

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y
AGROAMBIENTAL**



**“Tratamientos precosecha con putrescina para
incrementar la vida útil postcosecha de cerezas
(*Prunus avium* L. cv. Prime Giant)”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre-2022

Autora: Laura Clemente Forca

Tutores: Antonio Fabián Guillén Arco

María Celeste Ruíz Aracil

Resumen

Las cerezas son frutas con una corta vida útil. En este trabajo se ha estudiado el efecto de tratamientos de precosecha con productos de origen natural sobre la cereza (*Prunus avium* L. 'Prime Giant'). Los tratamientos precosecha con poliaminas mostraron una menor incidencia de las pérdidas de peso, lo que incrementó la firmeza de los frutos. Además, los tratamientos fueron capaces de mejorar el color y distintos parámetros de calidad de las cerezas durante su almacenamiento postcosecha. El pedicelo de los frutos también fue afectado por los tratamientos reduciendo el pardeamiento en los frutos tratados con poliaminas. Por lo tanto, los tratamientos precosecha con compuestos de origen natural, podrían mejorar los parámetros de calidad de la cereza en la cosecha y durante su posterior almacenamiento postcosecha.

Palabras clave: Maduración, poliamina, almacenamiento, calidad, firmeza.

Abstract

Sweet cherries are fruits with a short shelf-life. In this document, the effect of pre-harvest treatments with products of natural origin on cherry (*Prunus avium* L. 'Prime Giant') has been studied. Pre-harvest treatments with polyamines showed a lower incidence of weight loss, which increased the firmness of the fruits. Furthermore, the treatments were able to improve the color and different quality parameters of the cherries during their postharvest storage. The pedicel of the fruits was also affected by the treatments, reducing browning in the fruits treated with polyamines. Therefore, pre-harvest treatments with compounds of natural origin could improve cherry quality parameters at harvest and during subsequent post-harvest storage.

Keywords: ripening, polyamine, storage, quality, firmness.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. La cereza	8
1.1.1. Características botánicas	11
1.1.2. Composición nutricional	13
1.1.3. Variedades de cerezas	16
1.2. Producción e importancia económica	18
1.3. Parámetros de calidad y maduración del fruto.....	21
1.4. Problemática post-cosecha.....	23
1.5. Nuevas tecnologías en la mejora de la calidad de cereza.....	26
2. OBJETIVOS	29
3. MATERIAL Y MÉTODOS	30
3.1. Material vegetal	30
3.2. Diseño experimental.....	30
3.3. Determinaciones analíticas.....	32
3.3.1. Pérdida de peso.....	32
3.3.2. Determinación de CO ₂	33
3.3.3. Evaluación del color.....	34
3.3.4. Determinación de la firmeza	35
3.3.5. Evaluación de los sólidos solubles totales (SST).....	36
3.3.6. Determinación de la acidez titulable (AT)	37
3.3.7. Evaluación del pedicelo	39
3.3.8. Antocianos totales.....	40
3.3.9. Análisis estadístico	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Pérdidas de peso.....	40
4.2. Producción de CO ₂	41

4.3. Color	42
4.3.1. Color L^*	42
4.3.2. Ángulo hue^*	43
4.4. Firmeza	44
4.5. Sólidos Solubles Totales (SST)	46
4.6. Acidez titulable (AT)	47
4.7. Evaluación del pedicelo	48
4.8. Antocianos totales	49
5. CONCLUSIONES	50
6. BIBLIOGRAFÍA.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de la cereza	14
Tabla 2. Listado de países productores de cereza, ordenados en orden descendente en cuanto a toneladas totales producidas como media en el intervalo de tiempo establecido, desde 2011 a 2020. Se muestran solo los primeros diez de un total de 69	18
Tabla 3. Comparativa de color entre las cartas de color de INTA y CTIFL	34
Tabla 4. Relación entre los valores de firmeza obtenidos con el equipo “Durofel” (0-100) y la calidad de los frutos al momento de cosecha	35
Tabla 5. Índices de madurez de referencia para la cosecha en distintas variedades de cereza	38

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Evolución de resultados sobre área cosechada (ha), rendimiento (kg/ha) y producción (toneladas) para el cultivo de la cereza. En el periodo comprendido entre 2011 y 2020	19
Gráfico 2. Evolución en las importaciones y exportaciones de cereza en toneladas, así como su repercusión económica en miles de dólares estadounidenses, durante el periodo de tiempo planteado, de 2011 a 2020	20

Gráfico 3. Evolución de los precios en materia de exportaciones e importaciones para el caso de la cereza. Medidos en \$/kg y durante el periodo planteado, entre 2011 y 2020	21
---	----

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Diseño experimental realizado en el estudio de la aplicación postcosecha con distintas concentraciones de putrescina en cerezas cv. <i>Prime Giant</i>	32
--	----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Distribución del cerezo en el mundo	8
Fotografía 2. Problema de ‘craking’ en cereza	10
Fotografía 3. Características botánicas en <i>Prunus avium</i> L.	12
Fotografía 4. Algunas de las distintas variedades de cereza (<i>Prunus avium</i> L.)	17
Fotografía 5. Espacio de color CIE Lab	22
Fotografía 6. Daños provocados por <i>Ragoletis cerasi</i> L. en cereza	24
Fotografía 7. Infección provocada por <i>Botrytis cinerea</i> en cereza	26
Fotografía 8. Valorador automático Methrom, para calcular la acidez titulable (%)	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la pérdida de peso (%) en cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina, tras 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3)	40
Figura 2. Evolución de la tasa de respiración (mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) de cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3)	42
Figura 3. Evolución del parámetro de color <i>L*</i> de cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3)	43

Figura 4. Evolución del <i>ángulo Hue*</i> de cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3)	44
Figura 5. Evolución de la firmeza (N mm ⁻¹) en cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3)	45
Figura 6. Evolución del contenido en sólidos solubles totales (g 100g ⁻¹) de cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm desviación estándar (n=3)	46
Figura 7. Evolución del contenido en acidez titulable (g 100g ⁻¹) de cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm desviación estándar (n=3)	47
Figura 8. Evolución del pardeamiento del pedicelo de cerezas ‘Prime Giant’ de frutos control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3)	48
Figura 9. Evolución del contenido en antocianos totales (mg 100g ⁻¹) en cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3)	49

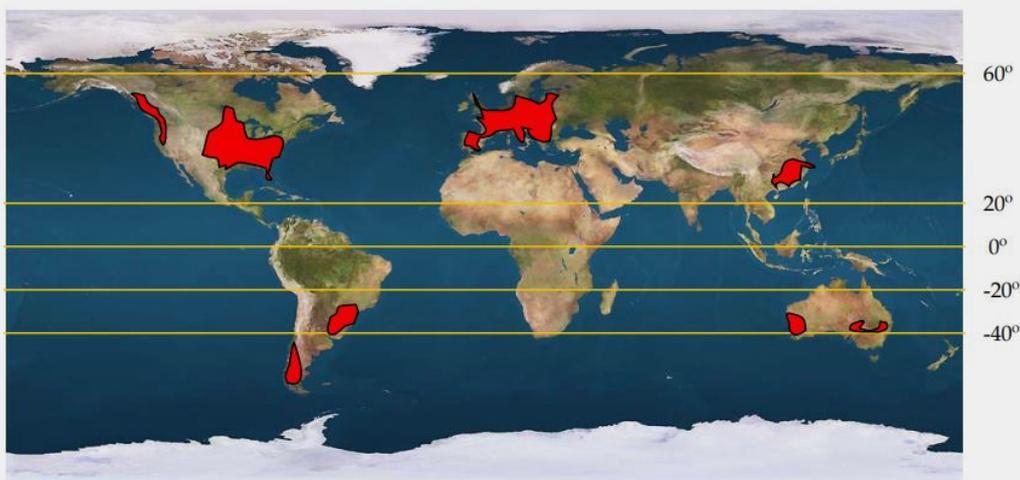
1. INTRODUCCIÓN

1.1. La cereza

La cereza es el fruto procedente del árbol conocido como cerezo o guindo. Esta especie pertenece al género *Prunus*, gran conocido por su alta repercusión económica en cuanto a fruta de hueso se refiere.

Se considera que el cerezo es originario del Oriente próximo, en la región comprendida entre las costas del Mar Negro y el Mar Caspio (Asia Menor, Irán, Iraq y Siria) (Vavilov, 1951). La primera especie diploide del género *Prunus* surgiría en Asia Central, donde tendría lugar su domesticación y posteriormente pasaría a Asia Menor, para ser finalmente introducido en la región Mediterránea a través de la civilización griega. Sin embargo, su expansión por Europa septentrional ocurrió desde China, atravesando Rusia y Oriente próximo (Lichou *et al.*, 1990). El paso a América data de 1629, fecha en la que los colonos ingleses introducirían esta especie (Iglesias, 1991).

En la actualidad, este frutal se encuentra en numerosas zonas del planeta, generalmente en latitudes comprendidas entre los 35° y 55° Norte y Sur; y tiene una alta repercusión económica para distintos países. La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) ofrece datos de sesenta y nueve regiones distintas en las que se cultiva dicho fruto. En cuyo ranking de producción España se encuentra en el séptimo puesto, por detrás de Turquía, EE.UU., Irán, Chile, Uzbekistán e Italia; y seguido de Ucrania, Grecia y Rumanía. Alcanzó una producción media de 103.152,8 toneladas anuales en la última década; lo que supone únicamente un 4,28% de la producción mundial, que se estima en una media de 2.405.216,8 toneladas anuales (FAO, 2020).



Fotografía 1. Distribución del cerezo en el mundo. Fuente: FAOSTAT, 2007.

Dentro de nuestro país, las principales zonas productoras son Aragón y Extremadura, que asumen el 35,35% y 26,57% de la producción total española cifrada en 83.118 toneladas en año anterior, 2021. Seguidas de las comunidades de Cataluña, Andalucía y Galicia, con valores que rondan entre el 6% y el 8% de la producción. Y sin olvidar las comunidades más cercanas, de la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana, que ofrecen cifras del 2,87% y 2,58% de la producción nacional respectivamente (MAPA. Anuario de estadística. 2021). Cabe mencionar también, en el ámbito nacional, la existencia e importancia de la Denominación de Origen Protegida “Cerezas del Jerte” y la Denominación Específica “Cerezas de la Montaña de Alicante”.

El cerezo, como bien se ha comentado anteriormente, proviene del género *Prunus*, de la familia *Rosaceae*. Más concreto, de la subespecie *Cerasus* y sección *Eucerasus*. Las cifras anteriores se recogen como un conjunto de todo aquel fruto conocido como cereza o guindo, aunque lo cierto es que existen tres variedades principales propiamente diferenciadas: las cerezas dulces (*Prunus avium* L.), las cerezas ácidas o guindas (*Prunus cerasus* L.) y ‘Duke’; un híbrido entre cerezas dulces y ácidas, que combina las mejores propiedades de ambas (MAPA. 2022). Además de una especie de arbusto, también relacionado con el cerezo (*Prunus fruticosa* Pall.). Aunque a nivel de comercio mundial, las especies importantes son la cereza dulce y la ácida (Iezzoni, 2008).

La cereza dulce se consume principalmente en fresco, mientras que la cereza ácida se destina principalmente a productos procesados: conserva en almíbar, cereza confitada, elaboración de licores, zumos, colorantes, etc. Esto se debe a que hay ciertas diferencias entre estas dos variedades.

El número básico de cromosomas del género *Prunus* (sección *Eucerasus*) es $n=8$. La cereza dulce es diploide ($2n=16$), mientras que la cereza ácida es tetraploide ($4n=32$) (Iezzoni, 2008). Una característica botánica en la que también difieren es la distribución de las células epidérmicas; en la cereza ácida esta distribución es uniforme, mientras que en las dulces no lo son. Sin embargo, las principales diferencias se encuentran en las propiedades físico-químicas: el tamaño de la fruta, el nivel de pectina, la relación del contenido de sólidos solubles (SST) y la acidez titulable (AT) y la composición de antocianinas. A diferencia de las cerezas ácidas, que deben su sabor a niveles más altos de ácidos orgánicos (8-20% SST, 1,5-1,8% AT), las cerezas dulces tienen un mayor nivel de azúcares y menores valores de acidez (13-25% SST, 0,4-1,5% AT) (Girard y Kopp,

1998; McLellan y Padilla-Zakour, 2004). En este trabajo nos centraremos en la mejora de las variedades de cereza dulce, destinadas principalmente al consumo en fresco.

La calidad de las cerezas se define por atributos exteriores y sensoriales, como son el tamaño, el color brillante, la piel libres de picaduras y rajado, textura firme y un alto contenido en sólidos solubles totales (Crisosto *et al.*, 2003). Y además, el ablandamiento, la pudrición de la fruta y el pardeamiento del pedicelo son los factores más críticos de deterioro que afectan a la satisfacción del consumidor (Wermund y Fearn, 2000). Si bien es cierto que dichos atributos considerados importantes por el consumidor son muy distintos en función de la persona, e incluso la zona de procedencia del mismo (Dever *et al.*, 1996).

Lo que sí es cierto, es el fuerte deterioro de este fruto una vez cosechado. La cereza está clasificado como un fruto no climatérico, por lo que la regulación de la respiración durante la maduración no está regulada por el etileno. La moderada a alta actividad respiratoria, promueve el ablandamiento, oscurecimiento de la piel u la pérdida de sabor en el fruto (Crisosto *et al.*, 1993; Gong *et al.*, 2002). Por otra parte, el marchitamiento y oscurecimiento del pedicelo se asocia con un déficit de la presión de vapor, producido por el entorno físico circundante.

Otro gran problema, que supone grandes pérdidas económicas, es el comentado rajado de frutos o ‘cracking’; aunque este es un fenómeno complejo con un montón de factores asociados a su aparición. El cultivar, las condiciones de crecimiento, la gestión del riego, el patrón, el tamaño de la fruta, el potencial osmótico de la pulpa, las características cuticulares de la piel y el estado de desarrollo del fruto son los factores más comúnmente reportados como influyentes en la aparición del problema (Christiensen, 2000; Lane *et al.*, 2000; Moing *et al.*, 2004).



Fotografía 2. Problema de ‘cracking’ en cereza.

Durante los últimos años, se han conseguido grandes avances para evitar estos tipos de problemas. Ya sea utilizando herramientas tradicionales de mejora genética como cruzamientos, selección, diseño estadístico, evaluación de líneas superiores y propagaciones in vitro de nuevos cultivares (Hancock *et al.*, 2008). Trabajando en la creación de nuevas variedades (Boubennec, 2019), o con nuevas técnicas, como la aplicación de bioestimulantes como ácidos húmicos y flúvicos, proteínas hidrolizadas, extractos de algas, citosanos y otros biopolímeros, compuestos inorgánicos, hongos beneficiosos, y bacterias (Afonso *et al.*, 2022).

En el presente trabajo, se tratará sobre una de estas formas de minimizar los efectos de la senescencia en el fruto de la cereza. A través de la aplicación de un tratamiento precosecha con productos de origen natural, como son las poliaminas.

Antes de hablar sobre paliar efectos, reducir daños, controlar cambios, etc. se debería conocer bien el material vegetal del que se dispone, sus características botánicas, así como la composición nutricional del fruto analizado.

1.1.1. Características botánicas

La familia *Rosaceae* es una familia de gran interés botánico. Dentro de ella, se encuentran géneros muy destacados en agricultura y alimentación, como son el género *Malus* (manzanos), *Pyrus* (perales), *Fragaria* (fresas) y *Prunus* (frutales de hueso). Con especial relevancia en este último, puesto que en él se encuentran las especies frutales con mayor repercusión económica en las regiones templadas del planeta, como son los melocotoneros (*Prunus persica* L.), almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb), albaricoqueros (*Prunus armeniaca* L.) o ciruelos (*Prunus domestica* L.).

El subgénero *Cerasus* es el que acoge al objeto de estudio, el cerezo. Y, si bien las principales especies cultivadas son tres: el cerezo dulce (*Prunus avium* L.), el guindo o cereza ácida (*Prunus cerasus* L.) y el híbrido “Duke”, la cultivada principalmente y de mayor importancia es la primera de ellas (MAPA, 2022).

El cerezo (*Prunus avium* L.) es diploide ($2n=16$), de porte piramidal con eje central y gran vigor, pudiendo llegar a alcanzar hasta 25 m de altura (MAPA, 2022). Su raíz es pivotante y su corteza lisa, de color marrón rojizo y con trazados y surcos en forma de anillos concéntricos. Dispone de hojas caducas de 7,6 a 12,5 cm de longitud, con forma abovada-elíptica, doblemente dentadas, lampiñas en el haz y pubescentes en el envés, mates y con

pecíolo largo. Presenta nectarios, de coloración más o menos rojiza. Sus flores son blancas y de 2,5 cm de diámetro aproximadamente. Sus yemas de flor constan de entre 2 y 4 flores en umbelas, aisladas en la base de la madera anterior o en grupos de 5 rodeando una yema de madera terminal sobre madera vieja (“ramillete de mayo” o “spurs”). El fruto presenta forma redondeada, globosa o con forma de corazón; con color de roja a negra en la epidermis, de crema a púrpura en la carne y de incoloro a púrpura para el jugo. El tamaño de éstos es variable, siendo de 2 a 4 gramos en variedades silvestres y hasta 10 gramos en variedades cultivadas. Y van acompañados del pedúnculo, de longitud variable entre 2 y 7 cm. (Lichou *et al.*, 1990; Brown *et al.*, 1996).



Fotografía 3. Características botánicas en *Prunus avium* L.

El fruto está clasificado como una drupa carnosa con un único hueso duro central rodeado por pulpa carnosa, que contiene la mayoría de los nutrientes y componentes bioactivos. La cereza dulce tiene un aspecto brillante con una fina piel que puede ser descrita como roja oscura, roja, rojo rubor o blanca. El desarrollo de las características cromáticas

depende del cultivar, condiciones de crecimiento, estado de madurez y condiciones de almacenamiento (Gonçalves *et al.*, 2007). Su porción comestible es de 87 gramos por cada 100 gramos de producto fresco. Las cerezas maduran desde finales de primavera hasta principios de verano, siendo un periodo muy corto de recolección, en comparación con otros árboles frutales (MAPA, 2022).

1.1.2. Composición nutricional

La cereza está considerada como una fruta altamente nutritiva que aporta niveles significantes de nutrientes esenciales y componentes bioactivos, incluyendo glucosa, fructosa, vitamina C, antocianinas, quercetina, flavan-3-oles, flavanoles y hidroxycinamato (Gao y Mazza, 1995). Sin embargo, numerosos estudios han demostrado que los niveles de estos compuestos varían en función de un amplio rango de factores en precosecha y postcosecha como el cultivar, grado de maduración, condiciones de crecimiento o los tratamientos en pre y post cosecha.

Este fruto es una fuente, tanto de nutrientes, como de sustancias no nutritivas, siendo rico en: hidratos de carbono, flavonoides, alcohol perfílico, potasio y vitamina C. Es rica en hidratos de carbono, principalmente fructosa, glucosa y sacarosa. Aporta cantidades considerables de fibra, que mejora el tránsito intestinal. En cuanto a vitaminas, presenta en pequeñas cantidades: vitamina C, tiamina, folatos y provitamina A. Y presenta cantidades importantes de potasio y, en menor proporción, magnesio, hierro, fósforo y calcio. Cabe destacar también la presencia de compuestos bioactivos como las antocianinas, sustancias con capacidad antioxidante y actividad inhibitoria de la ciclooxigenasa II, por lo que se consideran compuestos protectores de los vasos sanguíneos. Y la aportación de monoterpenos, concretamente el alcohol perfílico, compuesto con actividad antitumoral y antioxidante (MAPA, 2022).

De forma algo más concreta, se podría diferenciar su composición en dos grandes grupos: componentes nutritivos y componentes no nutritivos.

Dentro de los componentes nutritivos, encontramos los azúcares y los ácidos orgánicos. Los azúcares juegan un papel esencial en la calidad de la cereza al estar asociado el sabor con la relación entre éstos y la acidez titulable. En cereza, el nivel de azúcares puede ser tan alto como 25 g por cada 100 g de fruta (Girard y Kopp, 1998). Cinco azúcares son los encontrados principalmente: glucosa, sacarosa, fructosa, maltosa y sorbitol. De los cuales glucosa y fructosa suponen aproximadamente un 90% (Usenik *et al.*, 2008). Por otra

parte, los ácidos orgánicos están fuertemente relacionados con la calidad de la cereza también, puesto que son responsables del sabor ácido o agrio que contribuye en el sabor general de la cereza (Girard y Kopp, 1998). Se encuentran muchos ácidos orgánicos, incluyendo aminoácidos, pero el ácido málico es el principal, contando con entre 0,3 y 0,8 g por cada 100 g de peso fresco (Serrano, *et al.*, 2005).

Entre los componentes no nutritivos, encontramos principalmente antocianinas, ácidos fenólicos y flavonoides, que contribuyen a la actividad antioxidante y efectos beneficiosos para la salud reportados para este fruto (Tomás-Barberán y Andrés-Lacueva, 2012). Las antocianinas son las responsables del color rojo en la fruta, que es el mayor indicador de maduración y calidad en la cereza (Gao y Mazza, 1995). Se han encontrado cinco antocianinas en cereza: cianidina 3-glucósido, cianidina 3-rutinósido, peonidina 3-glucósido, pelargonidina 3-rutinósido y peonidina 3-rutinósido; de las cuales la primera representa aproximadamente el 90% (Kelebek y Selli, 2011). Entre los ácidos fenólicos, se han encontrado en cereza: ácido neoclorogénico o el ácido p-cumaroilquínico (Gao y Mazza, 1995; Kelebec y Selli, 2011). Se ha reportado su relación con el color y otras cualidades sensoriales y nutricionales en varios estudios; y están también relacionados con la maduración general del fruto y la prevención del pardeamiento enzimático (Hayaloglu y Demir, 2016; Kappel *et al.*, 1996; Serradilla *et al.*, 2012). Y en cuanto a flavonoides, han sido identificados y cuantificados mediante métodos HPLC algunos como: catequina, epicatequina, rutina, quercetina, quercetina-3-rutinósido, derivado de quercetina o kaempferol derivativo (Ballesteri *et al.*, 2013; González-Gómez *et al.*, 2010; Hayaloglu y Demir, 2016; Serradilla *et al.*, 2012; Usenik *et al.*, 2016). El vínculo entre ácidos fenólicos y flavonoides se estudia con fines médicos por sus efectos beneficiosos para la salud, como prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer, gota, obesidad o diabetes.

El aporte nutritivo final, sería el cuantificado en la siguiente tabla adjunta a modo de resumen.

Tabla 1. Composición nutricional de la cereza.

	Por 100 g de porción comestible	Por ración (150g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	65	85	3.000	2.300
Proteínas (g)	0,8	1,0	54	41

Lípidos totales (g)	0,5	0,7	100-117	77-89
AG saturados (g)	-	-	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	-	-	67	51
AG poliinsaturados (g)	-	-	17	13
Colesterol (mg/1000kcal)	-	-	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	13,5	17,6	375-413	288-316
Fibra (g)	1,5	2,0	>35	>25
Agua (g)	83,7	109	2.500	2.000
Calcio (mg)	16	20,9	1.000	1.000
Hierro (mg)	0,4	0,5	10	18
Yodo (mg)	2	2,6	140	110
Magnesio (mg)	11	14,4	350	330
Zinc (mg)	0,12	0,2	15	15
Sodio (mg)	2	2,6	<2.000	<2.000
Potasio (mg)	255	333	3.500	3.500
Fósforo (mg)	21	27,4	700	700
Selenio (mg)	1,2	1,6	70	55
Tiamina (mg)	0,05	0,07	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,06	0,08	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	0,4	0,5	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,05	0,07	1,8	1,6
Folatos (µg)	8	10,4	400	400
Vitamina B₁₂ (µg)	0	0	2	2
Vitamina C (mg)	8	10,4	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	3	3,9	1.000	800
Vitamina D (µg)	0	0	15	15
Vitamina E (mg)	0,1	0,1	12	12

Fuente: Tablas de Composición de Alimentos (Moreira y col, 2013). Ingestas Recomendadas/día para hombres y mujeres de 20 a 39 años con una actividad física moderada.

1.1.3. Variedades de cerezas

A lo largo de estos últimos siglos, el abanico de variedades existente, sobre todo en el caso del cerezo (*Prunus avium* L.), ha aumentado de manera considerada por la innovación varietal. La innovación varietal es la combinación de varios criterios definidos en un mismo producto que hará posible la producción de cerezas de alta calidad (Charlot y Vinciguerra, 2005).

El cambio climático y la diversificación de las prácticas de producción agrícola están generando crecientes condiciones heterogéneas de cultivo. Estas nuevas condiciones requieren diversas variedades que se adapten a un amplio rango de condiciones bióticas y abióticas. Además, las variedades deben caracterizarse para permitir a los productores hacer una elección óptima de la variedad en función de sus objetivos de producción y limitaciones técnicas y ambientales, siempre partiendo de un deseo de optimizar la calidad de la fruta con el fin de hacer que la producción sea más confiable y garantizar la sustentabilidad. En general, y sea cual fuere la fecha de maduración, las cualidades perseguidas en las nuevas variedades son las siguientes: productiva pero con capacidad de autorregulación, tamaño de fruto homogéneo, tamaño promedio de al menos 26 mm, tolerante a *Monilia sp.* y al ‘cracking’, buenas propiedades organolépticas y adaptable a varios canales de distribución (Boubennec, 2019).

En cuanto a las variedades ya existentes, las posibilidades son muy numerosas, contando con más de cincuenta variedades reconocidas por el Ministerio de Agricultura, y eso contando solo las variedades más importantes nacionales o que allí se cultivan, en cuanto a repercusión económica. La clasificación se realiza teniendo en cuenta el número de días de adelanto o retraso respecto a la maduración de una variedad referente, la Burlat. En función de este desfase en la maduración, se diferencian cinco grupos de clasificación: muy tempranas, tempranas, medias, tardías y muy tardías.

Las muy tempranas, son aquellas cuya maduración está adelantada con respecto a la Burlat, y entre ellas destacan las siguientes variedades: Cristobalina, Precoce Bernard, Moreau y Ramón oliva. Las variedades tempranas son aquellas cuya maduración está retrasada entre 0 y 11 días respecto a la variedad de referencia, y entre ellas encontramos

las variedades: Burlat, Burlat C-1, Marvin, Santina, Ruby, Giorgia, Brooks, Larian, Magar, Niram, Sandon Rose, Celeste, Corum, Valera y Vega. Las variedades de cerezo medias son aquellas cuya maduración está retrasada entre 12 y 19 días respecto a la Burlat, y entre ellas se encuentran las siguientes variedades: New Star, Maru, Lampe, Garnet, Stark Hardy Giant, Guillaume, Ebony, Early Van Compact, Chinook, Mollar de Cáceres, Sue, Summit, Sumesi, Sam, Sylvia, Van, Samba, Bing, Compact Stella y Rainer. Las tardías, son aquellas en las que la maduración está retrasada entre 20 y 27 días respecto a la referencia, y entre ellas encontramos: Venus, Vic, Napoleón, Velvet, Lamida, Viscount, Gil Peck, Vogue, Star, Sunburst, Sandra Rose, Tigre, Sonata, Lambert, Lapins, Spalding, Duroni 3, Skeena, Hedelfingen, Tardif de Vignola y Somerset. Y finalmente, entre las variedades muy tardías, aquellas cuya maduración está retrasada 28 días o más respecto a Burlat, destacan las siguientes variedades: Blanca de Provenza, Ambrunesa, Pico Negro y Pico colorado. (MAPA, 2022).



Fotografía 4. Algunas de las distintas variedades de cereza (*Prunus avium L.*).

La variedad objeto de estudio es la Prime Giant. Una obtención del centro del investigador privado de Marvin Niess en California (EE.UU) mediante un cruce entre Ruby y Garnet. Una variedad sin patente y no registrada, motivo por el cual no aparece reflejada en los datos del Ministerio de Agricultura. En cualquier caso, de ser así, aparecería clasificada como variedad temprana, con una maduración retrasada 10 días respecto a la variedad Burlat, utilizada como referencia.

1.2. Producción e importancia económica

El destino preferente de este producto es el consumo en fresco, sobre todo en las variedades de cereza dulce (*Prunus avium* L.). Si bien es cierto que aproximadamente un 20% de la producción se destina a productos procesados, como son la conserva en almíbar, cereza confitada, al marrasquino y a la elaboración de licores; este porcentaje corresponde en casi su totalidad a variedades de cereza ácida (*Prunus cerasus* L.). Y sin olvidar finalmente la importancia de su madera en la fabricación de muebles, debido a sus tonos rojizos y la presencia de anillos concéntricos decorativos (MAPA, 2022). Sin embargo, aunque el aprovechamiento de esta especie sea variado y cada vez en un abanico más extenso de posibilidades, la repercusión económica recae principalmente en el mercado en fresco, con las variedades de *Prunus avium* L.

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), más concretamente FAOSTAT, proporciona acceso libre a datos sobre alimentación y agricultura de más de 245 países y 35 regiones, desde 1961 hasta el año más reciente disponible. En el caso de la cereza, en la última década disponible de 2011 a 2020, ofrece resultados de producción para 69 países o regiones distintas, siendo el total de producción mundial de 2.405.216,8 toneladas de media en el intervalo de tiempo planteado. El orden de países, en cuanto a máximo de producción de media desde 2011 a 2020 se muestra a continuación.

Tabla 2. Listado de países productores de cereza, ordenados en orden descendente en cuanto a toneladas totales producidas como media en el intervalo de tiempo establecido, desde 2011 a 2020. Se muestran solo los primeros diez de un total de 69.

País o región miembro de la FAO	Media de producción entre 2011-2020 (toneladas)
1. Turquía	564.043,2
2. EE.UU.	326.573,7
3. Irán	170.498,4

4. Chile	153.526,4
5. Uzbekistán	113.990,9
6. Italia	110.152,8
7. España	103.048,2
8. Ucrania	72.158,0
9. Grecia	71.852,3
10. Rumanía	64.936,0

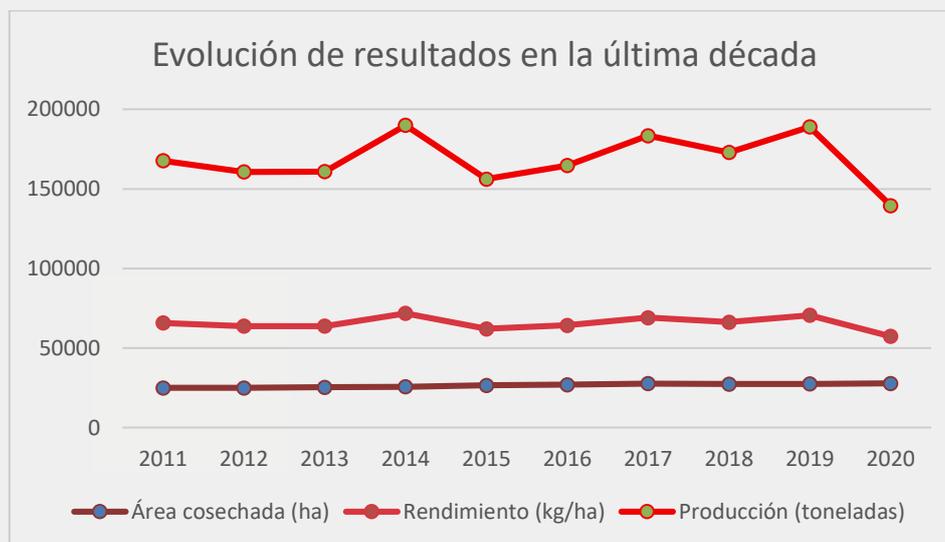
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT, 2020.

España se encontraría en séptima posición, justo detrás de Italia y por encima de Ucrania. Siendo su producción total de 103.048,2 toneladas en el periodo propuesto; lo que supone únicamente un 4,28% de la producción mundial. Cifra algo baja si se compara con el 23,45% que abarca el primer productor, Turquía.

En el ámbito nacional, los valores de área cosechada (ha) y rendimiento (kg/ha) se han mantenido constantes a lo largo de esta última década; incluso en carácter creciente. Con medias de 26.446,3 ha y 39.019,2 kg/ha respectivamente. Si bien es cierto que en año 2020 se experimentó una caída en el rendimiento.

En cuanto a la producción, la línea de tendencia es más cambiante. Con una media de 103.048,2 toneladas, pero con valores que oscilan desde 82.130 hasta 118.380 toneladas. Siendo el valor más bajo el correspondiente al año 2020.

Todos estos valores anteriormente comentados se encuentran representados en la gráfica 1 a continuación.



Gráfica 1. Evolución de resultados sobre área cosechada (ha), rendimiento (kg/ha) y producción (toneladas) para el cultivo de la cereza. En el periodo comprendido entre 2011 y 2020. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT, 2020.

En cuanto a balance de entrada y salida de producto en el país, los datos recogidos para este mismo periodo planteado, de 2011 a 2020, reflejan una gran diferencia entre importaciones y exportaciones. Siendo bastante mayor los datos de exportación, así como su repercusión económica.

En dicho periodo, se registraron de media 1.712,9 toneladas de producto importado, frente a 25.464,3 de producto exportado. Suponiendo un costo anual de 9.465,8 miles de dólares estadounidenses, frente a una ganancia de 76.496 miles de dólares estadounidenses de ingresos.

La evolución anual durante esta última década se muestra en el siguiente gráfico (gráfico 2).

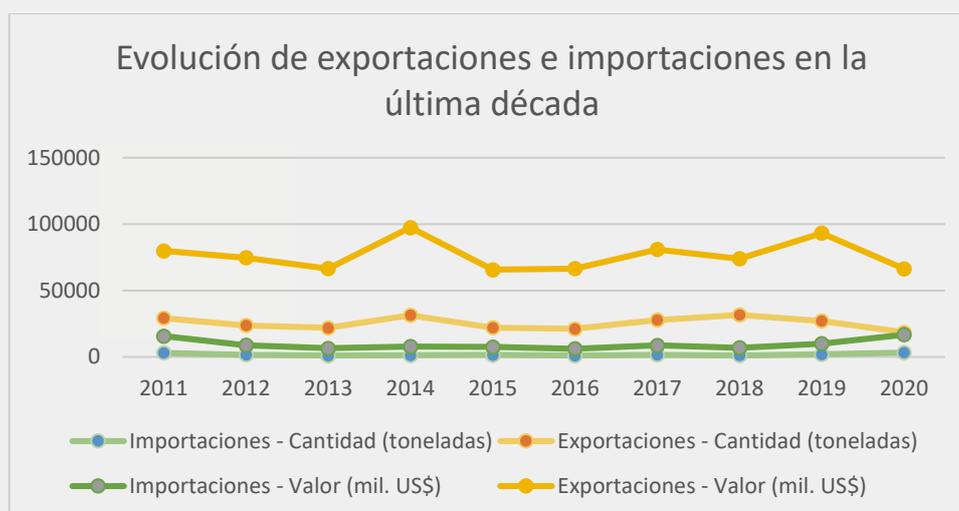


Gráfico 2. Evolución en las importaciones y exportaciones de cereza en toneladas, así como su repercusión económica en miles de dólares estadounidenses, durante el periodo de tiempo planteado, de 2011 a 2020. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT, 2020.

Así mismo, la evolución en los precios no fue muy variada, aunque algo más cambiante en el precio de la cereza de importación. Los precios medios de la cereza en el periodo planteado fueron de 5,74 \$/kg para cereza de importación y 3,04 \$/kg para cereza de exportación. A continuación se adjunta el gráfico con la evolución anual.

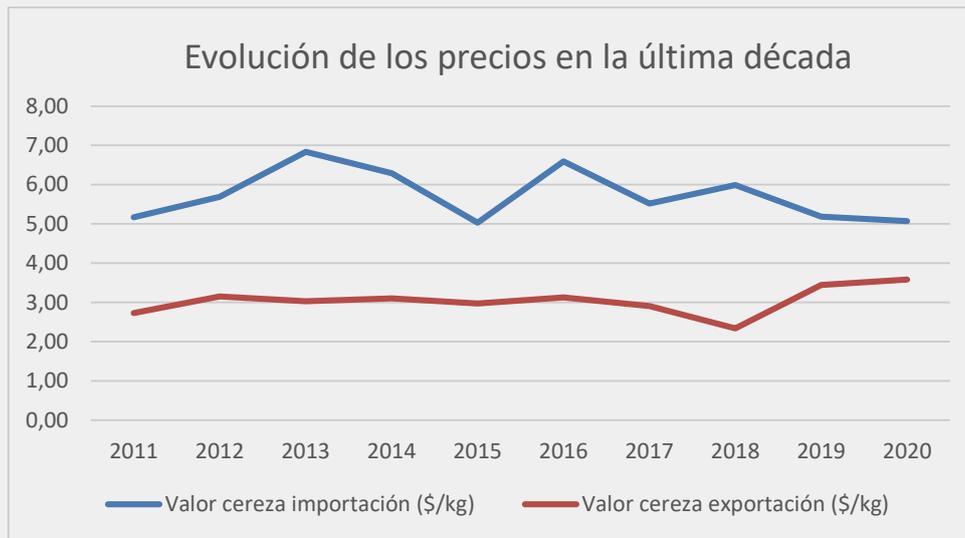


Gráfico 3. Evolución de los precios en materia de exportaciones e importaciones para el caso de la cereza. Medidos en \$/kg y durante el periodo planteado, entre 2011 y 2020. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT, 2020.

De forma algo más concreta, dentro del ámbito nacional y según los datos proporcionados por el Anuario de Estadística del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en el año anterior (2021), la producción total fue de 83.118 toneladas. Siendo las comunidades más importantes, en orden descendente en cuanto a total de producción, las siguientes: Aragón (29.383 toneladas; 35,35%), Extremadura (22.084 toneladas; 26,57%), Cataluña (8.127 toneladas; 9,78%), Andalucía (6.993 toneladas; 8,41%), Galicia (5.407 toneladas; 6,51%), Región de Murcia (2.389 toneladas; 2,87%) y Comunidad Valenciana (2.145 toneladas; 2,58%). (MAPA. Anuario de Estadística, 2021).

Cabe mencionar también, en cuanto a importancia y repercusión económica, la existencia de la Denominación de Origen Protegida “Cereza del Jerte” en Cáceres, Extremadura; y la denominación con Índice Geográfico Protegido de “Cerezas de la Montaña de Alicante”, al norte de la provincia de Alicante y sur de la provincia de Valencia.

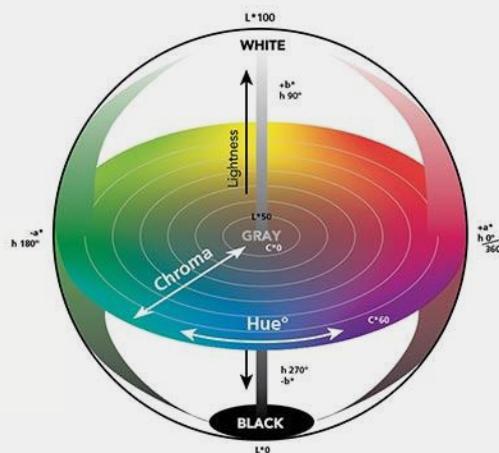
1.3. Parámetros de calidad y maduración del fruto

A lo largo de la historia han surgido disputas sobre cuáles considerar parámetros de calidad en este fruto. Algunas características importantes en la cereza dulce son el peso, el color, la firmeza, el dulzor, la acidez, el sabor y el aroma (Crisosto *et al.*, 2006). Otros rasgos de calidad de cereza relacionados con las decisiones de compra del consumidor se basan en atributos de calidad externos, como el color, tamaño del fruto, frescura del tallo, ausencia de defectos y longitud del tallo (Predieri *et al.*, 2004). Aunque también es cierto

que estos parámetros considerados importantes por el consumidor varían mucho, dependiendo a veces incluso de la zona. Estudios de consumidores mostraron que el tamaño, textura y color eran atributos importantes en América del Norte (Schotzko, 1986; Sloulin, 1990); mientras los japoneses encontraban importante el sabor, la frescura y el color, siendo el tamaño uno de los parámetros con menor importancia (Miller *et al.*, 1986). No obstante, de forma general, se puede afirmar que las principales características que determinan su calidad son: el tamaño del fruto, color, firmeza, dulzor, acidez y aroma, así como el color verde y la turgencia del pedúnculo (Romano *et al.*, 2006).

El sabor de la cereza, su acidez o dulzor, están relacionados con el contenido de sólidos solubles y la acidez titulable y la proporción de los mismos (Girard y Kopp, 1998). Es por ello por lo que en el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), en las pautas para el mantenimiento de cerezas frescas, establecen como índices de madurez y calidad: el color de la epidermis, los sólidos solubles totales presentes, la firmeza, la acidez titulable y el tamaño, diferenciando entre peso y calibre.

El color de los frutos es un buen índice para definir el momento de cosecha. Su análisis se realiza utilizando cartas de color para facilitar la identificación de un mismo color por distintos operarios. Aunque la existencia de distintas cartas de color en el mercado, con distintos orígenes pueden llevar a confusión. Otra forma más exacta de determinar este parámetro es con un colorímetro, en unidades llamadas “coordenadas de color”. Comúnmente se utilizan las coordenadas L^* , hue^* y $croma^*$, donde L^* indica la “luminosidad”, hue^* indica la “tonalidad” y $croma^*$ indica la “intensidad”. En líneas generales, el color de la cereza se oscurece e intensifica a medida que los frutos maduran.



Fotografía 5. Espacio de color CIE Lab.

Los sólidos solubles totales presentes es otro de estos índices. El contenido en sólidos solubles totales (SST) se incrementa a medida que los frutos maduran en la planta; no después, al ser frutos no climatéricos. Bajo condiciones de almacenamiento inadecuadas, las cerezas pueden deshidratarse dando resultados erróneos de altas concentraciones de SST debido a la concentración de los mismos y no a su síntesis. El valor mínimo de SST con el cual debe cosecharse depende de la variedad y oscila entre 16 y 24%. Su medición es simple, utilizando un refractómetro y el jugo de esta fruta.

La acidez titulable (AT) es otro indicador de la madurez de los frutos. Si bien el contenido de AT tiende a disminuir a medida que el fruto madura, se ha observado que las cerezas presentan un aumento en los días previos al momento óptimo de cosecha. En cambio, la AT disminuye una vez cosechado y a lo largo de su vida postcosecha. Cuando no son enfriados rápidamente, la AT disminuye más bruscamente debido a una tasa respiratoria elevada; esto se asocia con una mayor incidencia de podredumbre en los frutos. La acidez titulable se suele determinar mediante la titulación de 10 mL del jugo del fruto de cada muestra con NaOH 0,1 N hasta pH 8,2, con un pHmetro.

La firmeza es uno de los índices de madurez mencionados. Una mayor firmeza se asocia con una mayor resistencia de los frutos a la manipulación postcosecha y a las podredumbres. Además de ser un parámetro considerado por el consumidor, asociado con la buena calidad y la crocantez. La determinación se suele llevar a cabo con un equipo llamado “Durofel”, el cual arroja valores entre 0 (totalmente blando) y 100 (totalmente firme). Los valores arrojados no son demasiado precisos ni sensibles, sin embargo, son un indicador más del estado general de los frutos.

Y finalmente el tamaño de los frutos es un requisito de calidad muy exigido, siendo las preferencias diferentes en función de la zona geográfica. La manera más sencilla de determinar el tamaño es midiendo el calibre mediante caras de color y calibre. En distintas variedades de cereza, se pudo confirmar que el calibre máximo o sutural mantiene una mejor correlación con el peso que el calibre mínimo o contra-sutural. Para cada variedad, se define un rango de calibre sutural a obtener al momento de la cosecha.

1.4. Problemática post-cosecha

Las enfermedades postcosecha se producen como consecuencia de condiciones meteorológicas adversas, altas temperaturas y/o fuertes lluvias, durante el desarrollo del fruto. Otros factores que contribuyen al desarrollo de enfermedades son la recolección de

los frutos en un avanzado estado de madurez, carencia de un programa de control integrado de estas enfermedades y/o manejo deficiente de las prácticas precosecha o manipulación poscosecha (Looney *et al.*, 1996).

Son numerosos los problemas poscosecha que afectan al fruto de la cereza. Hay varios factores que hacen que el producto no sea apto, como los daños mecánicos por manipulación, los problemas de cracking o rajado, la fruta overa, los frutos dobles e hijuelos, los daños por heladas, daños por trips, rameado y golpes en planta o fitotoxicidad (Candan *et al.*, 2017). Aunque estos no sean problemas de poscosecha propiamente dichos, sí que desencadenan en el rechazo del fruto igualmente.

Además de los problemas anteriormente mencionados, el cerezo (*Prunus avium* L.) y su fruto se ven atacados por una serie de plagas, como la mosca de la cereza (*Ragoletis cerasi* L.). Las hembras de esta especie ponen sus huevos sobre el fruto, y son sus larvas durante su crecimiento y alimentación las causantes del deterioro del fruto; además de ser, la picadura para la puesta de huevos, una vía de entrada para hongos y bacterias que descomponen la pulpa. A esta plaga se le suman otras especies como la mosca mediterránea (*Ceratitis*) y daños causados por aves como gorriones y estorninos (García *et al.*, 1994).



Fotografía 6. Daños provocados por Ragoletis cerasi L. en cereza.

Aunque no solo los grandes organismos son los que atacan a esta especie. Otra causa importante de pérdidas de cosecha, es el Virus de la cereza pequeña (*Little cherry virus*, LCV). Este afecta de manera importante sobre todo en el norte de Alemania (Harms *et al.*, 1996). Y no solo virus; también fitoplasmas. La virulencia del fitoplasma de la Dureza

amarilla del fruto (*Stone fruit yellow*, SFY) también ha repercutido de forma importante en la producción de cereza (Kison y Seemuller, 2001).

Como se ve, son variados los problemas postcosecha, así como los factores que lo producen. Pero las principales enfermedades postcosecha de cereza son producidas por el desarrollo de podredumbres de origen fúngico. Existen varios hongos filamentosos comúnmente asociados con pudriciones de postcosecha en cerezas. Estos corresponden a moho azul (*Penicillium expansum*), moho verde (*Alternaria alternata*), moho verde oliváceo (*Cladosporium herbarum*), pudrición café (*Rhizopus stolonifer*) y pudrición morena (*Monilia laxa*) (Latorre, 2008).

La infección por *Monilia* spp. se manifiesta especialmente en años lluviosos, durante la época de floración y desarrollo del fruto, infectando rápidamente a los frutos en presencia de humedad y temperaturas cálidas, entre 20 y 26 °C. La infección por *Botrytis cinerea* es proclive en frutos senescentes y con prolongada conservación. En condiciones de baja humedad relativa se producen abundantes esporas de color gris, mientras en condiciones húmedas su desarrollo un abundante micelio algodonoso. Su desarrollo, aunque lentamente, puede producirse a 0 °C. La infección por *Penicillium expansum* se produce sobre fruta dañada o senescente. El fruto infectado desarrolla un sinnúmero de diminutas esporas verde-azuladas, con gran capacidad de dispersión. Las infecciones por *Rhizopus stolonifer* se producen durante la postcosecha de los frutos. Se desarrolla en frutos con lesiones epidérmicas producidas por el rajado y la manipulación. Presenta una alta capacidad de propagación e infección mediante esporas, necesitando temperaturas superiores a 4 °C (Alonso y Alique, 2006). La *Alternaria* spp. aparece como una mancha en la piel de la fruta, con esporas verde oliva y hebras blancas. El tejido afectado se separa posteriormente de la carne que lo rodea. Y en el caso de *Cladosporium herbarium*, cuando el tejido se deteriora se vuelve duro y seco; el color pasa de gris a negro. Normalmente, este hongo infecta al fruto por las heridas en la piel.

Todas las patologías o causantes de deterioro anteriormente citadas podrían verse reducidas e incluso eliminadas con un programa eficiente de control integrado de estas enfermedades, así como con la implantación de unas buenas prácticas de precosecha y postcosecha. Este programa conllevará prácticas conjuntas que van desde la aplicación de tratamientos fungicidas durante la pre y postcosecha, recolección cuidadosa en óptimo estado de maduración, eliminación de calor del campo, manipulación cuidadosa, baja

temperatura de conservación, envasado en atmósferas modificadas, limpieza adecuada de los equipos de manipulación y desinfección de agua, etc. (Alonso y Alique, 2006).



Fotografía 7. Infección provocada por Botrytis cinerea en cereza.

1.5. Nuevas tecnologías en la mejora de la calidad de las cerezas

Puesto que el consumo en fresco es el principal destino de la cereza, mejorar su calidad, así como su apariencia física, supone una mayor vida útil y un periodo más extenso en el que podría ser escogido por el consumidor, traducándose entonces en una mayor repercusión económica. A lo largo de la historia han sido muchas las prácticas o métodos estudiados, tanto en pre como en post cosecha, persiguiendo este mismo objetivo. Empezando con la búsqueda de nuevas variedades productivas, con un tamaño homogéneo, tolerante al fenómeno del rajado y a los hongos, con buena firmeza y propiedades organolépticas y adaptadas a distintos canales de distribución (Boubennec, 2019). Con estudios genéticos basados en la transcripción y secuenciación del genoma y el análisis de la estructura y expresión de genes; como las expansinas y β -galactosidasa, ambas relacionadas con los mecanismos que inducen al agrietamiento en cereza (Balbontín et al., 2013). Métodos que han permitido la identificación de varios locus de rasgo cuantitativo (QTL) relacionados con fenotipos asociados al tamaño y peso del fruto, la firmeza y otros parámetros relacionados con la calidad, como son el color, el contenido de azúcares o la acidez, o el ya comentado rajado; marcadores utilizados en programas de mejora con el fin de obtener una mejora en el deterioro y la calidad del fruto (Quero-García et al., 2022).

Sin embargo, a espera de estas mejoras varietales, se trata de mejorar la calidad y limitar la senescencia en los frutos que se obtienen en la actualidad. Esto comienza desde el momento previo a la cosecha, incluyendo un programa de control integrado de enfermedades y plagas (Alonso y Alique, 2006). Además de unas buenas prácticas de manejo y recolección y evitando así daños mecánicos como los producidos por impacto ('pitting') o por compresión ('bruising') (Candan et al., 2017). Y sin olvidar el manejo de la temperatura y humedad; factores implicados en la deshidratación del fruto y del pedúnculo. Controlar la temperatura de mantenimiento es la principal técnica para mantener la calidad del fruto durante la postcosecha. La temperatura recomendada de almacenamiento y transporte en cereza es de 0 °C. Sin embargo, la temperatura recomendada para la cosecha y el manejo es de entre 10 y 20 °C, ya que dentro de este rango la incidencia de daños por impactos o compresión es menor (Crisosto *et al.*, 1993). Además, profundizando más en el tema, la principal medida para reducir la transpiración y respiración de los frutos y alargar su vida postcosecha es la rápida eliminación del calor de campo, en un tiempo inferior a las cuatro horas desde la recolección (Alonso y Alique, 2006). Los túneles de aire forzado, el hidroenfriamiento y el enfriamiento en habitación ('Room Cooling') son los métodos idóneos para una correcta refrigeración de este fruto; siendo la velocidad del aire, la temperatura del aire, la distribución del producto y el mantenimiento de la humedad, factores clave (Zoffoli, 2022). Finalmente, una vez introducida la materia prima y estabilizada a baja temperatura, no podemos obviar el control durante todo el proceso en la línea de empaque para asegurar su calidad final. Esto incluye: el control de la temperatura de la fruta y de la sala de empaque, la cloración y control de la temperatura del agua de proceso, la capacitación del personal, el control del volcado o vaciado, selección y clasificación, limpieza y salinización, y la aplicación de los tratamientos postcosecha pertinentes (Candan *et al.*, 2017).

Estos tratamientos postcosecha son principalmente productos fungicidas para eliminar o reducir la incidencia de hongos patógenos, como son el ludioxonil, iprodione, pirimetanil, o el carvacrol o timol. Una alternativa a estos fungicidas es el control biológico con antagonistas microbianos que actúan de diferente forma, incluyendo la competencia, antibiosis, parasitismo, resistencia inducida en el tejido huésped y producción de metabolitos volátiles (Jamalizadeh *et al.*, 2011). La eficacia de estos antagonistas mejora en combinación con almacenamiento en frío y/u otros tratamientos poscosecha, como la aplicación de compuestos antimicrobianos (bicarbonato de sodio, sorbato potásico, ácido

salicílico y molibdato de amonio) y el almacenamiento en atmósferas controladas (Karabulut *et al.*, 2001).

A esto se le suma el uso de coberturas comestibles con compuestos naturales, que proporcionan una barrera física ante la pérdida de agua e intercambio de gases; como en el caso de las coberturas con quitosano o la inmersión en soluciones con melatonina, ácido oxálico, ácido salicílico o ácido acetil-salicílico (Zoffoli, 2022). Además de otras coberturas comestibles, como alginato, gelatina, carboximetilcelulosa, cloruros de calcio, goma de almendras, goma arábica, gel de aloe vera o ácido β -aminobútrico (Rojas-Argudo *et al.*, 2005).

Otra alternativa es el almacenamiento en atmósfera controlada o atmósfera modificada con bajas concentraciones de O₂ y altos niveles de CO₂ para disminuir la respiración. Aunque los cambios en los niveles de estos gases pueden afectar a otros parámetros de calidad, como la metabolización de pigmentos y compuestos fenólicos y volátiles (Goliás *et al.*, 2007). Entre 0 y 5 °C, las cerezas muestran una tolerancia e muy bajos niveles de oxígeno (0,02% O₂, 21-25 días) y pueden ser almacenadas por varias semanas a 0,5%-1% O₂ o 20%-40% CO₂ (Golding *et al.*, 2012).

La irradiación ha resultado ser una buena técnica para alargar la vida útil de esta fruta, ya que inhibe el crecimiento de hongos y retrasa la senescencia (Wilkinson y Gould, 1998). En dosis de 1 kGy, la firmeza, los sólidos solubles, el peso y la apariencia externa del fruto no se ven afectados, aunque si se aprecia la decoloración del pedúnculo (Jessup, 1990). Si bien es cierto que no es una técnica con buena aceptación en el consumidor a la hora de la elección o rechazo del producto.

Finalmente, la aplicación de bioestimulantes ha reportado datos esperanzadores en la mejora de la calidad de la cereza. Éstos han surgido como nuevos y prometedores productos respetuosos con el medio ambiente para promover la sostenibilidad general de los sistemas de producción. Los ácidos húmicos y flúvicos, los hidrolizados de proteínas, extractos de algas, quitosano y otros biopolímeros, compuestos inorgánicos, hongos beneficiosos y bacterias son categorías ampliamente aceptados de bioestimulantes con potencial comprobado para mejorar el crecimiento de las plantas, aumentar la producción de cultivos y la calidad del producto final. Algunos incluso tienen la capacidad de aumentar la adsorción de nutrientes y mejorar la tolerancia al estrés de la cosecha. Los ácidos húmicos reducen la degradación de la membrana e incrementan la actividad de la

peroxidasa en las hojas; los ácidos flúvicos producen un aumento de la materia seca y el rendimiento de la raíz y la fruta; la betaglicina muestra un incremento en tamaño y contenido total en sólidos solubles, polifenoles, vitamina C contenido de antocianinas y actividad antioxidante, aunque disminuye el contenido en carotenoides y ácido ascórbico; los extractos de algas muestran un incremento de peso, tamaño, sólidos solubles, polifenoles, contenido en vitamina C y disminución en el rajado; el quitosano reduce la senescencia en almacenamiento; los silicatos incrementan la firmeza del fruto; los compuestos fúngicos mejoran sobre todo la raíz; y los compuestos bacterianos mejoran el tamaño y el contenido en sólidos solubles y reducen el efecto del estrés por salinidad (Afonso *et al.*, 2022). Algunos, como los ácidos húmicos y fúlvicos, ya son de uso extendido. El más conocido y mayormente estudiado en el mundo es la Leonardita, reportando resultados muy positivos en cuanto al crecimiento acumulado de brotes de cerezos y el crecimiento del diámetro del tronco (Hirzel, 2016).

2. OBJETIVOS

La cereza es un fruto con una fuerte repercusión económica, tanto nacional como mundialmente. Sin embargo es un producto con una corta vida útil. La senescencia de este fruto provoca alteraciones en el color, la firmeza, el contenido total de sólidos solubles y la acidez titulable, entre otros. Estos parámetros de calidad son de gran importancia para el consumidor a la hora de la aceptación o rechazo del producto, así como el pardeamiento del pedicelo o la presencia de manchas o defectos en la piel.

Son muchas las técnicas utilizadas hasta la fecha para intentar paliar o erradicar estos problemas. Y, si bien es cierto que ha habido avances, las incidencias reportadas siguen siendo cuantiosas traduciéndose en importantes pérdidas económicas.

Con la realización del presente trabajo se pretende analizar el efecto de compuestos de origen natural aplicados en precosecha como posibles soluciones ante el deterioro de la cereza y su pérdida de calidad. Para ello, se probará la efectividad de la aplicación de putrescina ($C_4H_{12}N_2$) desde el momento de la aparición del botón floral hasta su cosecha. Concretamente en la variedad Prime Giant.

Se observarán los cambios en peso, color, textura, la cantidad de CO_2 producida, el contenido en sólidos solubles, acidez titulable, la calidad del pedicelo y el contenido en compuestos bioactivos. De esta forma podremos determinar la calidad de la cereza a lo

largo del periodo de postcosecha, así como la obtención o no de un retraso en la senescencia.

Con todo ello y a modo de resumen, el objetivo de este estudio es el de incrementar las posibilidades de conservación desde el momento de la cosecha. De esta manera, al alargar su vida útil se podría extender también su periodo de expedición y venta, así que como ampliar incluso las fronteras de exportación de la cereza. A su vez que se reduciría la cantidad de residuos y la cantidad de producto desechado. Hechos que se traducirían principalmente en una mayor sostenibilidad, repercusión económica e importancia para el ámbito agroalimentario en general.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material vegetal

Son numerosas las variedades de cereza existentes hasta la fecha. Sin embargo, para la realización del presente estudio se utilizó la variedad Prime Giant, cultivada en Alcoy, un municipio situado al sureste de España, en la provincia de Alicante.

Esta variedad es una obtención del centro del investigador privado de Marvin Niess, en California, Estados Unidos. Nació de un cruce entre las variedades Ruby y Garnet y también es conocida por el nombre de ‘Sunana’. Al llegar a España fue multiplicada antes de ser registrada, motivo por el cual perdió los derechos de registro y actualmente se encuentra ampliamente expandida sin patente.

Se trata de una cereza de clasificación como temprana, estando su maduración retrasada en solo diez días respecto a la variedad de referencia Burlat. Su vigor es medio-alto y es de porte erecto y presenta una productividad elevada, aunque puede verse afectada muy negativamente en plantas contaminadas de virus.

Los frutos son de tamaño “Super Jumbo o Giant”, presentando calibres de entre 28 y 30 mm y una forma cordiforme. Su color de piel es rojo oscuro, siendo de un tono más claro en la pulpa. Y presenta buenas características en firmeza y sabor, contando con 18-20 °Brix. Sin embargo, son sensibles al agrietado, especialmente en la zona peduncular.

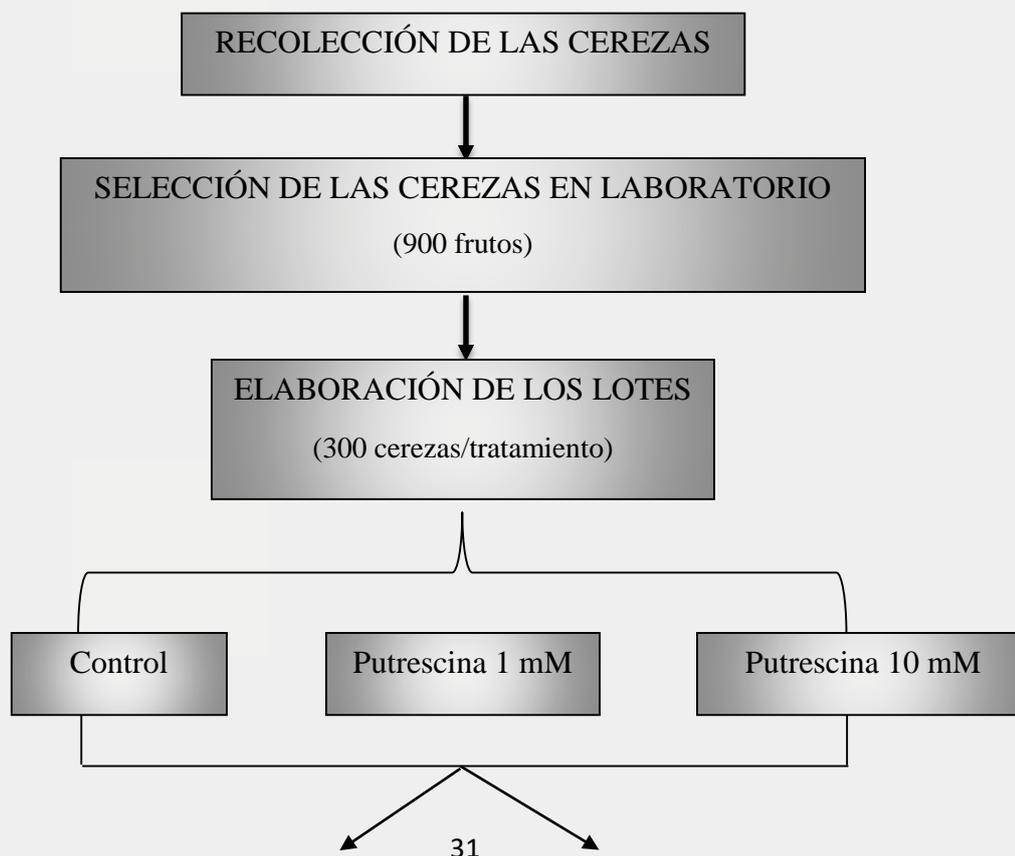
3.2. Diseño experimental

El material vegetal, utilizado para la realización de este Trabajo Final de Grado fueron cerezas cv. Prime Giant (*Prunus avium* L.) cultivados en Alcoy y bajo la supervisión de la empresa Mas de Roc Coop. Agrícola. En este estudio se seleccionaron y etiquetaron

apropiadamente 27 árboles. Las aplicaciones foliares (3 L / árbol), se realizaron en 3 lotes de 9 árboles por cada tratamiento: agua destilada (control) y putrescina a dos diferentes concentraciones (1 y 10 mM). Los tratamientos se realizaron en cuatro momentos clave del desarrollo de la cereza: botón floral, plena floración, endurecimiento del hueso y cambios de color. Estas dosis y momentos de aplicación fueron seleccionadas de entre las ensayadas previamente por los miembros del Grupo de Investigación en Post-recolección de Frutas y Hortalizas de la UMH.

Tras la recolección las cerezas fueron transportadas hasta el Dpto de Tecnología Agroalimentaria de la UMH en el mismo día de la cosecha. En el laboratorio se procedió a seleccionar la fruta teniendo en cuenta una serie de características y parámetros que se detallan a continuación:

Para el experimento postcosecha se seleccionaron cerezas libres de daños o fisiopatías atendiendo al color, tamaño y calidad de los frutos. Tras la selección, los frutos se agruparon en lotes o tratamientos de 240 cerezas cada uno (total 720 cerezas) para un total de 4 muestreos bajo condiciones de refrigeración a 2 °C. Estas cerezas se dividieron en 4 muestras de 60 cerezas cada una (una para cada día de muestreo) que a su vez se dividió en 3 réplicas de 20 cerezas por tratamiento y día de muestreo (Diagrama 1).



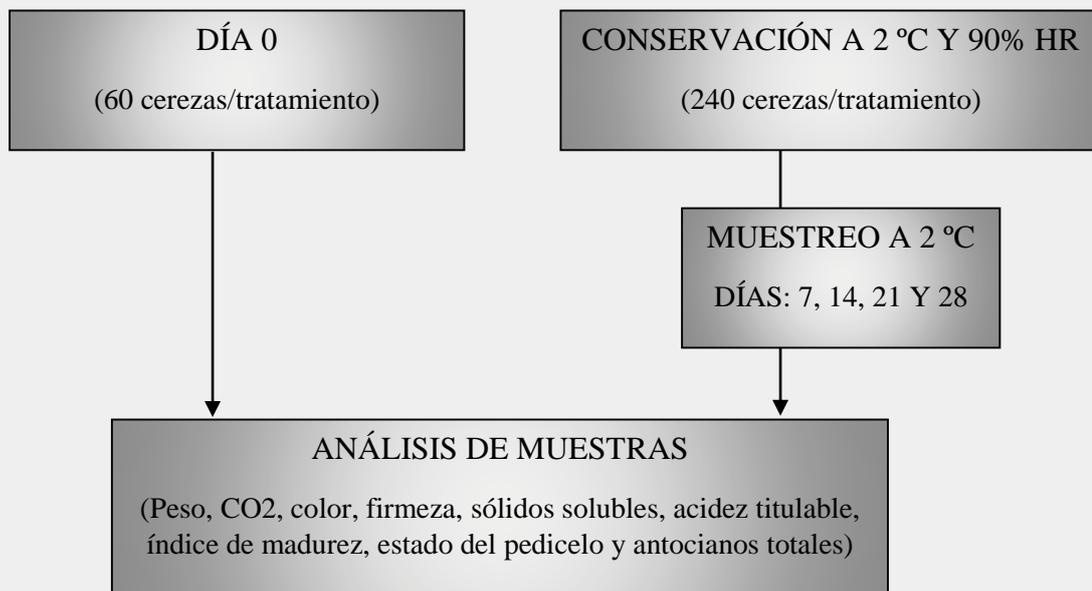


Diagrama 1. Diseño experimental realizado en el estudio de la aplicación postcosecha con distintas concentraciones de putrescina en cerezas cv. Prime Giant.

De forma adicional se seleccionaron otras 60 cerezas de cada tratamiento (total 180 cerezas) para evaluar el día 0 y así establecer las condiciones en que las distintas cerezas tratadas en precosecha llegaron al laboratorio en el día de la cosecha, antes de su almacenamiento.

Las cerezas se sometieron a un periodo total de almacenamiento de 28 días en la cámara frigorífica para ser evaluados semanalmente distintos parámetros. En cada uno de los muestreos y tras evaluar los parámetros no destructivos (pérdida de peso, color, tasa de respiración y evaluación de la calidad del pedicelo) se midió la textura y se partieron posteriormente de forma transversal (dos partes iguales) obteniendo muestras homogéneas de 60 mitades por lote. Una de ellas se sometió a congelación profunda (-80 °C) para evaluar posteriormente los niveles de compuestos bioactivos (antocianos) y la otra se utilizó para estudiar el contenido en sólidos solubles y acidez titulable. Fruto de la combinación de estos dos últimos parámetros se estudió la evolución del índice de madurez. A continuación, se detallan las distintas determinaciones relacionadas.

3.3. Determinaciones analíticas

3.3.1. Pérdida de peso

La pérdida de agua y deshidratación son las principales causas de pérdida de peso en los frutos. El peso se encuentra ligado con el tamaño y calibre; factores relacionados con la calidad de la cereza. Mientras en la zona de América pueden aceptar tamaños menores (M y L; <22 mm y 22-24 mm), los mercados de Asia y Europa demandan mayores calibres (XL, Jumbo, Super Jumbo o Giant y Super Giant; 24-26 mm, 26-28 mm, 28-30 mm o >30 mm) (Candan *et al.*, 2017).

Su determinación se lleva a cabo mediante una balanza digital de laboratorio, expresando los resultados en gramos, con una precisión de 0,01 g. Finalmente, al comparar los valores calculados con los iniciales, se calcularán las pérdidas de peso expresadas como porcentaje. Los resultados se han expresado como la media \pm ES de las determinaciones realizadas de forma individual en cada fruto realizadas en cada réplica (n = 3).

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \cdot 100$$

3.3.2. Determinación de CO₂

La cereza se caracteriza por ser una fruta muy perecedera. Entre otras cosas, está relacionado con su actividad metabólica incesante, avanzando lentamente hacia la senescencia del fruto. La velocidad con la que lo hace está íntimamente relacionada con la velocidad a la que el producto respira. Por ello, determinar su tasa respiratoria resulta de gran importancia para determinar las mejores condiciones de manipulación y conservación (Fonseca *et al.*, 2002).

Para la determinación de CO₂ mediante el sistema estático, se introdujo cada réplica de 20 cerezas recipientes de cristal de 0.5 litros de capacidad, con cierre hermético y una tapadera que tenía una válvula de material elastómero que permitió realizar las inyecciones, en cada recipiente. Los frutos permanecieron en los tarros durante 1 h. Sucedió ese tiempo, se procedió a extraer el aire del espacio de cabeza del interior del recipiente. Se extrajeron 2 jeringuillas con un volumen de 1 ml cada una, de cada uno de los recipientes. Cada tratamiento se analizó por triplicado (n=3). Para determinar el CO₂, se inyectó el contenido de las jeringuillas en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC 14A). La concentración de CO₂ en las muestras tomadas de los frascos, se calculó comparando el área de integración del pico de la muestra con la de los patrones utilizados de concentración conocida. Los resultados para la tasa de respiración fueron la media \pm ES y se expresaron como mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

A continuación, se muestran las condiciones de trabajo:

Temperatura del horno = 50 °C

Temperatura del inyector = 115 °C

Temperatura del detector = 115 °C

Flujo del gas portador (Helio) = 16 ml/mm

Patrón usado: aire atmosférico (0.036%)

3.3.3. Evaluación del color

El color de la epidermis de la cereza es un factor importante a la hora de decidir el momento de cosecha de la cereza. Siendo su preferencia variable, en función del país o región en el que sea comercializada. Los mercados europeos demandan frutos en un tono más rojo intenso, mientras los mercados asiáticos las prefieren más oscuras. Por regla general, conforme aumenta la maduración, el color de la cereza se oscurece e intensifica (Candan *et al.*, 2017).

Para la determinación de este parámetro existen en el mercado distintas cartas de color, con distinto origen. E incluso tablas comparativas que las relacionen entre ellas, como es el caso entre el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) y el CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes). Sin embargo esta técnica es muy subjetiva y puede variar al cambiar el operario que realiza esta labor.

Tabla 3. Comparativa de color entre las cartas de color de INTA y CTIFL.

	Rosa	Rojo claro	Rojo	Rojo oscuro	Caoba	Caoba oscuro	Negro
INTA	-	1	2	3	4	5	6
CTIFL	1	2	3	4	5	6	7

Fuente: Pautas para el mantenimiento de la calidad de cerezas. INTA (Candan *et al.*, 2017).

Para obtener valores objetivos y precisos, se evaluará de manera instrumental, con un colorímetro digital. Para la determinación del color se empleó el sistema CIE Lab (L^* , a^* , b^*) mediante un colorímetro triestímulo Konica Minolta modelo CR400. Se efectuó una medida en cada una de las caras de cada cereza de forma individual por triplicado en cada tratamiento (n=3). Las coordenadas de color con las que trabaja este instrumento son

L^* , a^* y b^* , medidas en el espacio de color CIE Lab (Comisión Internacional de la Iluminación). Éste fue diseñado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde a la vez, ni amarillo y azul al mismo tiempo. Por tanto, de forma numérica y en un rango de 0 a 100 para L^* y de -60 a 60 para a^* y b^* , L^* indica la luminosidad y a^* y b^* son coordenadas cromáticas. La a^* indica la coordenadas rojo/verde, siendo positiva ($a +$) el rojo y negativa ($a -$) el verde. La b^* indica la coordenadas amarillo/azul, siendo positiva ($b +$) el amarillo y negativa ($b -$) el azul.

3.3.4. Determinación de la firmeza

La firmeza es un factor muy considerado en la elección o rechazo de la cereza. No solo a nivel de consumidor; una buena firmeza se asocia con una mayor resistencia de los frutos a la manipulación, daños mecánicos y podredumbres, por lo que los productores y comercializadores también persiguen valores adecuados de este parámetro. Además, el conocimiento de la firmeza en el momento de la cosecha ayuda a decidir el destino o la calidad general de un lote. En algunas regiones incluso se establecen rangos de firmeza que pueden ser tomados en cuenta para la cosecha de cada variedad (Candan et al., 2017).

Tabla 4. Relación entre los valores de firmeza obtenidos con el equipo “Durofel” (0-100) y la calidad de los frutos al momento de cosecha.

	Valor Durofel (0-100)	Observaciones
No exportable	<60	No cosechar Fruta “pasada”
Exportable con riesgo	60-65	Límite inferior de firmeza Cosecha tardía
	65-70	Límite medio de firmeza Cosecha tardía
Exportable	70-75	Buena firmeza Cosecha oportuna
	75-80	Muy buena firmeza Cosecha óptima
	>80	Muy buena firmeza Valores poco frecuentes

Fuente: Pautas para el mantenimiento de la calidad en cerezas (Candan et al., 2017).

La firmeza se puede medir de diferentes formas, desde métodos menos sensibles hasta otros más sofisticados y exactos. Para determinar la firmeza de las cerezas evaluadas en este Trabajo Final de Grado, se utilizó un Texturómetro TAXT2i (Texture Analyzer, Stable Microsystems, Godalming, UK) que es válido para hacer ensayos de tracción, compresión y flexión, con una fuerza máxima de ensayo de 25 KN y una precisión en la medida de 0,5-1 %. Esta máquina estaba conectada a un ordenador para registrar los datos y posteriormente procesarlos. Con esta prueba se pretende deformar el producto con respecto a su diámetro ecuatorial. Para ello, se utilizó un disco plano de acero montado sobre un texturómetro. La velocidad de descenso del disco fue de 20 mm min^{-1} , hasta alcanzar una deformación del 5%. Se realizó una medida en cada fruto. Los resultados se expresaron como la relación existente entre la fuerza necesaria para conseguir la deformación anteriormente citada y la distancia de dicha deformación en N mm^{-1} y son la media \pm ES de las determinaciones realizadas de forma individual en cada fruto realizadas en cada réplica ($n = 3$).

3.3.5. Evaluación de los sólidos solubles totales (SST)

A diferencia de otros frutos, las cerezas no acumulan almidón, por lo cual el contenido de azúcares no se ve incrementado una vez cosechadas. El contenido de sólidos solubles totales (SST) incrementa a medida que el fruto madura, en el árbol. Por lo que resultados de alto contenido en SST se relacionan directamente con un elevado estado de madurez. Sin embargo, bajo condiciones inadecuadas de almacenamiento la cereza puede sufrir deshidratación provocando una concentración de azúcares y dando resultados erróneos de cifras elevadas en SST debida a la acumulación de los mismos y no a su síntesis. Una correcta manipulación y control durante todo el proceso reduciría o eliminaría este error (Candan *et al.*, 2017).

Para la determinación del contenido total en sólidos solubles (SST) se utilizó la refractometría sobre el zumo filtrado extraído de cada réplica de 20 mitades de cereza por duplicado ($n=3$). Esta técnica se basa en la diferencia que existe entre los índices de refracción del agua destilada y un medio de concentración determinada de sustancias disueltas. Este método no establece estrictamente el nivel de azúcares, sino la concentración de sólidos solubles, la cual se relaciona con el nivel de azúcares y con el estado de madurez de los frutos.

Antes de realizar la determinación de los sólidos solubles se llevó a cabo la preparación de las muestras. Para ello, se trocearon cada una de 20 mitades de cereza por muestra en las tres réplicas de cada lote por separado. Estas muestras homogéneas se envolvieron en una tela de algodón para poder exprimir las con la ayuda de un mortero. De esta manera, se extrajo el zumo y se realizó la medida por duplicado en cada una de las tres muestras por lote o tratamiento ($n = 3$) y se expresaron como la media \pm ES.

Para realizar la determinación de los sólidos solubles se midieron los $^{\circ}$ Brix (g sacarosa 100 g^{-1}) colocando unas gotas del zumo extraído de cada muestra en un refractómetro con una sensibilidad de $\pm 0,2$ $^{\circ}$ Brix. El refractómetro se calibra con agua destilada y las medidas fueron realizadas bajo una temperatura de 20 $^{\circ}$ C.

3.3.6. Determinación de la acidez titulable (AT)

La acidez titulable, junto al contenido en sólidos solubles, está fuertemente ligado al sabor final de la cereza. Razón por la cual es considerado un parámetro de calidad a la vez que un indicador de la madurez en los frutos. Los valores de AT tienden a disminuir a medida que el fruto madura ya lo largo de su vida postcosecha, aunque se ha observado que presentan un aumento los días previos al momento óptimo de cosecha. Una vez pasados estos días, sus valores de AT presentan carácter descendente. Es importante una gestión eficiente de la temperatura una vez cosechada y durante todo el proceso productivo. Cuando los frutos no son enfriados rápidamente, la tasa respiratoria aumenta y se produce un descenso brusco en la AT, lo que se asocia con una mayor incidencia de podredumbres (Candan *et al.*, 2017).

Para determinar la acidez de los frutos se utilizó 1 ml del zumo extraído de cada una de las tres réplicas por lote de cerezas de la forma descrita anteriormente en los sólidos solubles totales y se disolvió en 25 ml de agua destilada por duplicado. Para poder realizar este análisis, se empleó un valorador automático Metrohm, modelo 785DMP Tritino. Así se obtuvo el pH inicial y se consiguió realizar la valoración hasta un pH final de 8,1 con Na OH 0,1 N.

Los resultados se expresaron en gramos equivalentes del ácido orgánico mayoritario (que en este caso es el ácido málico) por 100 gramos de muestra y el resultado final se expresó como media \pm ES ($n = 3$).

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez titulable (\%)} = 6,7 \cdot V1 \cdot f \cdot N \cdot 100/P$$

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 (g)



Fotografía 8. Valorador automático Methrom, para calcular la acidez titulable (%).

Al igual que para el contenido total de sólidos solubles, existen tablas con valores de referencia para determinar el momento de cosecha de la cereza en función de su acidez titulable.

Tabla 5. Índices de madurez de referencia para la cosecha en distintas variedades de cereza.

Variedad	Calibre	Color (1-6)	Firmeza (0-100)	SST (%)	AT (%)	Comentarios
Royal Down	XL-J	3-4	70-80	16-20	0,8-1	Sensible a rajadura cuando está sobremadura
Santina	XL	3-4	70-80	16-18	0,6-1	Sensible al pitting cuando está sobremadura
Lapins	XL-J	3-4	70-75	17-20	0,9-1	Crocante, buen sabor
Sumele	XL-J	3	70-75	17-18	0,9-1,1	
Sweetheart	XL	3-4	70-75	20-21	1-1,3	Crocante. Buen sabor

Early Burlat	L	2-3	50-60	13-17	0,7-1	Poco crocante. Poco sabor
Sylvia	L	3-4	75-80	18-20	0,8-1,0	
New Star	L	3	55-70	16-20	0,9-1,1	Poco crocante. Buen sabor. Ácidas
Celeste	J	3-4	70	17-19	1,1	
Sunburst	XL	2-3	55-70	18-21	1-1,1	Crocante. Buen sabor. Jugosa

Fuente: Pautas para el mantenimiento de la calidad de cerezas (Candan et al., 2017).

3.3.7. Evaluación del pedicelo

La transpiración del pedúnculo es cuatro veces superior a la del fruto. Éste es un tejido verde que por su alta relación superficie/volumen tiende a deshidratarse muy rápidamente. Primero se observa una pérdida en la intensidad del color verde, tornándose amarillentos, luego comienza a pardearse, generalmente desde el extremo distal al fruto, hasta volverse ennegrecidos y delgados. Esto repercute de manera directa en la decisión de compra, dándole al fruto un aspecto envejecido que reduce su calidad. Además de ocasionar daños mecánicos al producir heridas por pinchadura entre frutos con el pedúnculo deshidratado y poco flexible; lo que desemboca en posibles podredumbres (Candan et al., 2017).

La evaluación del pedicelo se realiza de forma visual, identificando el porcentaje de superficie del pedúnculo con coloración parda. Sobre una muestra, se registra el número de frutos en cada grado de severidad, siendo Grado 1: leve (menos del 25% del pedúnculo afectado), Grado 2: moderado (entre 25 y 50% del pedúnculo afectado), Grado 3: severo (entre 50 y 75% del pedúnculo afectado) y Grado 4: muy severo (más del 75% del pedúnculo afectado).

Se calcula entonces la severidad de daño como:

$$\text{Severidad de pardeamiento} = \frac{(\text{N}^\circ \text{ de frutos en cada grado}) \cdot (\text{valor del grado})}{\text{N}^\circ \text{ total de frutos observados}}$$

Al ser este un método bastante subjetivo, es la misma persona siempre la encargada de la evaluación del pedicelo en las muestras estudiadas. Los resultados son mostrados como la media \pm ES de 3 evaluaciones de 20 frutos cada una (n=3).

3.3.8. Antocianos totales

Los antocianos totales fueron evaluados 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 antocianos 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. Análisis estadístico

El experimento se llevó a cabo en un diseño completamente aleatorizado. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y los datos se estudiaron utilizando el paquete de software SPSS v. 20.0 para Windows. Los valores de las medias \pm SE se compararon mediante el Test de Tuckey para un valor $P < 0,05$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Pérdidas de peso

En la siguiente figura se muestra la evolución en la pérdida de peso de los frutos, tanto los tratados con putrescina como los control, a lo largo de la duración del experimento.

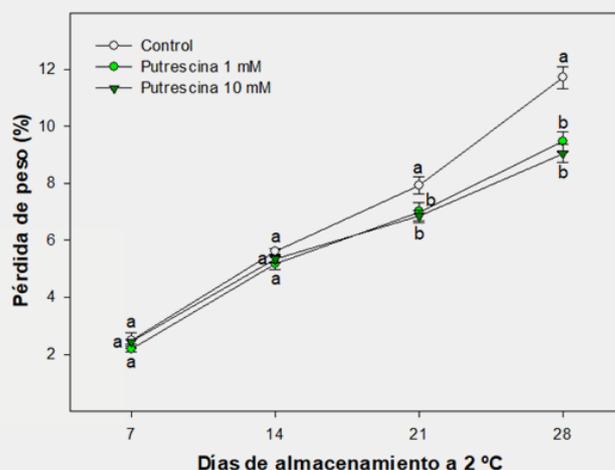


Figura 1. Evolución de la pérdida de peso (%) en cerezas de la variedad 'Prime Giant'

de árboles control y tratados con putrescina, tras 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media ± ES (n=3).

Tras estudiar el efecto de los distintos tratamientos sobre las pérdidas de peso en cereza durante el almacenamiento poscosecha pudimos comprobar como este parámetro aumentó, como era de esperar, a lo largo del almacenamiento en refrigeración (Figura 1). Encontramos diferencias entre los frutos control y aquellos tratados con putrescina, sobre todo a partir de los 21 días de almacenamiento, siendo los lotes tratados con putrescina los que mostraron resultados significativamente inferiores ($P < 0,05$) en la pérdida de peso. Sin embargo, no hubo diferencias entre las distintas dosis de putrescina aplicadas ya que en ambos lotes, tanto a dosis de 1 mM como a dosis de 10 mM, las pérdidas de peso finales son similares.

Comparando con otros estudios, observamos que los resultados obtenidos en este estudio fueron similares tanto si se aplicó putrescina en precosecha como en poscosecha. De hecho, Shanbehpour *et al.* (2020) observaron que los tratamientos precosecha con putrescina retrasaron las pérdidas de peso en jínjoles durante su posterior almacenamiento. De forma análoga, Thapa *et al.* (2022) aplicaron putrescina en guayaba tras la recolección observando también una reducción en las pérdidas de peso. En ambos estudios el incremento de la concentración de putrescina no dio lugar a una mejora significativa de este parámetro. Las menores pérdidas de peso en los frutos tratados con putrescina, pudieron estar relacionadas con una menor respiración en estos frutos, además de una mayor integridad de la piel y los tejidos de los frutos provocado por esta poliamina (Valero y Serrano, 2010).

4.2. Producción de CO₂

La evolución en la tasa de respiración de los frutos control y los tratados con putrescina a lo largo de su almacenamiento poscosecha se representa a continuación en la siguiente figura.

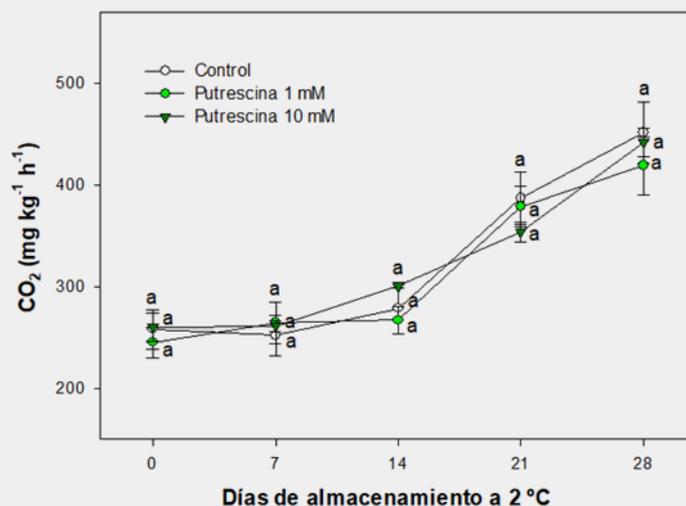


Figura 2. Evolución de la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de cerezas de la variedad 'Prime Giant' de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES ($n=3$).

Con respecto a la evolución en la tasa de respiración durante el almacenamiento poscosecha de cerezas control y cerezas tratadas con putrescina pudimos comprobar que este parámetro aumentó durante el almacenamiento en refrigeración (figura 2). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre aquellos frutos tratados con putrescina y los lotes control.

La tasa de respiración es un factor muy importante a controlar en la senescencia de los frutos. La aplicación de poliaminas, a pesar del leve efecto que ha presentado en este experimento sobre este parámetro, ha permitido la reducción de la tasa de respiración y con ello la reducción del metabolismo en diferentes tipos de fruta. De hecho, tras la aplicación de putrescina a distintas dosis fue capaz de reducir la respiración de distintos frutos tales como albaricoques, kiwis, mangos o ciruelas (Sharma *et al.*, 2017).

4.3. Color

La evolución en el color de los frutos se representa de forma gráfica a continuación.

4.3.1. Color L^*

La evolución del parámetro de color L^* durante el almacenamiento de cereza en refrigeración, en lotes control y lotes tratados con putrescina, se presenta a continuación en la figura 3.

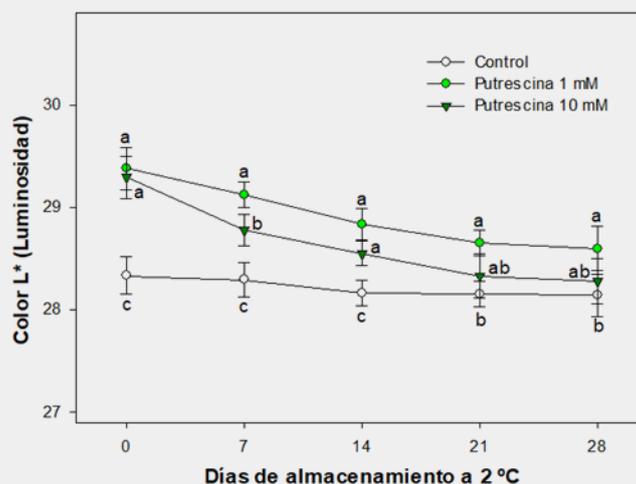


Figura 3. Evolución del parámetro de color L^* de cerezas de la variedad 'Prime Giant' de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES ($n=3$).

Tras evaluar el parámetro de color L^* relacionado con la luminosidad, observamos un ligero descenso de sus valores durante el almacenamiento refrigerado como era de esperar (figura 3). Al comparar los frutos control con aquellos tratados con putrescina se aprecian diferencias significativas ($P < 0,05$), siendo los lotes tratados con putrescina los que obtuvieron valores mayores para este parámetro. Además, comparando entre las diferentes concentraciones de putrescina aplicadas, los resultados obtenidos en los lotes tratados con putrescina 1 mM fueron ligeramente superiores a los obtenidos con putrescina 10 mM.

Comparando nuestros resultados con otros estudios, observamos que el comportamiento de los frutos tratados fue similar. De hecho cuando se trató con putrescina en precosecha peras 'Punjab Beauty', también se observó un retraso en la evolución de este parámetro con respecto a los frutos control (Singh et al., 2020). Un efecto similar se observó tras aplicar putrescina en poscosecha en ciruelas 'Golden Japan' donde los valores más bajos de este parámetro fueron encontrados en los frutos control (Shaaban et al., 2020).

4.3.2. Ángulo hue^*

La evolución del ángulo hue^* durante el almacenamiento de cereza en refrigeración, en lotes control y lotes tratados con putrescina, se presenta a continuación en la figura 4.

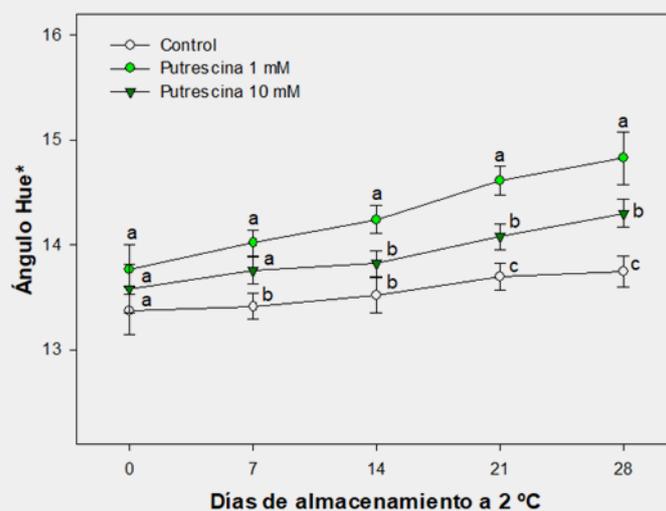


Figura 4. Evolución del ángulo hue* de cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3).

Tras estudiar el efecto de los distintos tratamientos sobre el ángulo hue* podemos observar una tendencia casi constante de este parámetro, con un ligero aumento probablemente debido a la baja homogeneidad que presentaban las muestras. Las diferencias entre los lotes control y aquellos tratados con putrescina fueron más significativas ($P < 0,05$) a partir del día 14 de almacenamiento, siendo ligeramente mayores en aquellos frutos que sí que fueron tratados con putrescina. Si comparamos el efecto de las diferentes dosis aplicadas, se observaron mayores valores de este parámetro para la dosis de putrescina más baja.

Los valores más elevados de ángulo hue* en los frutos tratados con putrescina 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). Este efecto fue coincidente con el encontrado en ciruelas ‘Golden Japan’ tratadas en precosecha con putrescina donde el ángulo hue* fue retrasado en los frutos tratados que mostraron mayores niveles que los observados en los frutos control (Khan y Singh, 2010).

4.4. Firmeza

A continuación se muestra la evolución de la firmeza en las cerezas durante su almacenamiento poscosecha, tanto en lotes control como en aquellos tratados con putrescina.

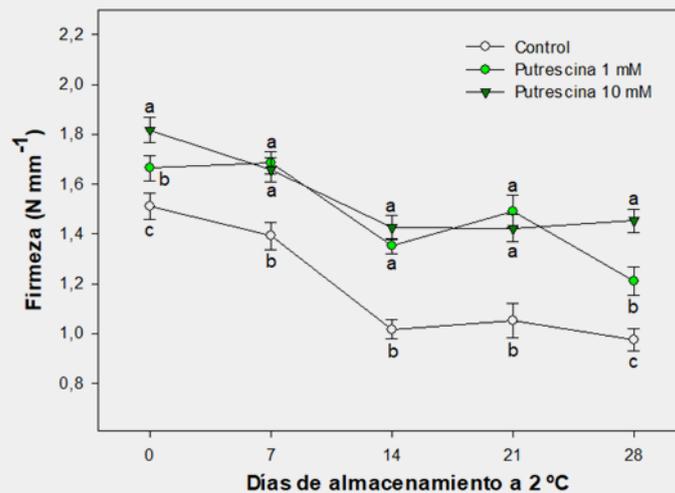


Figura 5. Evolución de la firmeza ($N\ mm^{-1}$) en cerezas de la variedad 'Prime Giant' de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES ($n=3$).

Tras estudiar los valores obtenidos con respecto a la firmeza de los distintos lotes de cereza estudiados pudimos comprobar como en el día de la recolección los frutos tratados con putrescina mostraron niveles de firmeza significativamente superiores ($P < 0,05$) a los frutos control (figura 5). Además, durante el almacenamiento, como era de esperar, este parámetro fue disminuyendo para todos los lotes estudiados. Sin embargo, esta reducción de la firmeza fue significativamente más acusada ($P < 0,05$) en los frutos control que en aquellos tratados con putrescina. Al comparar las dosis aplicadas, ambas presentaron un comportamiento similar, aunque cabe mencionar que la dosis mayor (10 mM) fue la que mostró, en general, los valores más altos de firmeza; sobre todo de cara al último día de muestreo.

Son escasos los estudios previos realizados con aplicaciones precosecha de poliaminas, sin embargo, algunos estudios que han demostrado que la aplicación de estos compuestos tiene efectos positivos a la hora de mantener la firmeza de los frutos durante el almacenamiento. Ehteshamnia *et al.* (2021), relacionaron la aplicación de tratamientos pre y poscosecha con putrescina con un mayor mantenimiento de la firmeza durante el almacenamiento respecto a los frutos control en uva de mesa. Khan *et al.* (2007), determinaron que la aplicación de distintas poliaminas antes del almacenamiento retrasaba significativamente el ablandamiento en ciruelas de la variedad Angeleno. En pera, Hosseini *et al.* (2017) observaron que con la aplicación de putrescina también mejoró la firmeza con respecto a los frutos control. Además, al igual que en los resultados

aquí presentados, en nectarinas concentraciones altas (10 mM) mantuvieron la firmeza del fruto (Serrano et al., 2016). Además, en peras tratadas con putrescina, también fueron las concentraciones más altas ensayadas las que presentaron los valores más altos de firmeza (Singh *et al.*, 2022).

Este efecto positivo parece estar relacionado con la unión de las poliaminas a la pared celular que da lugar a que se bloquee el acceso de enzimas degradantes de la pared celular (Valero y Serrano, 2010).

4.5. Sólidos Solubles Totales (SST)

La diferencia encontrada en el contenido de azúcares totales en cereza tratada y no tratada con putrescina se expresa de forma gráfica a continuación.

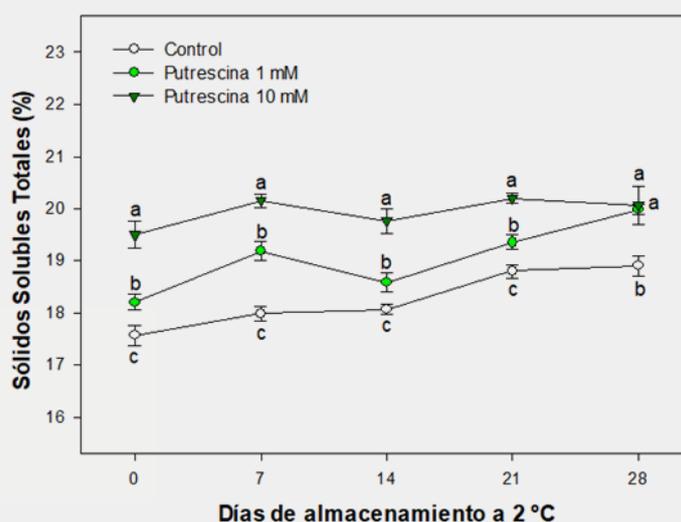


Figura 6. Evolución del contenido en sólidos solubles totales ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de cerezas de la variedad 'Prime Giant' de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm desviación estándar ($n=3$).

Una vez estudiados los resultados obtenidos en la evolución del contenido en sólidos solubles en cerezas control y sometidas al tratamiento con putrescina se observó un aumento de este parámetro (figura 6). Además, la aplicación de putrescina en cualquiera de sus dosis produjo un aumento significativo ($P < 0,05$) de los sólidos solubles, tanto en el momento de la recolección como a lo largo del almacenamiento poscosecha en refrigeración. Además, los valores observados fueron significativamente mayores ($P < 0,05$) cuando se aplicó la mayor concentración de putrescina (10 mM).

Un efecto similar se observó en las ciruelas ‘Golden Japan’, en las que los SST fueron mayores en las muestra tratadas con putrescina y otras poliaminas (Shaaban *et al.*, 2020). También se observó este comportamiento al aplicar putrescina en precosecha de pera (Hosseini *et al.*, 2017).

4.6. Acidez titulable (AT)

En la figura 7 se representa la evolución de la acidez titulable (%) en los diferentes lotes estudiados y a lo largo de su almacenamiento a 2 °C desde el momento de la recolección.

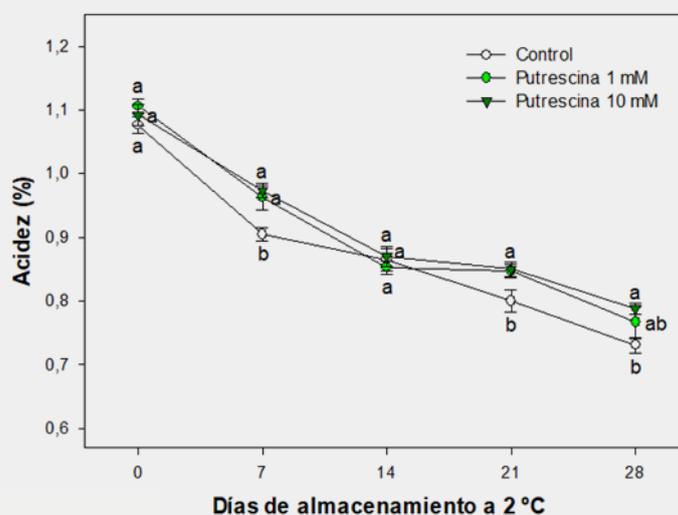


Figura 7. Evolución del contenido en acidez titulable ($\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de cerezas de la variedad ‘Prime Giant’ de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm desviación estándar ($n=3$).

Una vez completado el estudio y tras el análisis de los resultados, se observa, como era de esperar, una reducción general de la acidez titulable (%) en todos los lotes. La aplicación de putrescina no mostró diferencias demasiado acusadas respecto a los lotes control, pero los valores de acidez de los lotes tratados con putrescina fueron significativamente superiores ($P < 0,05$). Sin embargo no se encontraron diferencias relacionadas con las distintas concentraciones de putrescina aplicadas.

Resultados similares fueron observados en otro estudio realizado en pera, donde la mayor acidez titulable fue observada en los lotes tratados con distintas concentraciones de putrescina (Singh *et al.*, 2022).

La aplicación de putrescina 1 mM podría haber provocado una síntesis de GABA, utilizándose este compuesto como aporte energético adicional para el fruto (Shelp *et al.*,

2012; Nikmaram et al., 2017) en lugar de otros sustratos energéticos como los azúcares y los ácidos orgánicos, acumulándose, por tanto, mayor cantidad de estos en los frutos tratados, siendo el consumo de estos menor que su acumulación en los mismos.

4.7. Evaluación del pedicelo

A continuación se muestra la evolución en el pardeamiento del pedicelo, comparando entre los lotes control y los tratados con putrescina desde el momento de la recolección (figura 8).

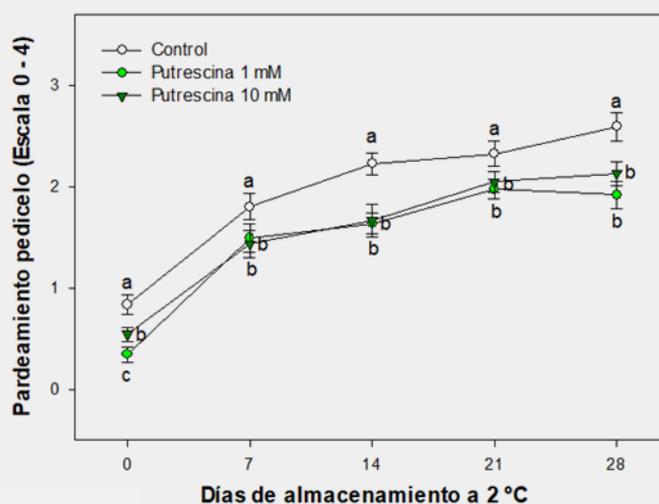


Figura 8. Evolución del pardeamiento del pedicelo de cerezas 'Prime Giant' de frutos control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES (n=3).

Los resultados mostraron un aumento en el pardeamiento del pedicelo conforme avanza el periodo de almacenamiento en refrigeración. Esta tendencia fue común en todos los lotes estudiados. Sin embargo, se observan diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los frutos tratados con putrescina y los control, siendo estos últimos los que presentan un mayor pardeamiento durante el almacenamiento refrigerado y hasta el último día de muestreo.

El pardeamiento general en los tejidos es uno de los factores que más influyen en la elección o rechazo por el consumidor. La aplicación de putrescina y otras poliaminas han conseguido una reducción de estos pardeamientos en distintos frutos. Su aplicación en dosis y métodos variados han demostrado una mejora en este parámetro en diversos tipos de frutas como la ciruela, la granada, melocotón o naranja (Sharma *et al.*, 2017). Es posible, que la mayor integridad de los tejidos observada en los frutos tratados con

poliaminas, sea la responsable de la menor deshidratación del pedicelo, evitando una deshidratación excesiva y contribuyendo al mantenimiento de la calidad y frescura, tanto del fruto como del pedicelo (Linke et al., 2010).

4.8. Antocianos totales

A continuación se presentan los resultados obtenidos al evaluar el contenido en antocianos totales en las cerezas (figura 9).

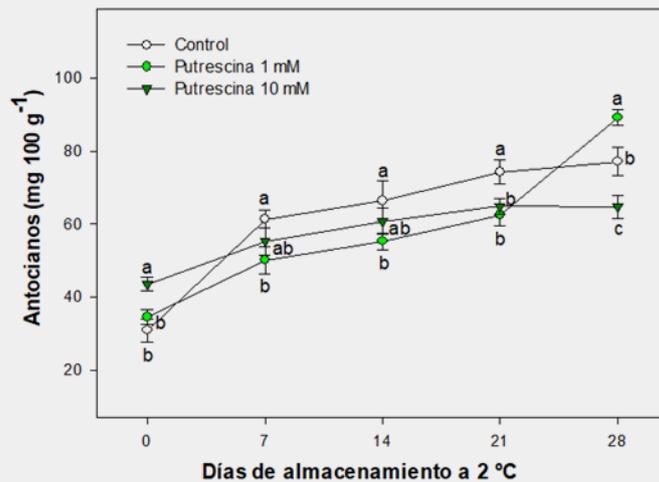


Figura 9. Evolución del contenido en antocianos totales ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$) en cerezas de la variedad 'Prime Giant' de árboles control y tratados con putrescina tras 0, 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 2°C. Los valores representan la media \pm ES ($n=3$).

Una vez observados los datos obtenidos, pudimos comprobar que el contenido en estos compuestos bioactivos aumentó a lo largo del almacenamiento. Además, en el momento de la cosecha los niveles de antocianos totales fueron superiores en los frutos tratados con la mayor de las concentraciones (10 mM). Sin embargo, a lo largo del almacenamiento en los lotes tratados con putrescina se observó un retraso en la acumulación de estos compuestos con respecto a los lotes control mostrando diferencias significativas ($P < 0,05$).

El contenido en antocianos nos determina la coloración rojiza de los frutos por lo que en general, un fruto con menor acumulación de antocianos podría estar reflejando una madurez o senescencia retrasada con respecto a los lotes control. En consonancia con nuestros resultados y en otros frutos no climatéricos como la uva de mesa el tratamiento con poliaminas dio lugar a un contenido de estos compuestos significativamente menor (Champa et al., 2015).

5. CONCLUSIONES

Una vez estudiados los principales resultados observados en este Trabajo Final de Grado podemos extraer las siguientes conclusiones:

Los tratamientos precosecha con putrescina fueron exitosos a la hora de mejorar la calidad postcosecha de las cerezas pudiendo constituir este tipo de tratamiento una herramienta muy interesante con claros beneficios para los productores.

Pese a que las distintas concentraciones de putrescina que se aplicaron en este estudio fueron capaces de mejorar los distintos parámetros estudiados, la aplicación de dosis elevadas de esta poliamina no mejoraron de forma significativa los beneficios observados con la dosis más baja ensayada.

Los tratamientos con putrescina retrasaron la maduración en el árbol tal y como se observó en el momento de la cosecha. Además retrasaron la senescencia de las cerezas mediante una menor pérdida de peso incrementando los niveles de firmeza. Estas menores pérdidas de peso también afectaron a la calidad del pedicelo que mantuvo su calidad por más tiempo. El color de los frutos tratados estuvo determinado por una menor acumulación de antocianinas lo cual denota el estado más inmaduro observado en los frutos tratados con putrescina. Asimismo, estos tratamientos incrementaron los niveles de azúcares y acidez de los frutos lo cual incrementa la aceptación del consumidor.

Por tanto la aplicación foliar de putrescina (1 mM) podría suponer una prometedora tecnología capaz de retrasar la maduración en el árbol de los frutos tratados así como la posterior senescencia durante el almacenamiento postcosecha.

6. BIBLIOGRAFÍA

Afonso, S., Oliveira, I., Meyer, A., y Gonçalves, B. (2022). Biostimulants to Improved Tree Physiology and Fruit Quality: A Review with Special Focus on Sweet Cherry. *Agronomy* 2022, 12, 659.

Alonso, J., y Alique, R. (2006). Tratamientos de postcosecha para mantener la calidad de las cerezas. Métodos de control de calidad desde la recolección del fruto hasta la venta y nuevas líneas de investigación. *Frutales de Hueso dossier. Vida Rural*, 31.

Balbontín, C., Ayala, H., Bastías, R., Tapia, G., Ellena, M., Torres, C., Yuri, J. A., Quero-García, J., Ríos, J. C., y Silva, H. (2013). Cracking in Sweet Cherries: A comprehensive review from a physiological, molecular and genomic perspective. *CJAR* 73, 66-72.

Ballesteri, G., Continella, A., Gentile, A., Amenta, M., Fabroni, S., y Rapisarda, P. (2013). Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy. *Food Chemistry*, 140, 630-638.

Boubennec, A. (2019). Varietal innovation for high quality sweet cherry production. *Review n. 37. Italus Hortus*, 26 (1), 21-24.

Brown, S. K., Iezzoni, A. F. y Fogle, H. W. (1996). Cherries. In: *Fruit breeding I: tree and tropical fruits.* (Janick J. and Moore J. N., eds.). Ed. Purdue Univ. Press. W. Lafayette, IN., pp 213-255.

Candan, A. P., Raffo, D., Gomila, T., y Colodner, A. (2017). Pautas para el mantenimiento de la calidad de cerezas frescas. INTA Ediciones. Colección Recursos. ISBN: 978-987-521-852-9.

Champa, H., Guill, M., Mahajan, B. V. C., y Bedi, S. (2015). Exogeneous treatment of spermine to maintain quality and extend postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless under low temperatura storage. *Food Science and Technology*. 60(1): 412-419.

Charlot, G., y Vinciguerra, L. (2005). Le 5e symposium international sur la cerise. *Infos Ctifl*, 215:9.

Christensen, J. V. (2000). Performance in Denmark of 16 European varieties of sweet cherry. *Journal of American Pomological Society*, 54, 172-176.

- Crisosto, C. H., Crisosto, G. M., y Metheney, P. (2003). Consumer acceptance of 'Brooks' and 'Bing' cherries is mainly dependan ton fruit SSC and visual skin color. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 150-167.
- Crisosto, C. H., Crisosto, G. M., y Netri, F. (2006). Inderstanding tree fruit quality base don cnsumer acceptance. *Acta Horticultura*, 712, 183-190.
- Crisosto, C. H., Garner, D., Doyle, J., y Day, K. R. (1993). Relationship between fruit respiration, bruising susceptibility, and temperatura in sweet cherries. *HortScience*, 28, 132-135.
- Dever, M. C., MacDonald, R. A., Cliff, M. A., y Lane, W. D. (1996). Sensory evaluation os sweet cherry cultivars. *HortScience*, 31, 150-153.
- Ehteshamnia, A., Taghipour, S., y Siahmansour, S. (2021). Effect of pre-harvest application of putrescine and post harvesting *Aloe vera* gel on the quality and shelf life of table grape (*Vitis vinifera* cv. 'Yaghouti'). *Food Chemistry*. 347: 129012.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. R. A., y Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages. A review. *Journal of Food Engineering*. Nº 52, 99-119.
- Gao, L., y Mazza, G. (1995). Characterization, quantitation, and distribution of anthocyanins and colorless phenolics in sweet cherries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 343-346.
- García, F., Costa, J., y Ferragut, F. (1994). *Las plagas agrícolas*. Edita Agropubli, S. L. (Phytoma-España). ISBN: 84-605-0857-9.
- García-Pastor, M.E., Giménez, M.J., Valverde, J.M., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Serrano, M., Valero, D., y Zapata, P.J. (2020). Preharvest application of oxalic acid improved pomegranate fruit yield, quality, and bioactive compounds at harvest in a concentration-dependent manner. *Agronomy* 2020, 10, 1522, doi:10.3390/agronomy10101522.
- Girard, B. y Kopp, T. G. (1998). Physicochemical characteristics of selected sweet cherry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 471-476.
- Golding, J. B., Jessup, A., Spohr, L., Daniels, D., Satyan, S., y Pristijono, P. (2012). Efficacy of a combination quarantine treatment at 3°C as a potential disinfestation

treatment for Queensland Fruit Fly (*Bactrocera tryoni* (Froggatt)) in cherry fruit. *Acta Horticulturae*, 934, 343-346.

Goliás, J., Nemcová, A., Canek, A., y Kolenciková, D. (2007). Storage of sweet cherries in low oxygen and high carbón dioxide atmospheres. *Horticultural Science*, 34, 26-34.

Gonçalves, B., Silva, A. P., Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Rosa, E., y Meyer, A. S. (2007). Effect of ripeness and postharvest storage on the evolution of color and anthocyanins in cherries (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 103, 976-984.

Gong, Y. P., Fan, X. T., y Mattheis, J. P. (2002). Response of 'Bing' and 'Rainer' sweet cherries to ethylene and 1-methylcyclopropene. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127, 831-835.

Hancock, J. F., Scorza, R. y Lobos, G. A. (2008). Peaches. 265-298p. In: Hancock, J. F. (Ed.). *Temperature Fruit Crop Breeding*. Springer, USA.

Harms, M., Buttner, C., Graf, H., y Schickedanz, F. (1996). Untersuchungen zur Ausbreitung der virosen Kleinfruchtigkeit der Susskirsche (Little cherry disease) in norddeutschen Erwerbsobstanlagen. *Erwerbsobstbau*, 28, 1, 2-7.

Hayaloglu, A. A., y Demir, N. (2016). Phenolic compounds, volátiles, and sensory characteristics of twelve sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Turkey. *Journal of Food Science*, 81, C7-C18.

Hirzel, J. (2016). Uso de ácidos húmicos y fúlvicos en huerto de cerezos en etapa de formación. *Revista Frutícola Copefruit S. A.* Vol. 38. N° 3. 22-26.

Hosseini, M. S., Fakhar, Z., Babalar, M., y Askari, M. A. (2017). Effect of pre-harvest putrescine treatment on quality and postharvest life of pear cv. Spadona. *Advances in Horticultural Science*. 31(1): 11-17.

Iezzoni, A. F. (2008). Cherries. In J. F. Hancock (Ed.). *Temperature fruit crop Breeding: Germoplasm to genomics* (pp. 151-175). The Netherlands: Springer.

Iglesias, I. (1991). El cultivo del cerezo: situación y perspectivas de futuro en la CEE-12, España y Cataluña. *Fruticultura profesional* 42:37-52.

- Jamalizadeh, M., Etebarian, H. R., Aminian, H., y Alizadeh, A. (2011). A review of mechanisms of action of biological control organisms against post-harvest fruit spoilage. *EPPO Bulletin*, 41, 65-71.
- Jessup, A. J. (1990). Gamma irradiation as a quarantine treatment for sweet cherries against Queensland fruit fly. *HostScience*, 25, 456-458.
- Kappel, F., Fisher-Fleming, B., y Hogue, E. (1996). Fruit characteristics and sensory attributes of an ideal sweet cherry. *HortScience*, 31, 443-446.
- Karabulut, O. A., Lurie, S., y Droby, S. (2001). Evaluation of the use of sodium, potassium sorbate and yeast antagonists for decreasing postharvest decay of sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology*, 23, 233-236.
- Kelebek, H., y Selli, S. (2011). Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2530-2537.
- Khan, A. S., y Singh, Z. (2010). Pre-harvest application of putrescine influences Japanese plum fruit ripening and quality. *Food Science and Technology Int.* 16(1): 53-64.
- Khan, A. S., Singh, Z., y Abbasi, N. A. (2007). Pre-storage putrescine application suppresses ethylene biosynthesis and retards fruit softening during low temperature storage in 'Angelino' plum. *Postharvest Biology and Technology*. 46(1): 36-46.
- Kison, H., y Seemuler, E. (2001). Differences in strain virulence of the European Stone fruit yellow phytoplasma and susceptibility of Stone fruit trees on various rootstocks to this pathogen. *Journal of Phytopathology*, 149, 533-541.
- Lane, W., M. Meheriuk, y D. MacKenzie. (2000). Fruit cracking of a susceptible, an intermediate, and a resistant sweet cherry cultivar. *HortScience*, 35, 239-242.
- Latorre, B. A. (2008). Cerezos saludables. Especial cerezos. *Agronomía forestal*, 34.
- Lichou, J., Edin, M., Tronel, C., Sournier, R. (1990). *Le Cerisier*. Ctifl, Paris.
- Linke, M., Herppich, W. B., y Geyer, M. (2010). Green peduncles may indicate postharvest freshness of sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology*. 58(2): 135-141.

- Looney, N. E., Webster, A. D., y Kupferman, E. M. (1996). Harvest y handling sweet cherries for the fresh market. In *Cherries: Crop Physiology, Plant Materials, Husbandry y Product Utilization*, edited by Webster, A. D. y Looney, N. E., 99. 411-441. Ames: Washington State University Press CAB.
- McLellan, M. R. y Padilla-Zakour, O. I. (2004). Sweet cherry and sour cherry processing. In D. M. Barret, L. P. Somogyi, y H. S. Ramaswamy (Eds.), *Processing fruits: Science and technology* (pp. 497-508). Boca Raton: CRC Press.
- Miller, D. C., K. L. Casavant, y R. J. Buteau. (1986). An analysis of Japanese consumer preferences for Pacific Northwest and Japanese sweet cherries. Washington State Univ. Res. Bul. XB 0974, Pullman, Wash.
- Moing, A., C. H. Renaud, H. Christmann, L. Foulhiaux, Y. Tauzin, A. Zanetto, et al. (2004). Is there a relation between changes in osmolarity of cherry fruit flesh or skin and fruit cracking susceptibility? *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 635-641.
- Nikmaram, N., Dar, B. N., Roohinejad, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Greiner, R., y Johnson, S. K. (2017). Recent advances in γ -aminobutyric acid (GABA) properties in pulses: An overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97(9): 2681-2689.
- Predieri, S., Dris, R., y Rapparini, F. (2004). Influence of growing conditions on yield and quality of cherry: II. Fruit quality. *J. Food Agric. Environ*, 2, 307-309.
- Quero-García, J., Brancherou, C., Barreneche, T., y Dirlewanger, E. (2022). DNA-informed breeding in sweet cherry: current advances and perspectives. *Italus Hortus*, 29, 14-37.
- Rojas-Argudo, C., Pérez-Gago, M. B., y del Río, M. A. (2005). Postharvest quality of coated cherries cv. 'Burlat' as affected by coating composition and solids content. *Food Science and Technology International*, 11, 417-424.
- Romano, G. S., Cittadini, E. D., Pugh, B., y Schouten, R. (2006). Sweet cherry quality in the horticultural production chain. *Stewart Postharvest Review*, 6, 2.
- Schotzko, R. T. (1986). Cherry fruit size: A marketing viewpoint. *Postharvest Pomol. Nwsl. Washington State Univ. Coop. Ext.* 4, 14-15.

- Serradilla, M. J., Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Hernández, A., López-Corrales, M., y Córdoba, M. d. G. (2012). Physicochemical and sensorial characterisation of four sweet cherry cultivars grown in Jerte valley (Spain). *Food Chemistry*, 133, 1551-1559.
- Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., y Valero, D. (2005). Chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2741-2745.
- Serrano, M., Zapata, P. J., Martínez-Romero, D., Díaz-Mula, H. M., y Valero, D. (2016). Polyamines as an ecofriendly postharvest tool to maintain fruit quality. *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*. Siddiqui, M. W. (ed). Academic Press Cambridge. 219-242.
- Shaaban, F. K. M., El-Hadidy, G. A. M, y Mahmoud, T. S. M. (2020). Effects of salicylic acid, putrescine and moringa leaf extract application on storability, quality attributes and bioactive compounds of plum cv. 'Golden Japan'. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society*. 8 (2) July 2020.
- Shanbehpour, F., Rastegar, S., y Ghasemi, M. (2020). Effect of preharvest application of calcium chloride, putrescine and salicylic acid on antioxidant system and biochemical changes of two Indian jujube genotypes. *Journal of Food Biochemistry*. Wiley. DOI: 10.1111/jfbc.13474.
- Sharma, S., Pareek, S., Sagar, N. A., Valero, D., y Serrano, M. (2017). Modulatory Effects of Exogeneously Applied Polyamines on Postharvest Physiology, Antioxidant System and Shelf Life of Fruits: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017, 18, 1789.
- Shelp, B. J., Bozzo, G. G., Trobacher, C. T., Zarei, A., Deyman, K. L., y Brikis, C. J. (2012). Hypothesis/review: contribution of putrescine to 4-aminobutyrate (GABA) production in response to abiotic stress. *Plant Science*. 193-194: 130-135.
- Singh, V., Jawandha, S. K., Gill, P. P. S., y Singh, D. (2022). Preharvest Putrescine Application Extends the Shelf Life and Maintains the Pear Fruit Quality. *International Journal of Fruit Science*. 2022, vol. 22, NO. 1, 514-524.
- Sloulin, W. (1990). Cherry quality survey. Status report. *Proc. Wash. State Hort. Soc.* 86, 226-227.

- Thapa, S, Barman, K, y Singh, A. K. (2022). Exogenous Putrescine Treatment Maintains Postharvest Quality and Delays Senescence of Guava Fruit. *Erwerbs-Obstbau*. Doi: 10.1007/s10341-022-00721-7.
- Tomás-Barberán, F. A., y Andrés-Lacueva, C. (2012). Polyphenols and health: Current state and progress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 8773-8775.
- Usenik, V., Fabčić, J., y Stampar, F. (2008). Sugars, organic acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 107, 185-192.
- Valero, D., y Serrano, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. CRC Press/Taylor & Francis: Boca Raton, FL, USA. Doi: 10.1201/9781439802670.
- Vavilov, N. I. (1951). *The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants*. Anonymous Ronald Press Co., New York.
- Wermund, U y Fearn, A. (2000). Key challenges facing the cherry supply chain in the UK. *Acta Horticulturae*, 536, pp. 613-624.
- Wilkinson, V. M., y Gould, G. W. (1998). *Food irradiation: A reference guide*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Zoffoli, J. P. (2022). New post harvest technologies for high quality sweet cherries. *Italus Hortus*, 29, 68-81.