. Dicha deshidratación se ve ralentizada por el almacenamiento en frío y, en consecuencia, el deterioro del pedúnculo es menor (Giménez, 2015). Además, el JaMe al retrasar la senescencia de los tejidos y mejorar la integridad celular, estaría retrasando la destrucción de las células, manteniendo la turgencia de los tejidos como se ha observado en distintos estudios (Sayyari et al., 2011; Giménez et al., 2016).

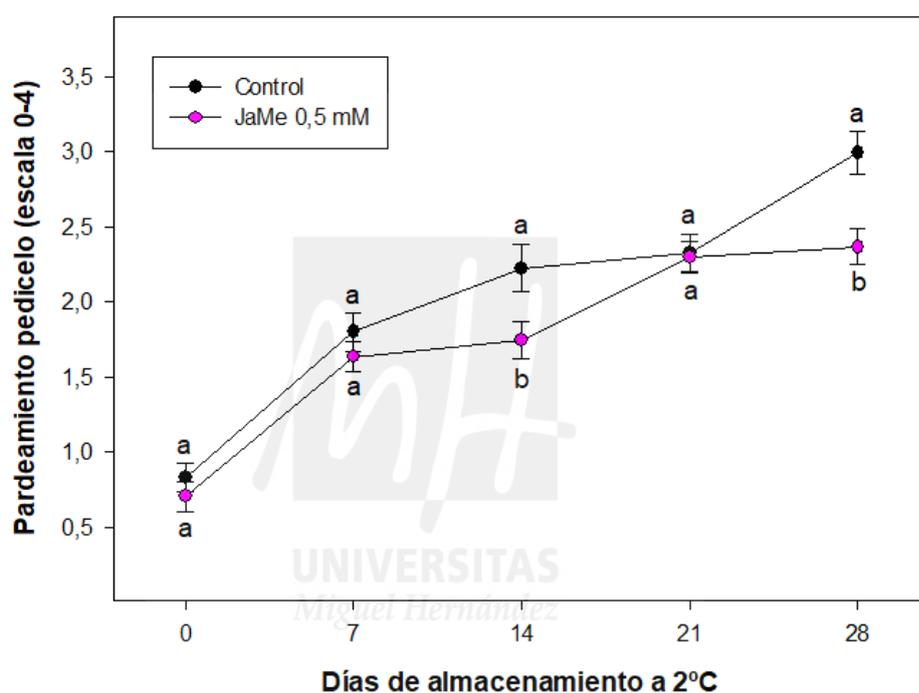


Figura 12. Evolución del pardeamiento del pedicelo (escala 0-4) de las cerezas ‘Prime Giant’ tratadas en precosecha con JaMe 0,5 mM y controles en el momento de la cosecha. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($P < 0,05$).

5. CONCLUSIONES

Tras estudiar los principales resultados de este Trabajo Final de Grado podemos concluir que los tratamientos precosecha con jasmonato de metilo podrían suponer una interesante tecnología para incrementar la calidad de las cerezas tanto en el momento de la recolección como durante su posterior almacenamiento postcosecha.

Los tratamientos con jasmonato de metilo, retrasaron la maduración de los frutos en el árbol, pero incrementaron el tamaño de los mismos en el momento de la cosecha. Un mayor tamaño del fruto provocado por los tratamientos con jasmonato de metilo podrían suponer un mayor beneficio económico por parte de los productores.

Los tratamientos con jasmonato de metilo, además, fueron beneficiosos durante el almacenamiento postcosecha de las cerezas, ya que retrasaron la senescencia del fruto reduciendo las pérdidas de peso y de firmeza, así como la evolución del color. Este hecho, además, fue constatado al evaluar una menor acumulación de compuestos bioactivos. Sin embargo, incrementaron la calidad del pedicelo y los niveles de azúcares y ácidos orgánicos, siendo estos parámetros determinantes a la hora de la aceptación por parte de los consumidores.

Por tanto, las aplicaciones foliares con jasmonato de metilo podrían constituir una prometedora tecnología de origen natural con excelentes perspectivas a la hora tanto de incrementar la calidad de los frutos en la cosecha, como de reducir las pérdidas de calidad durante su posterior conservación postcosecha.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aghdam, M. S. y Fard, J. R. (2017) Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. *Food Chemistry.*, 221, 1650–1657.
- Calle, A., Luna, J. M., Herrero, M., Wunsch, A. (2016). Diversidad genética de cerezos locales de Galicia y Las Islas Baleares mediante SSR. Calle A., Luna J. M., Herrero M. y Wunsch A.
- Candan, A. P. (2019). Cosecha y Poscosecha de cerezas. *Fruticultura y diversificación*, 32-38. 2019
- Cano, A., Hernández-Ruiz, J., García-Cánovas, F., Acosta, M., Arnao, M. B. (1998). An end-point method for estimation of the total antioxidant activity in plant material. *Phytochemistry Analysis*, 9, 196–202.
- Cha, D. S. y Chinnan, M. S. (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 44, 223 - 237.

- Crisosto, C. H., Lombard, P. B., Richardson, D. G., Tetley, R. (1992). Putrescines extends effective pollination period in 'Comice' pear (*Pyrus communis* L.) irrespective of post-anthesis ethylene levels, *Scientia Horticulturae*, 49, 211-221.
- De Paiva E. (2020). Estrategias para prolongar la vida útil en cerezas del jerte.
- Diaz-Mula, H. M., Zapata, P. J., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., Serrano, M. (2008). Changes in physicochemical and nutritive parameters and bioactive compounds during development and on-tree ripening of eight plum cultivars: a comparative study. *Journal Science Food Agriculture* 88: 2499 - 2507.
- Faizy, A. H., Ozturk, B., Aglar, E., Yildiz, K. (2021). Role of methyl jasmonate application regime on fruit quality and bioactive compounds of sweet cherry at harvest and during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, e15882.
- Ferguson, I. B. y Boyd, L. M. (2001). Inorganic nutrients and fruit quality, In *Fruit Quality and its Biological Basis*, ed. M. Knee, 17 – 45. Sheffield: Academic Press.
- Fonseca, L.R.S. Silva, G. R., Luís, Â., Cardoso, H.J., Correia, S., Vaz, C.V., Duarte, A. P., Socorro, S. (2021). Sweet Cherries as Anti-Cancer Agents: From Bioactive Compounds to Function. *Molecules* 2021, 26, 2941.
- García-Pastor, M. E., Serrano, M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., Zapata, P. J. (2019). Methyl jasmonate effects on table grape ripening, vine yield, berry quality and bioactive compounds depend on applied concentration. *Scientia Horticulturae*, 247, 380 - 389.
- Geransayeh, M., Sepahvandh, S., Abdossic, V., Zarriniad, V. (2015). Effect of methyl jasmonate treatment on decay, postharvest life and quality of strawberry (*Fragaria anan-assa* L. Cv. Gaviota) fruit. *International Journal of Current Science*, 15, 123 - 131.
- Giménez Torres M. J. (2015). Tesis Doctoral. Efecto de la aplicación pre-cosecha de ácido salicílico, acetilsalicílico y salicilato de metilo en los parámetros de calidad de cerezas en la recolección y durante el almacenamiento post-recolección.
- Giménez, M. J., Valverde, J. M., Valero, D., Zapata, P. J., Castillo, S., Serrano, M. (2016). Postharvest methyl salicylate treatments delay ripening and maintain quality attributes

and antioxidant compounds of 'Early Lory' sweet cherry. *Postharvest Biology and Technology*, 117, 102 - 109.

- Gonzalez-Aguilar, G. A., Fortiz, J., Cruz, R., Baez, R., Wang, C. Y. (2000). Methyl jasmonate reduces chilling injury and maintain postharvest quality of mangofruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 515 - 519.

- González-Aguilar, G. A., Tiznado-Hernández, M. E., Zavaletagatica, R., Martínez-Téllez, M. A. (2004). Methyl jasmonate treatment reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 313(3), 704 - 711.

- Guerandain, F., Manavella, F., (2003). Variedades de cereza utilizadas en Santa Cruz. Agencia de Extensión Rural los Antiguos, INTA. *Agricultura* 5, 17.

- Habibi, F., Ramezani, A. (2017). Vacuum infiltration of putrescine enhances bioactive compounds and maintains quality of blood orange during cold storage. *Food Chemistry*, 227, 1 - 8.

- Hodges, D. M., Lester, G. E., Munro, K. D., Toivonen, P. M. A. (2004). Oxidative stress: Importance for postharvest quality. *Scientia Horticulturae*, 39, 924 - 929.

- Huang X., Li J., Shang H., Meng X. (2015) Jan. Effect of methyl jasmonate on the anthocyanin content and antioxidant activity of blueberries during cold storage. *Journal Science Food Agriculture*; 95(2):337-43.

- Kader, A. A. (2022). Postharvest Technology of Horticultural Crops.

- Kader, A. A., (1992). Methods of gas mixing, sampling and analysis. Postharvest technology of horticultural crops. 93 - 95.

- Kadir, S. A. (2004). Fruit quality at Harvest of "Jonathan" apple treated with foliarly-applied calcium chloride. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 1991 - 2006.

- Lemus, G. ed. 2005. El Cultivo del Cerezo. Santiago, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Boletín INIA* N° 133, 15.

- Lezoul, N. E. H., Belkadi, M., Habibi, F., Guillén, F. (2020). Extraction processes with several solvents on total bioactive compounds in different organs of three medicinal plants. *Molecules* 25 (20), 4672.
- López Camelo, A. F. (2003). Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas. Del campo al mercado. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*, 151, capítulo 5.
- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 14, 257 - 269.
- Martínez-Esplá, A., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez Romero, D., Valero, D., Serrano, M. (2014). Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. Improvement of fruit growth and quality attributes at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 98 - 105.
- Minolta, 1994. Precise Colour Communication, Minolta Co., Ltd: Japan.
- Mondal, K., Malhortra, S.P., Jain, V., Singh, R. (2009). Oxidative stress and antioxidant systems in guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 15, 327 - 334.
- Nunes, A. R., Gonçalves, A. C., Falcão, A., Alves, G., Silva, L. R. (2021). Prunus avium L. (Sweet Cherry) By-Products: A Source of Phenolic Compounds with Antioxidant and Anti-Hyperglycemic Properties - A Review. *Applied Sciences*. 2021, 11, 8516.
- Olías, J. M., Sanz, L. C., Pérez, A. G. (1991). Influencia del jasmonato de metilo en la maduración y postcosecha de manzana, 60-67. In: El etileno en la Maduración y Postcosecha de Frutos y Hortalizas. I. Recansens; M. graell; M. vendrell (eds.).
- Öztekin, S., Soysal, Paksoy, H. Ö., Başçetnçelk, A. (2000). Potential for using tes in pre-cooling of cherries in Turkey. Pergamon: *World Renewable Energy Congress VI*, 900 - 905.
- Pérez Sánchez, R. (2009). Prospección y caracterización agromorfológica, bioquímica y molecular de cultivares tradicionales de cerezo (*Prunus avium* L.), guindo (*Prunus cerasus* L.) y sus híbridos (*Prunus x gondouinii* Rehd.) de la provincia de Salamanca (España).

- Predieri, S., Dris R., Sekse, L., Rapparini F. (2003). Influence of environmental factors and orchard management on yield and quality of sweet cherry.
- Rodrigo, J. (2020). El cerezo en España: variedades y polinización. *Boletín Técnico Pomáceas Diciembre*.
- Rodrigo, J., Macarulla B., Escartín, J. (2016). Variedades de cerezo de maduración tardía.
- Saracoglu, O., Ozturk, B., Yildiz, K. Kucuker, E. (2017). Pre-harvest methyl jasmonate treatments delayed ripening and improved quality of sweet cherry fruits, *Scientia Horticulturae*, 226, 19-23.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., Valero, D. (2011). Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. *Food Chemistry*, 124, 964 - 970.
- Selcuk, N. y Erkan, M. (2015). The effects of modified and palliflex controlled atmosphere storage on postharvest quality and composition of 'Istanbul' medlar fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 9 - 19.
- Serrano, M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F., Valero, D. (2005). The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6 (1), 115 - 123.
- Valero, D., Martínez-Romero, D., Serrano, M., Riquelme, F. (1998). Influence of postharvest putrescine and calcium on endogenous polyamines, firmness, and abscisic acid in lemon (*Citrus lemon* L. Burn Cv Berna). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2102 - 2109.
- Valero, D. y Serrano. M. (2010). Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality. *Boca Raton: CRC Press-Taylor and Francis*.
- Virgen, Gen J. J. (2019). Evaluación de la actividad biológica in vitro del puré de cereza como potencial nutraceutico en la gota.

- Zoffoli, J. P., Toivonen, P., Wang, Y. (2017). Postharvest Biology and Handling for fresh Markets. *Cherries: Botany, Production and Uses*, 460.

