

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



**“Efecto del tratamiento poscosecha con
hesperidina en fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.)
durante su almacenamiento”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre-2024

Autora: Julia Frutos Cernuda

Tutores: Antonio Fabián Guillén Arco

Mihaela Iasmina Madalina Ilea

Resumen

Las fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) son frutas que presentan un periodo de conservación reducido, incluso cuando se almacenan en refrigeración para retrasar su envejecimiento. El propósito de esta investigación fue analizar la eficacia de un flavonoide como es la hesperidina en concentraciones de 10, 50 y 100 mg L⁻¹ para preservar los atributos de calidad del fruto. Los datos obtenidos indican que los tratamientos con hesperidina lograron retrasar el metabolismo de las fresas y con ello las pérdidas de peso, manteniendo la firmeza y retrasando la evolución del color, obteniendo resultados positivos con concentraciones bajas. Asimismo, las fresas tratadas con hesperidina mostraron una membrana celular con mayor integridad reflejado por una menor pérdida de electrolitos, debido a una menor degradación por oxidación. Además, estas fresas mantuvieron una concentración más elevada de clorofilas en el cáliz durante su almacenamiento, lo que podría implicar un mejor balance antioxidante y una preservación más eficaz de sus cualidades. De hecho, el contenido en compuestos bioactivos fue superior en las fresas tratadas. Este estudio evidencia el potencial de la hesperidina para retrasar la senescencia de las fresas, resaltando su procedencia natural y su utilidad como tratamiento poscosecha para gestionar la calidad del fruto durante su almacenamiento refrigerado extendiendo su vida útil.

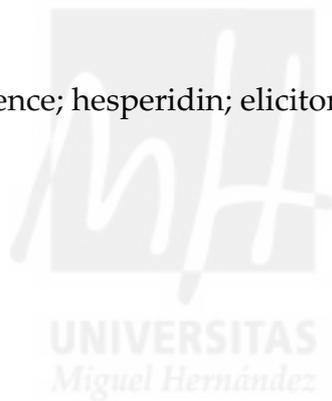
Palabras clave: Almacenamiento; senescencia; hesperidina; elicitor; calidad

Abstract

Strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) are fruits with a limited shelf life, even when stored in refrigeration to delay their aging. The purpose of this research was to analyse the efficacy of a flavonoid such as hesperidin at concentrations of 10, 50, and 100 mg L⁻¹ in preserving the quality attributes of the fruit. The data obtained indicate that hesperidin treatments were able to delay the metabolism of strawberries and thus weight loss, maintaining

firmness and delaying colour evolution, obtaining positive results with low concentrations. Likewise, strawberries treated with hesperidin showed a cell membrane with greater integrity reflected by a lower loss of electrolytes, due to a lower degradation by oxidation. In addition, these strawberries maintained a higher concentration of chlorophylls in the calyx during storage, which could imply a better antioxidant balance and a more effective preservation of their qualities. In fact, the content of bioactive compounds was higher in treated strawberries. This study evidences the potential of hesperidin to delay strawberry senescence, highlighting its natural origin and its usefulness as a postharvest treatment to manage fruit quality during refrigerated storage and extend shelf life.

Keywords: Storage; senescence; hesperidin; elicitor; quality



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. LA FRESA.....	9
1.1.1 Características botánicas.....	9
1.1.2 Composición nutricional.....	12
1.1.3 Variedades de fresa.....	13
1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA	15
1.3. PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADURACIÓN DEL FRUTO	18
1.4. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA.....	19
1.5. NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LA FRESA.....	20
2. OBJETIVOS	22
3. MATERIAL Y MÉTODOS	23
3.1. MATERIAL VEGETAL	23
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	23
3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....	24
3.3.1 Pérdida de peso	24
3.3.2 Determinación de CO ₂ y producción de Etileno	24
3.3.3 Evaluación del color	26
3.3.4 Determinación de la firmeza del fruto.....	27
3.3.5 Fuga de electrolitos	27
3.3.6 Contenido de malondialdehído (MDA)	28
3.3.7 Contenido de polifenoles totales	28
3.3.8 Contenido de clorofilas en el cáliz de las fresas	29
3.3.9 Evaluación de los Sólidos Solubles Totales (SST)	29
3.3.10 Determinación de la Acidez Titulable (AT).....	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. PÉRDIDAS DE PESO.....	31
4.2. EVOLUCIÓN DE LA RESPIRACIÓN.....	32

4.3.	PRODUCCIÓN DE ETILENO.....	33
4.4.	EVOLUCIÓN DEL COLOR	35
4.5.	FIRMEZA	36
4.6.	FUGA DE ELECTROLITOS.....	37
4.7.	CONTENIDO DE MALONDIALDEHIDO (MDA)	38
4.8.	POLIFENOLES TOTALES	39
4.9.	CLOROFILAS.....	41
4.10.	SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)	42
4.11.	ACIDEZ TOTAL VALORABLE (AT).....	43
5.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	45
6.	BIBLIOGRAFÍA	46



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: <i>La corona de una planta de fresa</i>	9
Ilustración 2: <i>Estructuras de la planta de fresa en desarrollo</i>	10
Ilustración 3: <i>Partes principales de la flor de la fresa</i>	10
Ilustración 4: <i>Características estructurales de un fruto de fresa</i>	11
Ilustración 5: <i>Formas más comunes de los frutos de fresa</i>	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Composición nutricional de la fresa. Macronutrientes por 100g de producto</i> . 12	
Tabla 2: <i>Composición nutricional de la fresa. Minerales por 100g de producto</i>	12
Tabla 3: <i>Composición nutricional de la fresa. Vitaminas por 100g de producto</i>	13
Tabla 4: <i>Clasificación de las variedades de fresa en función de su respuesta al fotoperíodo para la inducción floral</i>	14
Tabla 5: <i>Producción de fresa/fresón en España (Toneladas)</i>	16

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1: <i>Porcentajes de las principales variedades de fresa cultivadas en Huelva durante la campaña 2022-2023</i>	15
Gráfico 2: <i>Valor de la producción de Frutas y Hortalizas en Europa (Millones de €)</i> ... 15	
Gráfico 3: <i>Distribución de la producción de Frutas y Hortalizas en Europa 2022</i>	16
Gráfico 4: <i>Evolución balanza comercial de frutos rojos (millones de €)</i>	17
Gráfico 5: <i>Evolución de las exportaciones de fresa</i>	17

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: <i>Cambios de color experimentados durante la maduración</i>	19
Fotografía 2: <i>Cromatógrafo de gases</i>	25
Fotografía 3: <i>Colorímetro CRC 400 utilizado para medir el color</i>	27
Fotografía 4: <i>Refractómetro utilizado para medir los °Brix (SST)</i>	30
Fotografía 5: <i>Valorador automático Methrom, utilizado para determinar la acidez</i>	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Evolución de la pérdida de peso (%) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	31
Figura 2: <i>Evolución de la respiración CO₂ (mg kg⁻¹ h⁻¹) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	32
Figura 3: <i>Evolución de la producción de etileno (nmol kg⁻¹ h⁻¹) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	34
Figura 4: <i>Evolución de la luminosidad (L*) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	35
Figura 5: <i>Evolución de la firmeza (N) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	36
Figura 6: <i>Evolución de la fuga de electrolitos (%) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	38
Figura 7: <i>Evolución del contenido de MDA (µg kg⁻¹) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	39
Figura 8: <i>Evolución del contenido de polifenoles totales (mg equivalente de ácido gálico 100 g⁻¹) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	40
Figura 9: <i>Evolución del contenido de clorofilas totales del cáliz (mg 100 g⁻¹ p.s) de las fresas controles y tratadas con 1-MCP o GABA a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	41
Figura 10: <i>Evolución de los sólidos solubles (%) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	42
Figura 11: <i>Evolución de la acidez total valorable (%) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C.</i>	44

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA FRESA

1.1.1 Características botánicas

La fresa se trata de una planta herbácea perteneciente a la familia *Rosaceae* y del género *Fragaria*, pese a que hay numerosas especies, las más extendidas que se cultivan actualmente deriva de un cruzamiento entre *Fragaria virginiana* Duch. y *Fragaria chiloensis* Duch (Katel et al., 2022; Bianchi, 2018).

La planta de la fresa es una planta perenne que se reproduce sexualmente a partir de semillas y vegetativamente enviando tallos llamados estolones, a lo largo de los cuales se forman nuevas plantas. La reproducción a partir de semillas se utiliza para producir nuevos cultivos de fresa, mientras que la reproducción vegetativa se utiliza para producir plantas utilizadas en la agricultura y jardinería comerciales (Strand, 1994).

Presentan un tallo corto y engrosado denominado como “corona” (Ilustración 1) que tiene un punto de crecimiento en el extremo superior y que forma raíces en su base, y se encuentra rodeado por tejido conductor (Ilustración 2). Las nuevas hojas, flores, estolones y coronas secundarias emergen de los brotes auxiliares de la corona. La corona de cada rama aumentará el rendimiento de la corona principal al producir su propio "racimo de flores" o lo que técnicamente se llamada inflorescencia (Poling, 2012).

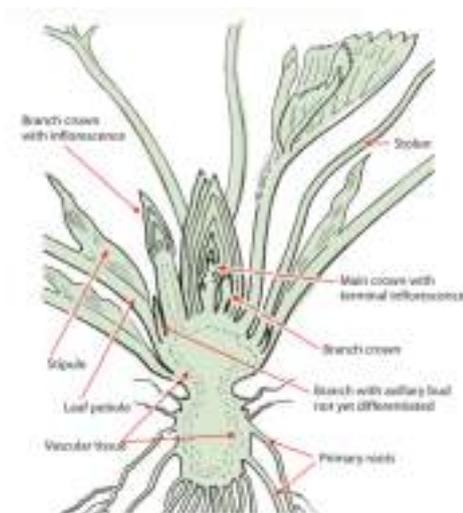


Ilustración 1: La corona de una planta de fresa (Strand, 1994)

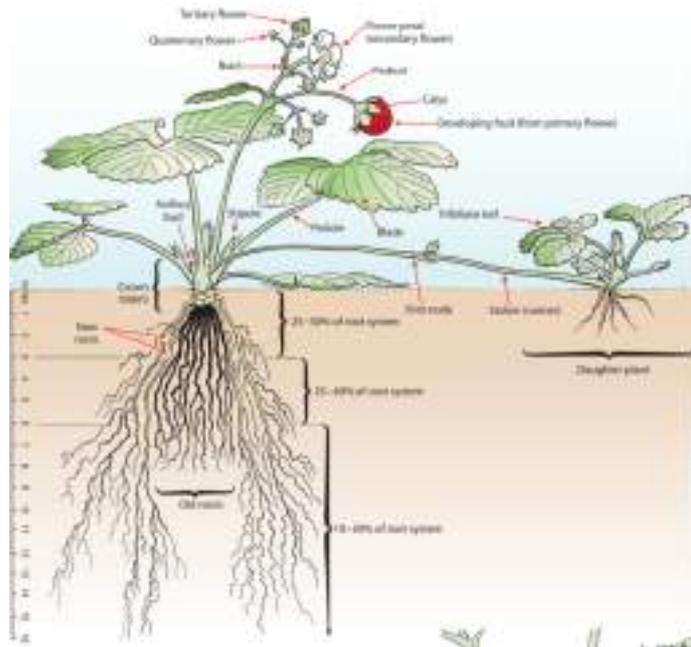


Ilustración 2: Estructuras de la planta de fresa en desarrollo (Strand, 1994).

Las hojas de fresa son típicamente trifoliadas (constan de tres folíolos) con estomas solo en la parte inferior. Dentro de las principales partes de la flor de fresa (Ilustración 3) se encuentran los sépalos, son pequeñas estructuras en forma de hojas verdes debajo de los pétalos blancos que encierran la flor en la etapa de capullo y, más adelante, este tejido en forma de hoja se conoce como cáliz de la baya.

Botánicamente, el fruto rojo denominado como “baya” (Ilustración 4) es un tallo floral agrandado (receptáculo) con semillas incrustadas en la superficie. En realidad, lo que parecen semillas son en realidad los “frutos”, propiamente denominados aquenios (Poling, 2012).

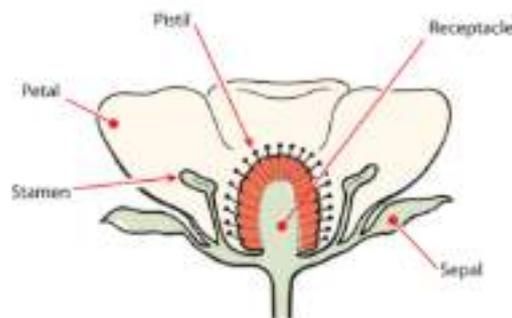


Ilustración 3: Partes principales de la flor de la fresa (Strand, 1994).

- Pistilo: Órgano femenino vegetal.
- Receptáculo: Extremo ensanchado o engrosado del pedúnculo, donde se asientan los verticilos de la flor o las flores de una inflorescencia.
- Sépalo: Cada una de las piezas verdosas, que constituyen el cáliz de una flor.
- Estambre: Órgano masculino vegetal.

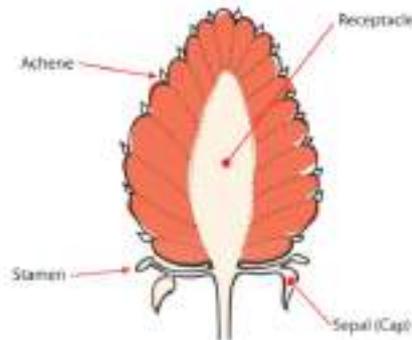


Ilustración 4: Características estructurales de un fruto de fresa (Strand, 1994).

Con fines descriptivos (Ilustración 5), se consideran válidas ocho formas de fruto, dado que son las más abundantes en la naturaleza. Estas formas pueden ser: esferoide, globosa, globosa cónica, cónica, cónica alargada, con cuello, cuña larga y cuña corta.



Ilustración 5: Formas más comunes de los frutos de fresa. M.N. Dana Adaptado de Roudeillac y Veschambre (1987).

1.1.2 Composición nutricional

De forma general las frutas contienen, agua, vitaminas hidrosolubles, minerales, fibra y componentes bioactivos, especialmente los antioxidantes.

Según la Fundación Española de la Nutrición (FEN), en su informe de estado de situación de frutas y hortalizas (2018), la composición nutricional de la fresa es la siguiente (Tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1: *Composición nutricional de la fresa. Macronutrientes por 100g de producto.*

	Fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)
Porción comestible	95
Agua (g)	89,6
Energía (Kcal)	40
Proteínas (g)	0,7
Grasas (g)	0,5
Hidratos de carbono (g)	7,0
Almidón (g)	0,0
Azúcares (g)	7,0
Fibra (g)	2,2

Fuente: *Elaboración propia a partir de datos de la FEN (2018).*

Tabla 2: *Composición nutricional de la fresa. Minerales por 100g de producto.*

	Fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)
Calcio (mg)	25
Hierro (mg)	0,8
Yodo (μ g)	8
Magnesio (mg)	12
Zinc (mg)	0,1
Sodio (mg)	2
Potasio (mg)	190

Fósforo (mg)	26
Selenio (µg)	0,0

Fuente: *Elaboración propia a partir de datos de la FEN (2018).*

Tabla 3: *Composición nutricional de la fresa. Vitaminas por 100g de producto.*

	Fresa (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)
Tiamina (mg)	0,02
Riboflavina (mg)	0,04
B ₆ (mg)	0,06
Folato (µg)	20
B ₁₂ (µg)	0
C (mg)	60
Retinol (µg)	0
D (µg)	0
E (mg)	0,2

Fuente: *Elaboración propia a partir de datos de la FEN (2018).*

Relativo a los efectos sobre la salud del consumo de fruta, está relacionado con la prevención de diferentes formas de malnutrición (desnutrición, deficiencia de micronutrientes, sobrepeso y obesidad), y la reducción del riesgo de enfermedades no transmisibles (Afshin et al., 2019). Y también se ha demostrado que el riesgo de mortalidad disminuye en un 10% con el aumento de la ingesta de fruta hasta 250-300g/día (Schwingshackl et al., 2017).

1.1.3 Variedades de fresa

Se puede llevar a cabo la diferenciación de variedades de fresa, clasificándolas en función de su respuesta al fotoperíodo para la inducción floral (Tabla 4), pudiendo ser de “día corto” de “día largo” y de “día neutro”.

Desde el punto de vista agronómico y comercial, las más difundidas son las de día corto y de día neutro. Habría un cuarto tipo de variedad, de escasa importancia hasta ahora, denominadas "infra-día corto", que florecen tempranamente en otoño y no tienen requerimientos de frío (Izhar, 1997).

Tabla 4: Clasificación de las variedades de fresa en función de su respuesta al fotoperíodo para la inducción floral.

	Días cortos	Días neutros	Días largos
Fotoperíodos	Fotoperíodos <14 h para florecer	Indiferentes al fotoperíodo para florecer	Fotoperíodos largos para florecer (>16 h)
Producción	Producción en otoño, invierno y primavera en regiones con climas templados y cálidos	Producción de verano en regiones con veranos frescos	Producción en altas latitudes
Ejemplos	Florida Radiance (Fortuna), Petaluma, Rociera, etc.	Albion, Florida Beauty, Monterey, etc.	Everest, Flamenco, Ridder, etc.

Fuente: Elaboración propia a partir de Izhar (1997).

A su vez, cada variedad tiene un período productivo único, que le permite diferenciarse de las demás, y es lo que se tiene en cuenta para clasificarlas como extra-temprana, temprana, intermedia y tardía. La selección de la variedad a plantar se realiza considerando el clima de la zona, el momento del año en el que se desea cosechar, las preferencias del mercado, el sistema de cultivo (a campo o bajo cubierta) y las amenazas fitosanitarias con las que podría enfrentarse.

Relativo a las variedades presentes en España, hay que tener en cuenta que casi el 92% de la producción española de fresas y fresones en 2022 tuvo origen en Andalucía, mayoritariamente en Huelva. En el Gráfico 1 se muestra los porcentajes de las principales variedades de fresa cultivadas en Huelva durante la campaña 2022-2023 (Medina-Mínguez et al., 2021).

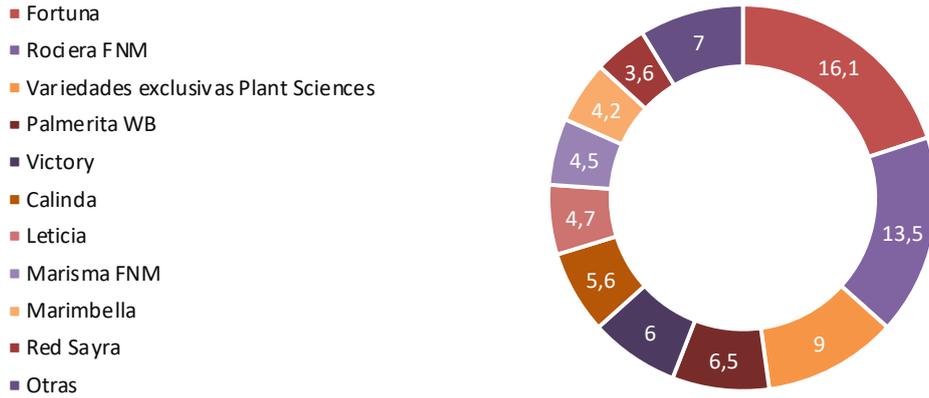


Gráfico 1: Porcentajes de las principales variedades de fresa cultivadas en Huelva durante la campaña 2022-2023.

1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA

De manera general, respecto a la dimensión económica y producción de frutas y hortalizas en España, según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Gráfico 2) el valor de la producción de frutas y hortalizas en el conjunto de los Estados miembros de la Unión Europea en 2022 superó los 82.880 millones de euros, España con 15.861 millones de euros en 2022, supone el 19% del valor total de los Estados miembros una cifra ligeramente superior a Italia (Datos de 2023-MAPA).

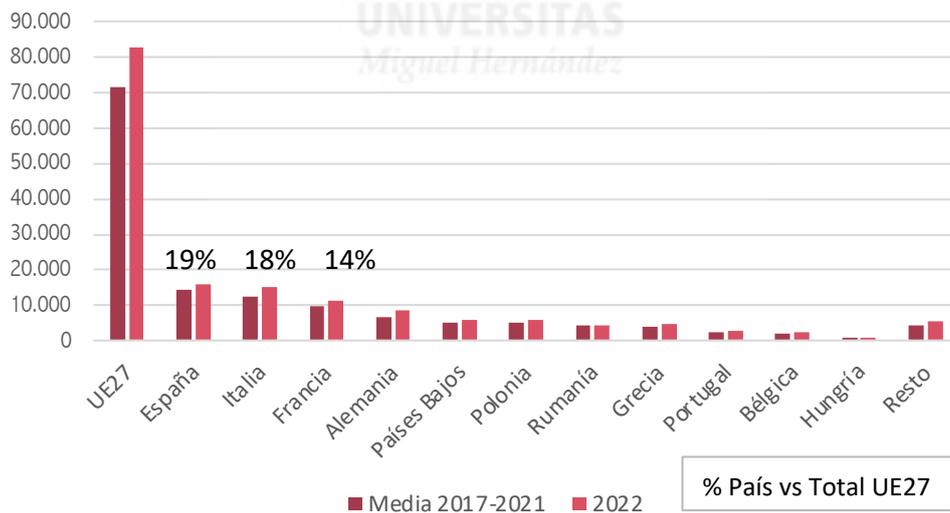


Gráfico 2: Valor de la producción de Frutas y Hortalizas en Europa (Millones de €) (EUROSTAT. Economic accounts for agriculture - values at current prices. 2010 - 2022).

Relativo a la producción de frutas y hortalizas (Gráfico 3), España se pone en cabeza suponiendo el 25% de la producción total de Europa.

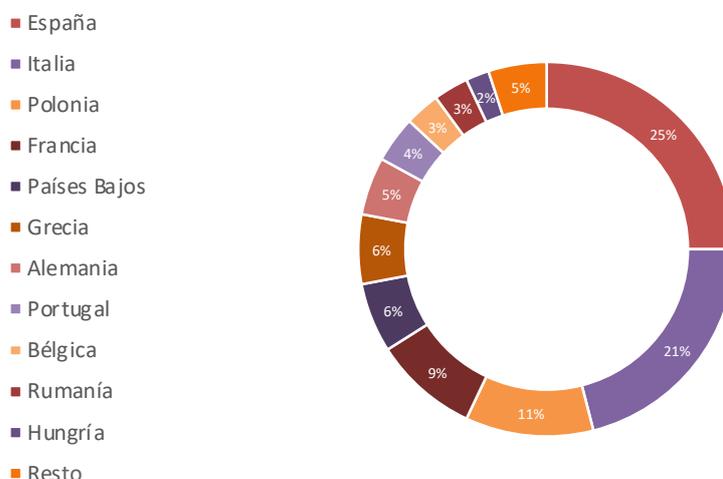


Gráfico 3: Distribución de la producción de Frutas y Hortalizas en Europa 2022 (EUROSTAT- 2022).

De manera más específica, según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Tabla 5), con datos de avances de producción en Andalucía (como se comentó anteriormente región más productora de fresa de España) del mes de febrero se observa un aumento de la producción de fresa con respecto a la campaña pasada, suponiendo un total de 325.937 toneladas en la campaña 2023/2024.

Tabla 5: Producción de fresa/fresón en España (Toneladas).

Producción (t)	2022/2023	2023/2024	Media 5	Variaciones 2023/2024	
				Vs 2022/2023	Vs Media 5
Fresa/fresón	316.386	325.937	317.391	3,0%	2,7%

Fuente: Elaboración propia a partir datos de la Junta de Andalucía (2008).

España, es exportadora neta de frutos rojos, presenta una balanza comercial positiva de 229 millones de euros desde octubre 2023 hasta febrero 2024 (Gráfico 4).



Gráfico 4: Evolución balanza comercial de frutos rojos (millones de €) (EUROSTAT-2024).

En el caso de la campaña de fresa/fresón (Gráfico 5), el volumen exportado se ha reducido muy ligeramente desde el año 2022/2023 debido a la menor cosecha obtenida en las zonas productoras hasta ese momento, si bien el valor unitario crece en comparación a campañas previas.



Gráfico 5: Evolución de las exportaciones de fresa (Volumen en toneladas y Valor unitario €/100Kg) (EUROSTAT-2024).

1.3. PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADURACIÓN DEL FRUTO

La calidad de la fresa es muy importante tanto para consumidores como productores, debido a que se trata de un producto muy perecedero cuya calidad sensorial disminuye rápidamente después de cosechar (Estrada-Nolasco, 2011). Los factores más importantes para asegurar su calidad inician en el campo, con la selección de cultivares, los cuales varían en calidad, en función de su firmeza, contenido de azúcar y la acidez de los frutos, así como la susceptibilidad de los mismos a enfermedades (Diezma et al., 2001).

Según datos de la Junta de Andalucía referente a la fresa de Huelva, la evaluación de la calidad del fruto por parte del consumidor se ciñe habitualmente a parámetros como el color, tamaño, firmeza, aroma y sabor.

· Color: El color, (Ilustración 6) es uno de los cambios más notorios experimentado durante la maduración y con frecuencia el más importante de los criterios utilizados por los consumidores para decidir si el fruto está en madurez óptima de consumo y su correlación con la calidad (Wills et al., 2007). Los pigmentos responsables del color son principalmente las antocianinas que pueden variar dependiendo del cultivar (Nunes et al., 2005).

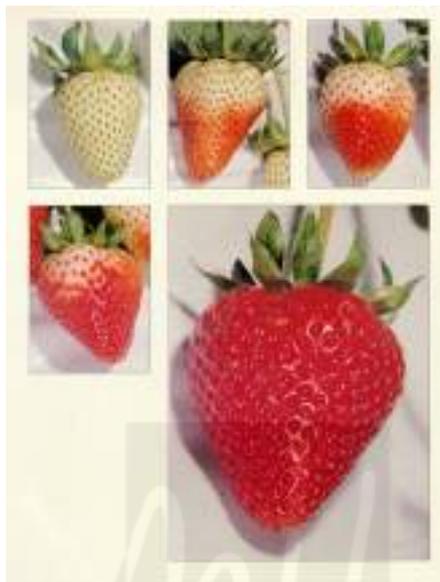
· Firmeza: La firmeza de la fruta es una de las variables de calidad más importantes, que mide indirectamente la madurez, sensibiliza considerablemente al fruto frente al ataque de patógenos y a los daños físicos, su evaluación precisa permite establecer períodos de almacenamiento y condiciones de transporte óptimos (García-Ramos et al., 2005).

· Aroma: El aroma característico de la fresa está determinado por una compleja mezcla de compuestos volátiles y del balance entre ellos. Como se ha comentado anteriormente, el aroma es uno de los factores clave en la aceptación o rechazo de la fresa por parte del consumidor, ya que la pérdida del aroma característico de la fresa y/o el desarrollo de notas aromáticas no deseables reduce la calidad y aceptabilidad final del fruto (Junta de Andalucía, 2008).

· Sabor: El sabor de la fresa está determinado fundamentalmente por dos tipos de compuestos, los azúcares solubles y los ácidos orgánicos. El interés de estos grupos de compuestos trasciende de su relación con el sabor pudiendo servir como índices de la

maduración del fruto o como marcadores de calidad durante el manejo poscosecha (Junta de Andalucía, 2008).

En cuanto a otros requisitos generales de calidad, destaca que la fruta debe estar limpia, fresca y sana, estar libre de manchas, lesiones o heridas, sin podredumbre y provistos de su cáliz y pedúnculo verdes.



Fotografía 1: *Cambios de color experimentados durante la maduración.*

1.4. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA

La actividad de poscosecha es un conjunto de operaciones que se inicia con la recolección de las frutas hasta su conservación para su posterior consumo. Durante la poscosecha las frutas se someten a un fuerte estrés donde predominan los procesos encaminados a su senescencia, por lo que se requiere reducir y retardar la acción de los factores que causan su deterioro (Mulkay, 2021).

Como se ha comentado anteriormente, la fresa se trata de un producto muy perecedero, que se caracteriza por una vida poscosecha limitada, principalmente por ataque de hongos, pérdidas de firmeza, pérdidas de peso y deterioro fisiológico. (Junta de Andalucía, 2008).

A continuación, se definen los principales problemas poscosecha en fresas (Junta de Andalucía, 2008; Becerra et al., 2013; Sommer et al., 1973):

- Deshidratación o pérdida de peso: La fresa tiene alto porcentaje de pérdida de agua debido a su alta tasa respiratoria y a su piel delgada. La pérdida de un 4% de su peso se distingue en la piel, la cual pierde el brillo y se arruga. Pérdidas mayores al 5% de humedad provocan un descenso importante de la calidad sensorial al afectar la apariencia y textura del fruto y una disminución en su calidad nutricional.
- Daño mecánico: Como ya se ha comentado anteriormente, la fresa posee una epidermis muy fina, esta estructura anatómica la hace especialmente vulnerable al daño mecánico de forma que la calidad del fruto, cuando llega al consumidor, depende en gran medida del trato recibido en las distintas etapas por las que pasa una vez recolectada
- Desordenes fisiológicos: Existen numerosos factores fisiológicos, climáticos y nutricionales que afectan al desarrollo del fruto y que por tanto tienen una incidencia directa en el comportamiento y aspecto de la fresa una vez recolectada. Dentro de estos factores destacan: Fruto deformado, insolación excesiva, fruto arrugado, sobremaduración y carencias de nutrientes.
- Patologías poscosecha: La fragilidad de la fresa comparada con otro tipo de frutos, la hace especialmente susceptible a la infección por microorganismos patógenos. Aunque existe un gran número de enfermedades descritas que pueden potencialmente afectar a este fruto, las más comunes en la etapa de postrecolección son las siguientes: *Botrytis* o podredumbre gris, *phytophthora*, antracnosis, podredumbre acuosa y *Mildiu*.

1.5. NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DE LA FRESA

Las dos técnicas de conservación más utilizadas para reducir el deterioro poscosecha y prolongar la vida útil de las fresas, son el tratamiento a baja temperatura y la aplicación de fungicidas (Liu et al., 2021), sin embargo, ninguna de las dos técnicas es sostenible, debido a que en el caso del tratamiento a baja temperatura se requiere un elevado consumo de energía, altos gastos y se producen lesiones por frío (Saleem et al., 2021) y por otro lado, el uso de fungicidas puede dejar residuos en los productos frescos y provocar riesgos potenciales para el medio ambiente y la salud humana (Wang et al., 2021).

A partir de lo comentado con anterioridad, queda clara la necesidad de crear nuevos tratamientos poscosecha más efectivos, para disminuir las pérdidas sin afectar la calidad de la fruta. (Li et al., 2024), como ejemplos de nuevas tecnologías se encuentran:

· Aplicación de ácido γ -aminobutírico:

El ácido γ -aminobutírico (GABA) es un aminoácido no proteínogénico de cuatro carbonos, presente de forma ubicua en plantas y animales, funciona como metabolito y molécula señal en la regulación de la tolerancia al estrés, el crecimiento y el desarrollo de la planta (Khan et al., 2021; Li et al., 2021). En los últimos años, el GABA se ha considerado un compuesto seguro y se utiliza ampliamente para mantener la calidad poscosecha de los productos frescos durante el almacenamiento (Zhang et al., 2024).

Varias líneas de evidencia han demostrado que los tratamientos con GABA disminuyen la tasa de descomposición y mitigan el daño oxidativo para mejorar el rendimiento de almacenamiento de las frutas (Asgarian et al., 2022; Sheng et al., 2017).

· Éster metílico del ácido protocatecuico frente a *Botrytis cinerea*:

Actualmente, el uso de compuestos biológicamente activos derivados de plantas se considera un método viable para controlar el moho gris después de la cosecha.

El éster metílico del ácido protocatecuico (PCAME), también conocido como metil 3,4-dihidroxibenzoato, es un compuesto fenólico que exhibe de múltiples efectos biológicos derivados de sus propiedades antimicrobianas, antioxidantes, neuroprotectoras, antitóxicas... (Chen et al., 2021).

Se observó que PCAME inhibió el crecimiento micelial in vitro y la germinación de esporas de *B. cinerea* y suprimió significativamente la pudrición por moho gris en frutos de fresa en la cosecha.

· Tratamiento con ácido abscísico:

El ácido abscísico (ABA) es una hormona vegetal natural que interviene en la regulación de la maduración de la mayoría de las frutas, además de participar en el equilibrio hídrico y la tolerancia al estrés osmótico y abiótico (Kou et al., 2021).

La fresa es una fruta no climatérica en la que el ABA y la auxina, en lugar de la producción autocatalítica de etileno que se observa en la fruta climatérica, son las hormonas que controlan la maduración. La interacción entre estas hormonas puede ser

el factor más importante en la regulación de la maduración, ya que la auxina inhibe la maduración y el ABA la promueve (Zhao et al., 2024).

· Tratamientos con compuestos fenólicos

La aplicación de compuestos fenólicos, tales como ácidos fenólicos y flavonoides, en los últimos años han mostrado efectividad preservando la calidad de la fruta. Aunque son pocos los estudios que han realizado aplicaciones con polifenoles de forma directa, si existen estudios donde extractos ricos en polifenoles han sido aplicados en poscosecha incrementando la vida útil (Xia et al., 2011; Su et al., 2019).

Así, recientemente se ha observado como además de en extracto, algunos polifenoles como el ácido clorogénico pueden tener buenos resultados combinados (X) o bien de forma directa (Ilea et al., 2024).

Los flavonoides, y en concreto la hesperidina, es un flavonoide natural de los más abundantes, presente en una gran cantidad de frutas y verduras (Garg et al., 2001). Además, existen evidencias que indican que la hesperidina previene la oxidación de los tejidos y la muerte celular mediante varios mecanismos, como la eliminación de radicales de oxígeno, la protección contra la peroxidación lipídica y la quelación de iones metálicos (Fraga et al., 1987; Korkina & Afanas'ev, 1997; Miller & Rice-Evans, 1997). Sin embargo, en la actualidad no existen estudios que hayan evaluado el efecto de la hesperidina en ninguna especie vegetal aplicada de forma directa.

2. OBJETIVOS

El propósito de este estudio es evaluar aplicaciones poscosecha con hesperidina, un flavonoide natural conocido por sus propiedades antioxidantes, como una estrategia innovadora para prolongar la vida útil de las fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.), frutas que enfrentan desafíos significativos debido a su corta vida útil. A su vez, este objetivo principal lo vamos a dividir en varios objetivos parciales como son:

1. Investigar el impacto de la hesperidina en la preservación de la calidad de las fresas durante el almacenamiento, evaluando indicadores como textura, peso, y apariencia visual.
2. Determinar la dosis óptima de hesperidina que maximiza los beneficios en la conservación de fresas, mediante la comparación de diferentes concentraciones y sus efectos en los parámetros de calidad.
3. Analizar la influencia de la hesperidina en la estabilidad de los compuestos bioactivos de la fresa, con el fin de comprender mejor los mecanismos

antioxidantes que podrían contribuir a retardar la senescencia y el deterioro de las frutas.

Con todo ello, se pretende presentar los tratamientos con hesperidina como una solución práctica y sostenible para mejorar la durabilidad y calidad poscosecha de las fresas. Esta nueva herramienta de origen natural contribuiría al desarrollo de nuevas tecnologías en la industria agroalimentaria capaces de reducir las pérdidas poscosecha.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal utilizado en la realización de este trabajo fue la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) de la variedad cv. Florida Fortuna. Las fresas empleadas para este estudio fueron recolectadas manualmente en una finca comercial ubicada en Huelva. Posteriormente, los frutos fueron rápidamente transportados al laboratorio de Ciencia y Tecnología de los Alimentos del Departamento de Tecnología Agroalimentaria en el campus de Desamparados, Orihuela (EPSO), perteneciente a la Universidad Miguel Hernández de Elche.

En el laboratorio, se procedió a seleccionar las fresas basándose en una serie de características y parámetros específicos, tales como la calidad general, la ausencia de defectos, el color y el tamaño de cada fruta. De tal forma se elaboraron los distintos lotes de forma homogénea antes de la aplicación de los distintos tratamientos.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el experimento presentado en este Trabajo Final de Grado, se seleccionaron 1,020 fresas en total. De estas, se agruparon en cuatro grupos o tratamientos que a su vez se subdividieron en lotes 60 frutos cada uno, correspondientes a cada día de muestreo. A su vez, cada uno de estos lotes se dividió en 3 réplicas de 20 frutos. Además, un lote adicional de 60 fresas fue utilizado para evaluar las condiciones en las que las fresas llegaron al laboratorio constituyendo el muestreo del día 0 o de inicio de la experimentación.

Una vez organizados los 4 grupos con sus respectivos lotes, se sometieron a una higienización previa mediante inmersión durante 10 minutos en una solución de hipoclorito sódico de 10 mg L⁻¹. Tras esta higienización, los lotes se sumergieron en sus respectivos tratamientos, que consistieron en soluciones de 0, 10, 50 y 100 mg L⁻¹ de

hesperidina, todas ellas con tween 20 al 0,05 % como mojante. Tras los tratamientos, se dejaron secar las fresas durante media hora. Finalmente, se almacenaron a 2 °C hasta la realización de las distintas determinaciones, que se llevaron a cabo tras 0, 3, 6, 9 y 12 días de almacenamiento. Estas determinaciones se detallan a continuación.

3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

3.3.1 Pérdida de peso

Se pesaron todas las réplicas de cada tratamiento el día de inicio del experimento y nuevamente cada día de muestreo obteniendo un valor por cada réplica de cada tratamiento (n=3). La determinación del peso se realizó con una balanza tipo Radweg con dos cifras de precisión $\pm 0,01$ y se expresó la pérdida de peso con respecto al valor observado en el día 0.

3.3.2 Determinación de CO₂ y producción de Etileno

En el proceso respiratorio todo tejido vegetal consume O₂ y libera CO₂. El metabolismo del fruto está íntimamente ligado a la acción respiratoria. La medida de la respiración se refiere tanto a la producción de CO₂ como al consumo de O₂. Habitualmente se mide el consumo de CO₂ por ser un proceso más sencillo.

Utilizamos el sistema estático propuesto por Kader (1992). Para la determinación de CO₂ en este sistema estático se metieron los frutos enteros de forma individual en tarros de cristal de 1 litro 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 60 minutos. Sucedido ese tiempo, se procedió a extraer el aire del espacio de cabeza del interior del recipiente. Se extrajeron 5 jeringuillas con un volumen de 1 mL cada una, de cada uno de los recipientes (para la medición de la respiración y el etileno por duplicado, n=3). Para determinar el CO₂, se inyectó el contenido de las jeringuillas en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC 14A).



Fotografía 2: *Cromatógrafo de gases.*

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 ± 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%)

Para medir la producción de etileno se aprovechó el sistema estático utilizado en la determinación de la actividad respiratoria. Para ello se inyectaron las jeringuillas en el cromatógrafo Shimadzu GC-2010, provisto de un detector de ionización de llama (FID) y columna de acero inoxidable de 3 m de longitud total y de 2 mm de diámetro interno, con relleno de alúmina de 60/80 mesh.

Las condiciones de trabajo del cromatógrafo son las siguientes:

- Flujo del gas portador (He2): 50 mL/min.
- Flujo de hidrógeno (H2): 40 mL/min.
- Flujo de aire: 400 mL/min.
- Temperatura del inyector: 100 °C.
- Temperatura del detector: 150 °C
- Temperatura de la columna: 100 °C.
- Patrón usado: Etileno 10ppm

3.3.3 Evaluación del color

Para la determinación del color se empleó el sistema de CIELab (L^* , a^* , b^*) mediante un colorímetro triestímulo Konica Minolta modelo CR200. Se efectuaron tres medidas del color para cada fruto por duplicado en tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial ($n=30$).

Este sistema de medida es el más popular puesto que permite acercarse a la percepción humana del color. Las coordenadas están conectadas con tres índices básicos que se pueden diferenciar en cualquier evaluación del color: luminosidad y cromaticidad.

Los tres parámetros son los siguientes:

- **L^*** : Indica la luminosidad del fruto y varía de 0 (negro) a 100 (blanco).
- **a^* y b^*** : Indican conjuntamente la cromaticidad, a^* representa el eje que va desde colores verdes ($-a^*$) hasta colores rojos ($+a^*$); y b^* representa el eje que va desde el color azul ($-b^*$) hasta color amarillo ($+b^*$).

Cada valor viene expresado por los valores de estas tres coordenadas, que representan un punto en el espacio tridimensional (Minolta, 1994). El parámetro de color en el que se observó mayor impacto por parte de los tratamientos fue el parámetro L^* que es el que se presenta en este TFG.



Fotografía 3: Colorímetro CRC 400 utilizado para medir el color.

3.3.4 Determinación de la firmeza del fruto

Para la determinación de la firmeza de la fresa, se utilizó un Texturómetro TA-XT2i® (Aname Instruments) conectado a un ordenador, el cuál procesa los datos recibidos por el aparato.

La evaluación se realizó mediante la prueba Magness-Taylor, utilizando una sonda cilíndrica de 0,5 mm de diámetro que penetró 5 mm en la fresa a una velocidad de 10 mm/s. Se estudió cada fresa de forma individual en cada réplica (n=3).

3.3.5 Fuga de electrolitos

La medición de la fuga de electrolitos se llevó a cabo siguiendo el protocolo modificado de Ilea et al. (2024). En este análisis, se incluyeron 20 fresas por cada réplica experimental. Inicialmente, cada fresa se dividió en dos partes en la región ecuatorial, obteniendo un disco central de 2 mm de grosor. A partir de cada disco se extrajo un cilindro de 0,3 mm de diámetro utilizando un perforador metálico, resultando en 20 cilindros por réplica. Estos cilindros se enjuagaron con agua desionizada a través de tres baños consecutivos de tres minutos cada uno, aplicando agitación suave en una plataforma agitadora. Posteriormente, los cilindros se maceraron en frascos de vidrio con 50 mL de agua desionizada durante una hora, manteniéndose en agitación constante.

Tras este periodo, se midió la conductividad del medio acuoso utilizando un conductímetro Crison (Metrohm 664). Luego, los cilindros dentro de los frascos se

sometieron a una temperatura de 100 °C durante 15 minutos, se dejaron enfriar, y se realizó una segunda medición de conductividad. La fuga de electrolitos se calculó como un porcentaje utilizando la siguiente fórmula:

Fuga de electrolitos = (Conductividad inicial / Conductividad final) × 100

Los resultados se presentaron como porcentaje de liberación de electrolitos y se expresaron como la media ± ES de tres determinaciones, realizadas en duplicado (n=3) para cada lote y día de muestreo.

3.3.6 Contenido de malondialdehído (MDA)

El contenido de MDA en la pulpa de las fresas se determinó siguiendo el método descrito por Ilea et al. (2024). Se trituró manualmente una muestra de 2,5 g con un mortero y se mezcló con 10 mL de una solución de ácido tricloroacético al 10%. Tras centrifugar la mezcla a 4 °C y 10,000× g durante 20 minutos, se obtuvo el sobrenadante. De este sobrenadante, se tomaron 2 mL y se mezclaron con 6 mL de ácido tiobarbitúrico al 0,67%, homogeneizando la solución. Las muestras se calentaron a 95 °C durante 20 minutos y luego se dejaron enfriar a temperatura ambiente antes de medirlas a longitudes de onda de 450, 532 y 600 nm en un espectrofotómetro (1900 UV/Vis, Shimadzu, Kyoto, Japón). Los resultados se expresaron como µmol de MDA por kg de peso fresco, calculados como la media ± ES de tres replicas, evaluadas por duplicado (n=3).

3.3.7 Contenido de polifenoles totales

El contenido total de polifenoles se determinó según el método descrito por Lezoul et al. (2020), que mide la absorbancia y la compara con una curva de calibración basada en ácido gálico. Se utilizó una mezcla homogénea de la pulpa de cada réplica para realizar tres extracciones por lote y día de muestreo, utilizando una solución de metanol/agua (80:20) con 1% de fluoruro de sodio. En cada tubo de ensayo, se añadieron 2,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu 1/10 (100 mL de Folin-Ciocalteu y 900 mL de agua ultrapura), junto con 200 µL de la extracción. Se completó el volumen a 500 µL con el agente de extracción, se agitó y, después de 2 minutos de reposo, se añadió 2 mL de Na₂CO₃, agitando nuevamente. Los tubos de ensayo se incubaron a 50 °C.

Posteriormente, las muestras se transfirieron a cubetas y se midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro Uvikon XS (Bio-Tek Instruments). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco y

corresponden a la media \pm ES de tres extracciones realizadas y evaluadas por duplicado para cada lote (n=3).

3.3.8 Contenido de clorofilas en el cáliz de las fresas

El contenido total de clorofilas en el cáliz de las fresas se evaluó siguiendo el protocolo de Vu et al. (2019). Se recogieron las partes verdes del cáliz y se creó una muestra homogénea por cada réplica, compuesta por 20 cálices. Los pigmentos se extrajeron mediante homogeneización en metanol durante 2 minutos, seguido de una filtración y ajuste del volumen a 50 mL con metanol. El extracto se analizó a longitudes de onda de 665,2 y 652,4 nm utilizando un espectrofotómetro (1900 UV/Vis, Shimadzu, Kyoto, Japón).

Los resultados se expresaron en mg de clorofila por cada 100 gramos de muestra y se presentaron como la media \pm ES de tres determinaciones realizadas en duplicado (n=3) por cada lote y día de muestreo.

3.3.9 Evaluación de los Sólidos Solubles Totales (SST)

Para la determinación del contenido total en sólidos solubles (SST), utilizamos la refractometría sobre el zumo filtrado extraído de cada réplica por duplicado. 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. Alrededor de 50 gramos de fresas por cada réplica se trocearon y las muestras se envolvieron en una tela de algodón para exprimirlas con la ayuda de un mortero obteniéndose el zumo filtrado.

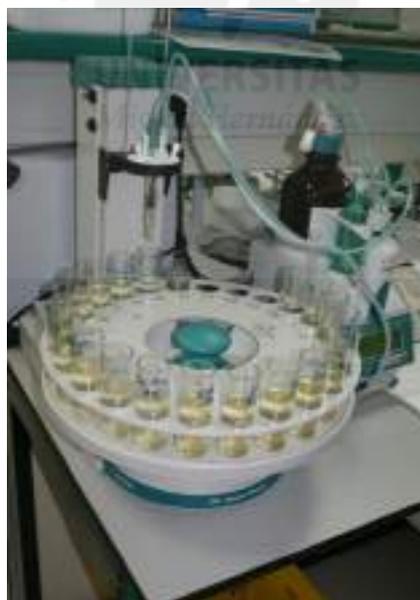
Para realizar la determinación de los sólidos solubles se midieron los °Brix colocando unas gotas de zumo en el refractómetro Warszawa modelo RL2, con una sensibilidad de $\pm 0,2$ °Brix. El refractómetro se calibra con agua destilada, y las medidas se realizaron a 20 °C.



Fotografía 4: *Refractómetro utilizado para medir los °Brix (SST).*

3.3.10 Determinación de la Acidez Titulable (AT)

Para determinar la acidez de los frutos se usó 1 mL del mismo zumo obtenido en el apartado anterior y se disolvieron en 25 mL de agua destilada. Para llevar a cabo el análisis se usó un valorador automático Metrohm, modelo 785DMP Tritino, complementado con un cambiador de 24 posiciones modelo 760. Así se obtiene el pH inicial y se realiza la valoración hasta un pH final de 8,1 con NaOH 0,1 N. Los resultados se expresan en mg equivalentes del ácido orgánico mayoritario (ácido cítrico). El resultado final se expresó como la media \pm ES (n=3).



Fotografía 5: *Valorador automático Methrom, utilizado para determinar la acidez.*

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PÉRDIDAS DE PESO

Las pérdidas de peso influyen negativamente en la calidad sensorial de los frutos debido a que afectan a su apariencia y textura, y también conlleva una disminución en su calidad nutricional (Becerra et al., 2013).

Tras estudiar este parámetro, pudimos comprobar como éste fue incrementándose a lo largo de la conservación (Figura 1). Sin embargo, los frutos tratados con hesperidina mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los frutos control, ya que los tratamientos fueron efectivos a la hora de retrasar las pérdidas de peso, este hecho se observó durante todo el almacenamiento.

Durante el primer periodo de conservación, se observó como las dosis más bajas fueron muy efectivas en retrasar las pérdidas de peso, aunque esta eficacia hacia al final del periodo de conservación apenas destacó, ya que no se observó diferencias entre el resto de los tratamientos de hesperidina. Sin embargo, todos los tratamientos de hesperidina obtuvieron pérdidas de peso significativamente inferiores con respecto a los frutos controles. De hecho, tras 9 días de almacenamiento a 2 °C los frutos controles mostraron valores de $7,98 \pm 0,34$ % de pérdida de peso los cuales fueron significativamente superiores ($p < 0,05$) con respecto a los observados con los frutos tratados con hesperidina 10, 50, 100 mg L⁻¹ ($5,85 \pm 0,40$, $7,08 \pm 0,36$ y $7,65 \pm 0,25$ % respectivamente).

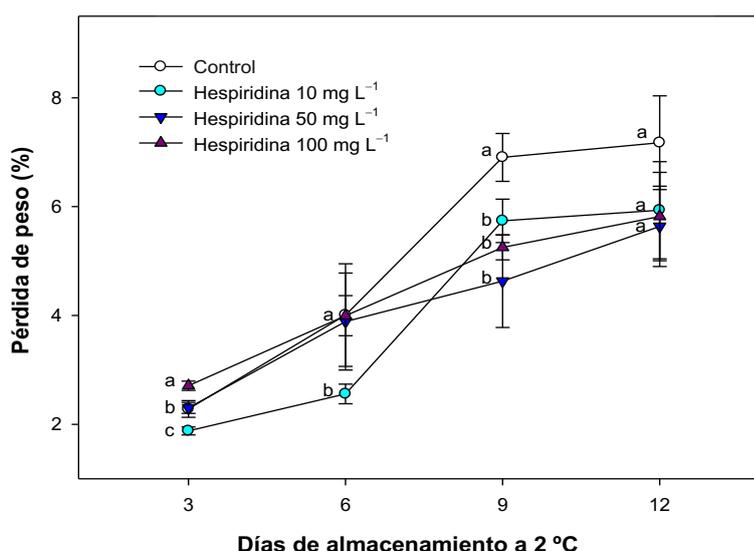


Figura 1: Evolución de la pérdida de peso (%) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los

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

La reducción de las pérdidas de peso con el uso de otras tecnologías basadas también en la utilización de compuestos fenólicos, según Shu et al. (2020) y Su et al. (2019) quienes la estudiaron respectivamente en manzana y lichi, estuvieron asociadas con la regulación de la actividad enzimática relacionada con la senescencia, una mejora de la actividad antioxidante y una mejora en la resistencia de la fruta. En este sentido los autores confirmaron que una mayor integridad de las membranas debido a estos factores provocaba una menor transpiración de los frutos.

4.2. EVOLUCIÓN DE LA RESPIRACIÓN

La vida útil de los productos hortofrutícolas varía en forma inversamente proporcional con la respiración, en el caso de la fresa pese a ser una fruta no climatérica presenta una alta intensidad respiratoria, por lo que una mayor evolución de la respiración influye negativamente en su propia conservación (Carballo, 2003).

En cuanto a la evolución de la respiración durante el estudio, pudimos comprobar como este parámetro fue incrementándose con respecto al avance de la conservación (Figura 2).

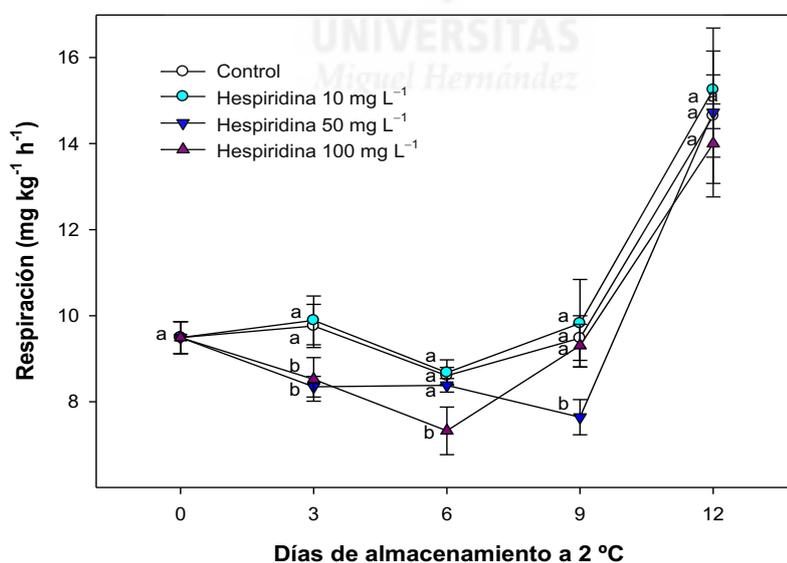


Figura 2: Evolución de la respiración CO_2 ($\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

A su vez se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) de los frutos control con respecto a los frutos tratados con hesperidina a mayores concentraciones 50 y 100 mg L⁻¹ (Figura 2) ya que en varios muestreos observados la hesperidina retrasó la producción de CO₂. En este sentido, tras 3 días de almacenamiento refrigerado los frutos tratados con 50 y 100 mg L⁻¹ de hesperidina alcanzaron valores de 8 mg g⁻¹ h⁻¹, mientras que en los frutos controles y con la dosis más baja alcanzaron valores de alrededor de 10 mg kg⁻¹ h⁻¹, este comportamiento se mantuvo a lo largo del almacenamiento, aunque al final del experimento tras 12 días, no se observaron diferencias significativas entre los frutos tratados.

Se obtuvieron resultados similares sobre el retraso de la respiración en frutos a partir de otras tecnologías efectivas tales como la atmósfera controlada/ modificada (Defilippi & Ulloa, 2023), o la aplicación de campos magnéticos, cuyos resultados indicaron un retraso del metabolismo de las fresas durante el almacenamiento a 4 °C, y una menor frecuencia respiratoria (Liu et al., 2023).

4.3. PRODUCCIÓN DE ETILENO

En lo que respecta a la producción de etileno de los frutos a lo largo del experimento, se determinó que este factor influye negativamente en la calidad de la fresa debido a que, como se ha comentado con anterioridad, pese a ser una fruta no climatérica y por lo tanto considerarse que el etileno exógeno y aplicado no tiene un efecto aparente en la maduración, El-Kazzaz et al. (1983) sugirieron que el etileno podría estimular el crecimiento de hongos y, por lo tanto, acelerar la senescencia de las fresas (Gerhart, 1930).

Una vez obtenidos los resultados con relación a la producción de etileno de las fresas durante el almacenamiento refrigerado, pudimos comprobar como este parámetro disminuyó de manera general a lo largo de la conservación (Figura 3). Se observó que los frutos tratados con una mayor concentración de hesperidina 50 y 100 mg L⁻¹ presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en comparación con las fresas control, disminuyendo la producción de etileno de manera más efectiva a lo largo del estudio.

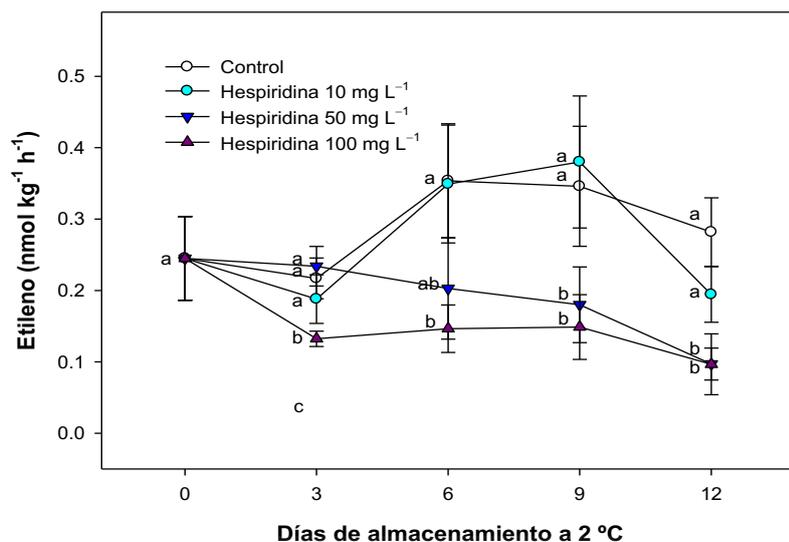


Figura 3: Evolución de la producción de etileno ($\text{nmol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Por tanto, se determinó que las dosis más altas de hesperidina fueron muy efectivas en disminuir la producción de etileno en comparación con las fresas control y las tratadas con hesperidina con la más baja de las concentraciones aplicadas (Figura 3). Durante los 12 días de almacenamiento los valores de producción de etileno de las fresas tratadas con hesperidina 50 y 100 mg L^{-1} evolucionaron de valores cercanos de 0,25 a 0,1 $\text{nmol kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, mientras que en los frutos controles y los tratados con hesperidina 10 mg L^{-1} la producción de etileno aumentó a valores aproximados de 0,35 $\text{nmol Kg}^{-1} \text{h}^{-1}$, y pese a que durante la última etapa de almacenamiento este valor disminuyó, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los frutos tratados con las concentraciones de 50 y 100 mg L^{-1} de hesperidina.

Resultados similares fueron obtenidos por Shu et al. (2020), los cuales observaron que las manzanas tratadas con polifenoles para aliviar las respuestas fisiológicas adversas provocadas por las lesiones por vibración vieron reducida su producción de etileno debido a la regulación de las enzimas participantes en la biosíntesis de este compuesto. Esta reducción de etileno podría estar relacionada con una mayor vida útil del fruto.

4.4. EVOLUCIÓN DEL COLOR

El color se trata de un parámetro importante que influye en gran medida sobre la calidad de las fresas. Su característico color rojo brillante proviene de una las antocianinas, cuyo contenido total depende tanto de la variedad de fresa como las condiciones de intensidad lumínica y temperatura durante el proceso de maduración y almacenamiento. Por lo tanto, una pérdida o degradación del color influye negativamente en el fruto, debido a que puede ser indicativo del desarrollo de enfermedades, exposición a daños físicos o debido a malas condiciones durante la poscosecha (Wigati et al., 2024; Fabela et al., 2002; Rosen & Kader, 1989).

Tras observar los valores obtenidos con relación al parámetro L^* , luminosidad, de los frutos durante el estudio, pudimos comprobar como este factor fue disminuyendo a lo largo de la conservación (Figura 4). A pesar de ello, las fresas tratadas con hesperidina a las distintas concentraciones ensayadas mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los frutos control.

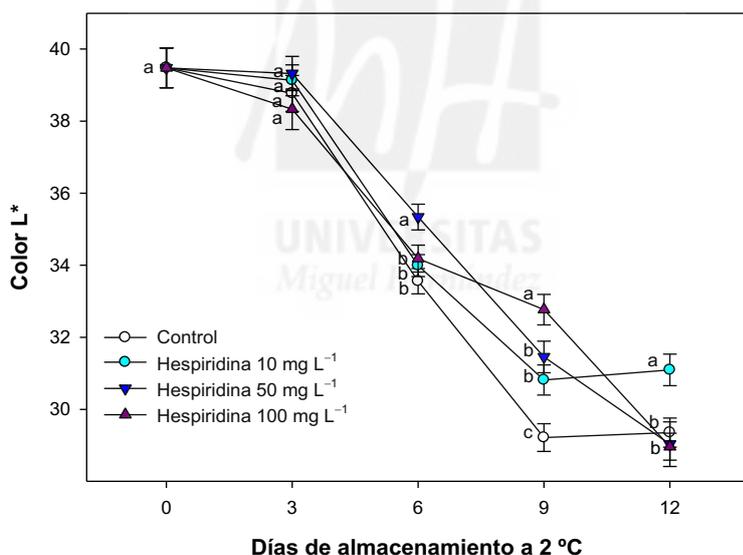


Figura 4: Evolución de la luminosidad (L^*) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Al final del almacenamiento a 2 °C, las fresas tratadas con hesperidina 10 mg L⁻¹ evolucionaron de valores de luminosidad de $39,47 \pm 0,55$ hasta valores de $31,09 \pm 0,43$, significativamente diferentes ($p < 0,05$) a los obtenidos en los frutos controles y los tratados con una mayor concentración de hesperidina 50 y 100 mg L⁻¹ (Figura 4), que

obtuvieron tras los 12 días de almacenamiento valores cercanos a 29, mostrándose así más oscuros y con menos brillo.

Se obtuvieron resultados similares sobre el retraso de la pérdida de luminosidad en fresas, a partir de otras tecnologías efectivas tales como el uso de films protectores (Zhang et al., 2024), o recubrimientos comestibles (Wigati et al., 2024), preservando así su calidad y color. Así mismo, Ilea et al., (2024) también observó en otros frutos como es el tomate tratado con polifenoles diferentes a la hesperidina un retraso de este parámetro que fue relacionado con las menores pérdidas de peso del fruto y una menor oxidación.

4.5. FIRMEZA

Uno de los parámetros importantes que influyen en la calidad de las fresas, es su firmeza, que viene determinada por la naturaleza de las células del parénquima y los constituyentes estructurales. La pérdida de ésta influye negativamente en los frutos, debido a que los sensibiliza considerablemente frente al ataque de patógenos y a los daños físicos (Junta de Andalucía, 2008).

Tras observar los valores obtenidos en relación con la evolución de la firmeza a lo largo de la conservación de los frutos, pudimos comprobar como de manera general este factor fue disminuyendo (Figura 5). Sin embargo, los frutos tratados con hesperidina, mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los frutos controles, ya que los tratamientos fueron efectivos a la hora de reducir las pérdidas de firmeza.

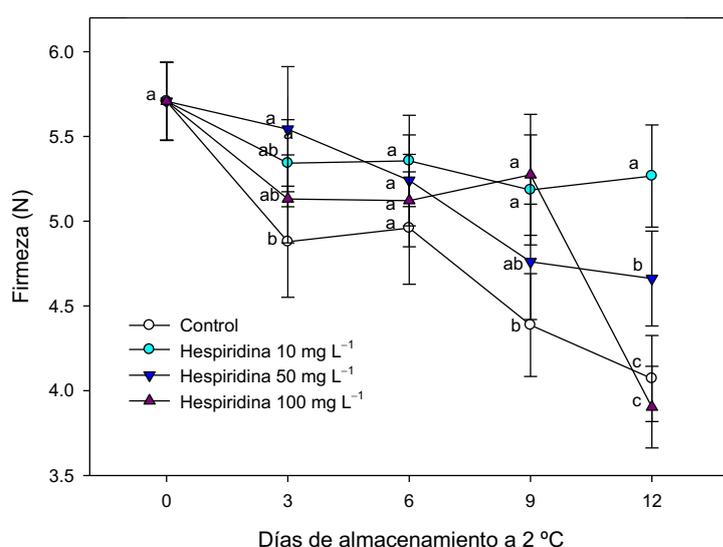


Figura 5: Evolución de la firmeza (N) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los

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

En este caso, se observó que durante todo el experimento (Figura 5) fueron los frutos tratados con las dosis más bajas de hesperidina los que tuvieron una mayor efectividad en retrasar las pérdidas de firmeza, aunque en general en todos los tratamientos con hesperidina se observaron menores pérdidas de firmeza con respecto a los frutos controles, salvo durante la última etapa de conservación en el que los frutos tratados con hesperidina 100 mg L⁻¹ sufrieron una disminución de la firmeza, no obteniendo en el día 12 de almacenamiento refrigeración a 2 °C diferencias significativas con respecto al control.

La reducción de las pérdidas de firmeza con el uso de otras tecnologías basadas también en la utilización de compuestos fenólicos, según Panhui et al. (2018) quienes la estudiaron en la fruta de pitaya roja, podrían estar asociadas con la mayor integridad de la estructura de la membrana, la modulación del metabolismo de la pared celular y la eliminación de especies reactivas de oxígeno. Este efecto, estaría relacionado también con las menores pérdidas de peso observadas en este estudio en las fresas tratadas con hesperidina.

4.6. FUGA DE ELECTROLITOS

La fuga de electrolitos se ha utilizado como indicador del daño físico de las membranas celulares en frutas, por lo que un aumento de este parámetro durante el almacenamiento refrigerado influye negativamente sobre su calidad, debido a que los procesos de maduración y senescencia suelen estar relacionados con la desintegración de la membrana celular (Antunes & Sfakiotakis, 2008; Shu et al., 2020).

Tras estudiar este parámetro, pudimos comprobar como éste fue incrementándose a lo largo de la conservación (Figura 6). Sin embargo, los frutos tratados con hesperidina y especialmente con la menor concentración (10 mg L⁻¹), mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los frutos controles, siendo el más efectivo a la hora de retrasar la pérdida de electrolitos con respecto al resto de tratamientos con hesperidina a mayor concentración.

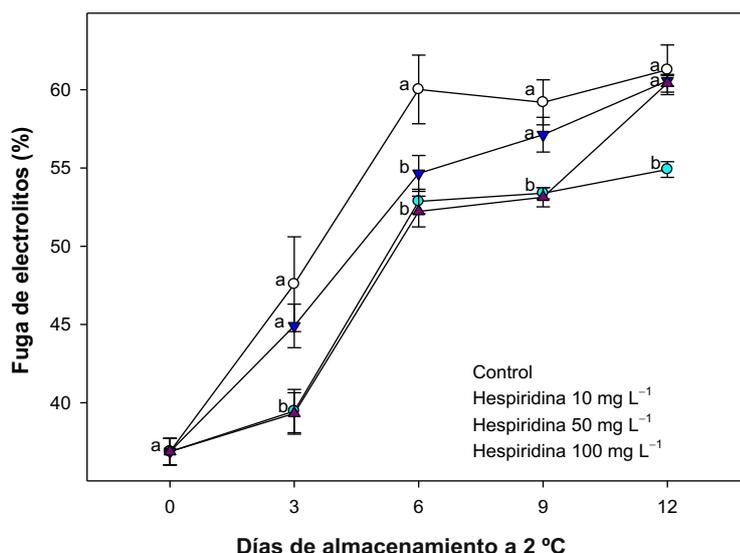


Figura 6: Evolución de la fuga de electrolitos (%) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Otros estudios basados también en el uso de polifenoles para el tratamiento poscosecha de manzana y pitaya roja, señalaron que en aquellas frutas tratadas con polifenoles se retrasó la fuga de electrolitos (Shu et al., 2020; Panhui et al., 2018)

4.7. CONTENIDO DE MALONDIALDEHIDO (MDA)

El MDA es uno de los principales productos de la peroxidación lipídica y sirve como un indicador significativo de la descomposición metabólica. Un aumento de este aldehído se ha asociado directamente con un incremento en la permeabilidad de la membrana (Deng et al., 2010).

Cuando estudiamos la evolución de este parámetro pudimos comprobar como el contenido en MDA fue incrementando a lo largo del almacenamiento refrigerado (Figura 7). Sin embargo, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los tratamientos aplicados. De hecho, desde el comienzo del experimento, las distintas concentraciones de hesperidina fueron capaces de retrasar esta evolución. Aunque la mayor de las concentraciones (100 $\mu\text{g kg}^{-1}$) fue la más efectiva al comienzo del experimento, fueron las concentraciones más bajas (10 y 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$) las que mantuvieron los valores de MDA más bajos que el control a lo largo de todo el experimento.

El retraso provocado por las concentraciones de hesperidina podría estar relacionado con un mejor balance antioxidante provocado por este polifenol, tal y como y se ha observado en otros estudios (Ilea et al., 2024). Al mantener la actividad antioxidante de la fruta, la oxidación se estaría reduciendo, protegiendo la integridad de las membranas como se ha observado en diferentes especies vegetales (Cao et al., 2011; Jin et al., 2014).

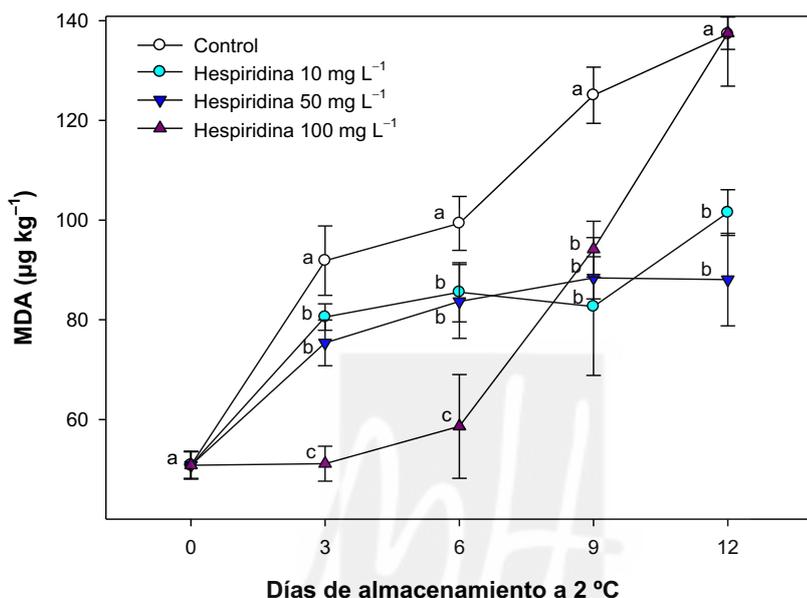


Figura 7: Evolución del contenido de MDA ($\mu\text{g kg}^{-1}$) en las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

4.8. POLIFENOLES TOTALES

La fresa se caracteriza por tener un elevado contenido en compuestos fenólicos tales como antocianinas, flavonoides, derivados del ácido cinámico, etc. (Junta de Andalucía, 2008). Estos compuestos tienen importantes implicaciones nutritivas, ya que muchos de ellos presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y beneficiosas para el sistema cardiovascular, entre otras. Por lo que una pérdida de polifenoles afecta negativamente a su valor nutricional, reduciendo su calidad (Villamil et al., 2020).

En cuanto a la evolución de los polifenoles totales durante el estudio, pudimos comprobar como este parámetro fue disminuyendo con el avance del experimento (Figura 8). Sin embargo, las fresas tratadas con hesperidina a todas las concentraciones

ensayadas mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los frutos controles, demostrando su eficacia a la hora de retrasar las pérdidas de polifenoles.

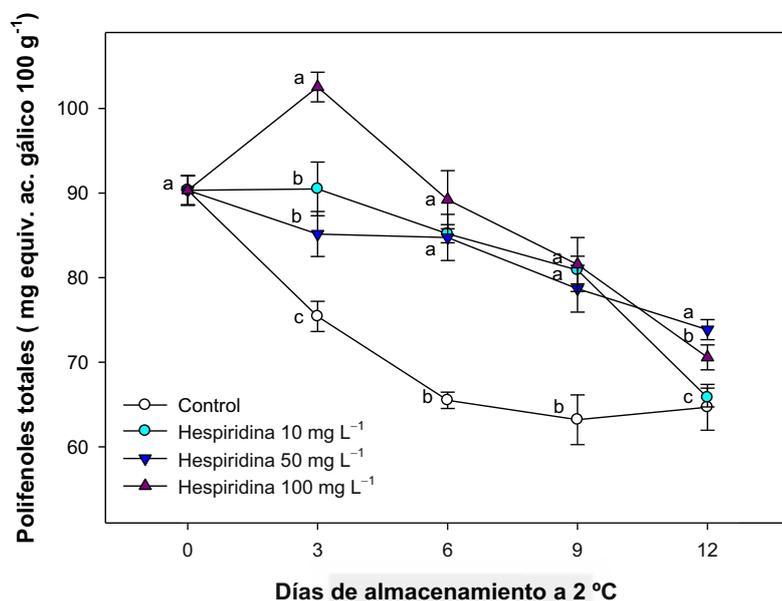


Figura 8: Evolución del contenido de polifenoles totales (mg equivalente de ácido gálico 100 g⁻¹) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media ± ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Además, la concentración más alta de hesperidina llegó a incrementar el contenido en polifenoles totales (Figura 8). Este efecto se ha observado en otros frutos como el tomate (Ilea et al., 2024), donde se comprobó que muchos de los polifenoles individuales del fruto incrementaron justo tras el tratamiento con otros polifenoles, lo que pudo estar relacionado con un mayor estímulo de la ruta de los fenilpropanoides. De forma adicional, no se puede descartar que el carácter antioxidante de la hesperidina esté protegiendo a los polifenoles de su oxidación al aumentar el balance antioxidante de los tejidos (Xi et al., 2017).

4.9. CLOROFILAS

El verdor del cáliz de las fresas es un indicador visual importante de la frescura y calidad de la fruta. Un cáliz verde y fresco sugiere que la fresa es reciente y ha sido manipulada adecuadamente desde su cosecha.

En este sentido, tras evaluar el contenido de clorofilas en el cáliz de las fresas, pudimos observar que estos compuestos bioactivos descendieron durante el almacenamiento (Figura 9). Sin embargo, se observaron diferencias con respecto a los diferentes tratamientos aplicados. Así, mientras que la concentración más baja no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto a los frutos controles a lo largo de todo el estudio estas diferencias sí existieron. Particularmente fue efectiva la concentración más baja (10 mg kg^{-1}) mantuvo niveles similares al día de recolección hasta pasados 9 días de almacenamiento refrigerado.

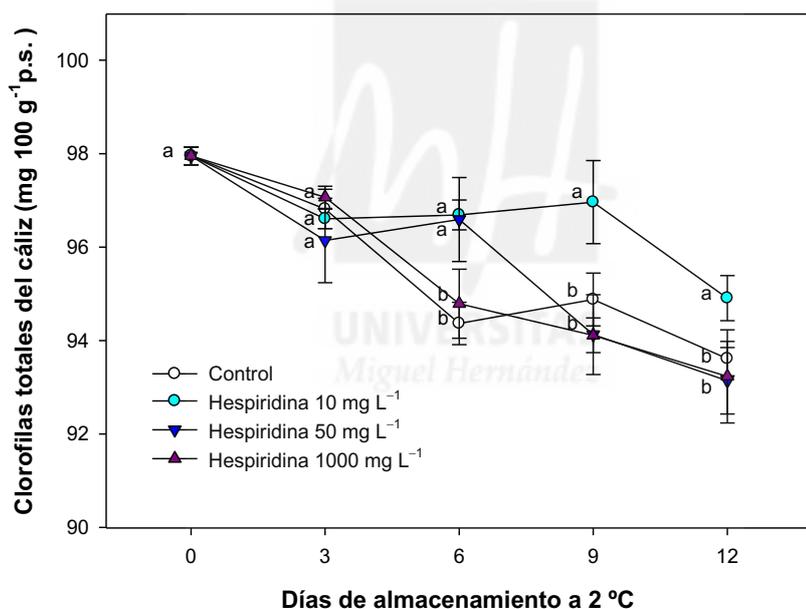


Figura 9: Evolución del contenido de clorofilas totales del cáliz ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$) de las fresas controles y tratadas con 1-MCP o GABA a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

El mayor mantenimiento del contenido de clorofilas podría estar relacionado por dos motivos. Por un lado, una menor descompartimentalización de los tejidos que estimularía la degradación de las clorofilas por parte de las enzimas oxidativas, y por otro, el mayor nivel antioxidante que podría estar confiriendo las aplicaciones con

hesperidina. Esta relación ha sido puesta de manifiesto en diferentes estudios en fresa y otras especies vegetales, donde la aplicación de compuestos antioxidantes mantuvo el contenido de clorofila lo que indicaría el retraso general del cáliz (Liu et al., 2018; Wu et al., 2020). Los cloroplastos son objetivos fáciles del daño inducido por especies reactivas de oxígeno durante el almacenamiento en frío y la senescencia natural, ya que los sistemas de desintoxicación de estas especies disminuyen en las hojas y otras partes verdes de la planta después de la cosecha (Khanna-Chopra, 2012).

4.10. SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)

Con respecto a la evolución de los sólidos solubles totales durante el experimento, se pudo comprobar que las pérdidas progresivas de este parámetro influyen negativamente sobre la calidad sensorial del fruto, ya que junto con otros factores los sólidos solubles son indicadores utilizados para evaluar el sabor y dulzor de frutas como las fresas (Ikegaya & Oishi, 2024; Shamaila et al., 1992).

Una vez obtenidos los resultados en relación a este parámetro durante el almacenamiento refrigerado de las fresas, pudimos comprobar como fue aumentando de manera general a lo largo de la conservación (Figura 10).

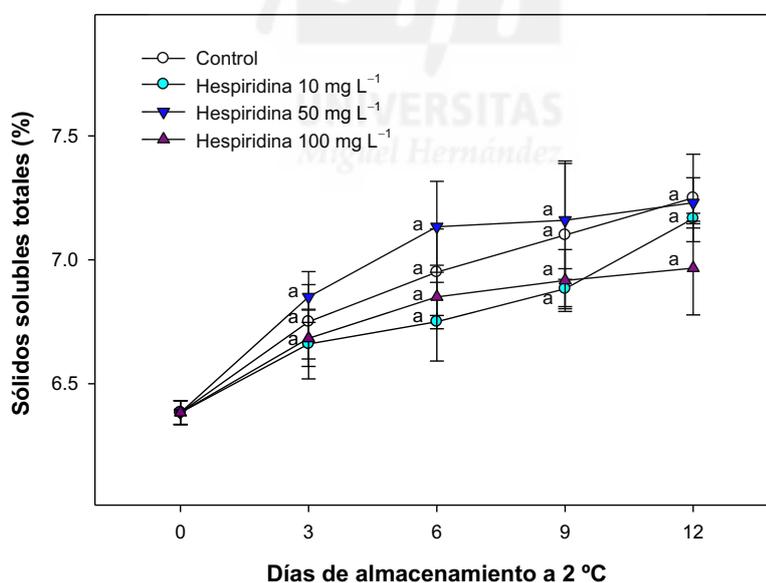


Figura 10: Evolución de los sólidos solubles (%) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Aunque se observó un retraso en la evolución de los valores medios de los frutos tratados con las concentraciones más altas de hesperidina, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles entre las muestras control y las muestras tratadas con hesperidina a 10, 50 y 100 mg L⁻¹. De acuerdo con Rivera y Tong (1998), la fresa tiene un sabor aceptable cuando el contenido de sólidos solubles mínimo es del 7%.

El aumento de sólidos solubles observado durante el estudio (Figura 10) podría estar asociado a que, a diferencia de la mayoría de las frutas no climatéricas, la fresa cambia rápidamente su apariencia durante la maduración, la cual está caracterizada en parte a un incremento en los azúcares solubles, componente principal de los sólidos solubles (Perkins-Veazie, 1991; Mitcham et al., 1996).

Otros estudios basados en el uso de polifenoles para el tratamiento poscosecha de manzana y pitaya roja, observaron que en aquellas frutas tratadas con polifenoles también se ralentizó la evolución del contenido de sólidos solubles (Shu et al., 2020; Panhui et al., 2018)

4.11. ACIDEZ TOTAL VALORABLE (AT)

La acidez total representa el contenido de ácidos orgánicos presentes en la fruta. Este factor es muy importante en lo que respecta a la calidad de las fresas, debido a que los ácidos orgánicos tienen una gran influencia sobre su sabor, color y su estado de maduración. Una pérdida de acidez puede hacer que un fruto pueda llegar a ser sobre maduro no por la acumulación de los azúcares, sino por la pérdida de los ácidos orgánicos (Cordenunsi et al., 2002; Montero et al., 1996; Pistón et al., 2017).

Tras observar los valores obtenidos con relación a la acidez total valorable durante el almacenamiento a 2 °C, pudimos comprobar como este valor fue disminuyendo a lo largo de la conservación (Figura 11). No obstante, hacia el final del experimento, los frutos tratados con hesperidina mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los frutos control, ya que los tratamientos fueron efectivos a la hora de retrasar ligeramente las pérdidas de acidez, aunque durante el almacenamiento previo no se observaron diferencias.

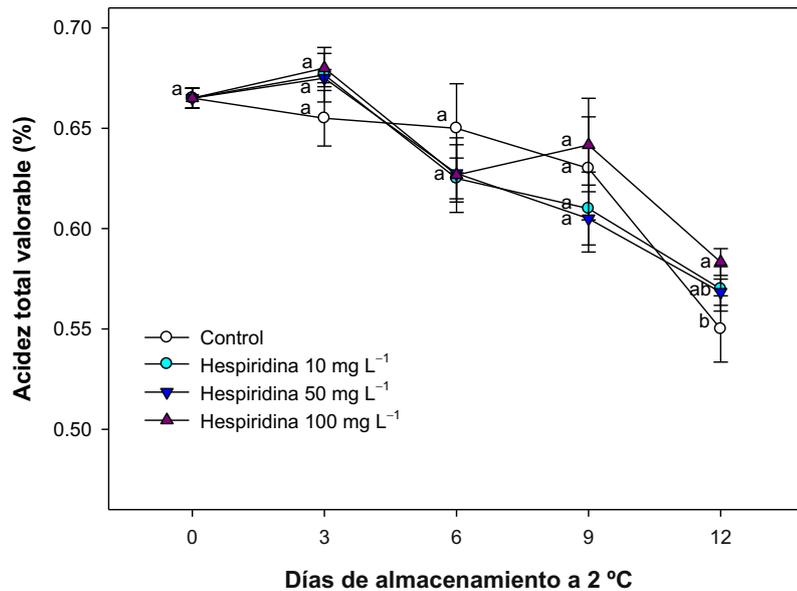


Figura 11: Evolución de la acidez total valorable (%) de las fresas controles y tratadas con hesperidina a distintas concentraciones durante el almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media \pm ES de tres réplicas de 20 frutos. Letras diferentes entre tratamientos muestran diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$).

Se obtuvieron resultados similares sobre el retraso de la pérdida de acidez en fresas, a partir de otras tecnologías efectivas tales como el uso de recubrimientos comestibles cuyo efecto está asociado a la reducción de las actividades metabólicas relacionadas con la respiración, lo que conduce a una mejor conservación de la acidez durante el período de almacenamiento (Taban et al., 2024). En este sentido también en nuestro estudio hemos observado que las diferencias observadas en los sustratos respiratorios de la fresa. Así la menor evolución de los sólidos solubles y la acidez podría estar relacionado con el menor metabolismo (respiración y etileno) observado en los frutos tratados con hesperidina previamente.

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Este estudio ha demostrado que la hesperidina es efectiva para mantener la calidad de las fresas durante el almacenamiento en frío, reduciendo la pérdida de peso, respiración, y producción de etileno. Además, los tratamientos fueron efectivos para preservar la firmeza, el color, y el contenido de polifenoles, lo que contribuye a una mejor resistencia al deterioro y una apariencia más fresca.

La hesperidina también mostró capacidad para reducir el daño oxidativo, reduciendo el daño de las membranas celulares y manteniendo el verdor del cáliz, lo cual es crucial para la frescura del producto apreciada visualmente por el consumidor.

Las concentraciones recomendadas estarían dentro del rango de 10-50 mg kg⁻¹ que fueron las concentraciones que mejor controlaron en general la mayor parte de los parámetros. Así, podemos concluir que las aplicaciones con hesperidina podrían constituir una herramienta efectiva a la hora de controlar la senescencia y mantener la calidad de las fresas.

Son muchos los residuos vegetales ricos en compuestos fenólicos que podrían extraerse para mejorar la economía circular y el aprovechamiento de subproductos obteniendo extractos ricos en hesperidina y otros flavonoides que podrían resultar de utilidad como tratamientos poscosecha. Además, pese a que las concentraciones óptimas han sido dilucidadas en este Trabajo de Investigación, podría resultar de interés la combinación de hesperidina o extractos polifenólicos con otras tecnologías como los recubrimientos comestibles que podrían mejorar aún más el impacto del tratamiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

Análisis campaña 2023/24 de frutos rojos-MAPA (2024)

Antunes, M. D. C., & Sfakiotakis, E. M. (2008). *Changes in fatty acid composition and electrolyte leakage of “Hayward” kiwifruit during storage at different temperatures*. Food Chemistry, 110(4), 891–896.

Arroyo, P., Mazquiaran, L., Rodríguez, P., Valero, T., Ruíz, E., Ávila, J.M., & Varela, G. (2018). *Informe del Estado de Situación sobre “Frutas y Hortalizas: Nutrición y Salud en la España del S.XXI”*. Fundación Española de la nutrición.

Asgarian, Z. S., Karimi, R., Ghabooli, M., & Maleki, M. (2022). *Biochemical changes and quality characterization of cold-stored “Sahebi” grape in response to postharvest application of GABA*. Food Chemistry, 373 (Pt A).

Becerra, C., Robledo, P., Defilippi, B. (2013) *Cosecha y poscosecha de frutilla*. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Nº. 262.

Bianchi, P. G. (2018). *Guía completa del cultivo de las fresas*. Parkstone International.

Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). *Fatty acid composition and antioxidant system in relation to susceptibility of loquat fruit to chilling injury*. Food Chemistry, 127(4), 1777–1783.

Chen, J., Dai, X., Jiang, C., Fu, Y., Jiang, T., Tang, L., Wang, L., Wang, Q., Huang, G., & Cao, J. (2021). *One new protocatechuic acid methyl ester and one enantiomeric pair of dihydroflavones isolated from *Phymatopteris hastata**. Phytochemistry Letters, 43, 130–134.

Cifras del sector de Frutas y Hortalizas- MAPA (2023).

Cordenunsi, B. R., Oliveira do Nascimento, J. R., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2002). *Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(9), 2581–2586.

- Defilippi B., Bruno y Ulloa F., Pablo. (2023) *Calidad en arándanos: bases fisiológicas y tecnológicas para el manejo de cosecha y postcosecha*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Deng, Y., Xu, L., Zeng, X., Li, Z., Qin, B., & He, N. (2010). *New perspective of GABA as an inhibitor of formation of advanced lipoxidation end-products: It's interaction with malondiadehyde*. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 6(4), 318–324.
- Diezma, B., A. Marañón, M. Ruiz, L. Flores y J. Diez. (2001). “*Firmeza de la Fruta: Determinación por Métodos no Destructivos*.” *Revista Horticultura* 154 (7): 1-7.
- El-Kazzaz, M. K. (1983). *Effect of different atmospheres on postharvest decay and quality of fresh strawberries*. *Phytopathology*, 73(2), 282.
- Estrada-Nolasco, C. (2011). *Caracterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (Fragaria x ananassa) para el subtrópico*. Estado de México (Texcoco): Colegio de Posgraduados Campus Montecillo.
- Fabela-Gallegos, M.J., Hernández-Jiménez, J.R., Vázquez-Vega, D., Lozano-Guzmán, A. (2002). *Vibración durante el transporte y su efecto en percederos. Enfoque introductorio*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica No. 188. Sanfandila, Querétaro, México.
- Fan, P., Huber, D. J., Su, Z., Hu, M., Gao, Z., Li, M., Shi, X., & Zhang, Z. (2018). *Effect of postharvest spray of apple polyphenols on the quality of fresh-cut red pitaya fruit during shelf life*. *Food Chemistry*, 243, 19–25.
- Fraga, C. G., Martino, V. S., Ferraro, G. E., Coussio, J. D., & Boveris, A. (1987). *Flavonoids as antioxidants evaluated by in vitro and in situ liver chemiluminescence*. *Biochemical Pharmacology*, 36 (5), 717–720.
- García-Ramos, F. J., Valero, C., Homer, I., Ortiz-Cañavate, J., & Ruiz-Altisent, M. (2005). *Non-destructive fruit firmness sensors: a review*. *Revista de Investigacion Agraria*. Spanish Journal of Agricultural Research, 3 (1), 61–73.

- Garg, A., Garg, S., Zaneveld, L. J., & Singla, A. K. (2001). *Chemistry and pharmacology of the Citrus bioflavonoid hesperidin*. HESPERIDIN - CHEMISTRY AND PHARMACOLOGY. *Phytotherapy Research: PTR*, 15 (8), 655–669.
- GBD 2017 Diet Collaborators (2019). *Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017*. *Lancet* (London, England), 393, 1958–1972.
- Gerhart, A. R. (1930). *Respiration in Strawberry Fruits*. *Botanical gazette* (Chicago, Ill.), 89 (1), 40–66.
- Ikegaya, A., & Oishi, R. (2024). *Differences in analytical methods affect the analytical values of soluble solids, free sugar, and organic acid content of strawberries*. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 201.
- Ilea, M. I. M., Zapata, P. J., Fernández-Picazo, C., Díaz-Mula, H. M., Castillo, S., & Guillén, F. (2024). *Chlorogenic acid as a promising tool for mitigating chilling injury: Cold tolerance and the ripening effect on tomato fruit (Solanum lycopersicum L.)*. *Plants*, 13, 2055.
- Izhar, S. (1997). *INFRA SHORT-DAY STRAWBERRY TYPES*. *Acta horticulturae*, 439, 155–160.
- Jin, P., Zhu, H., Wang, L., Shan, T., & Zheng, Y. (2014). *Oxalic acid alleviates chilling injury in peach fruit by regulating energy metabolism and fatty acid contents*. *Food Chemistry*, 161, 87–93.
- Junta de Andalucía. (2008) *La fresa de Huelva*. Junta de Andalucía. 227-233.
- Kader, A.A., (1992). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 3311: California. USA. Pág. 296.
- Katel, S., Mandal, H. R., Kattel, S., Yadav, S. P. S., & Lamshal, B. S. (2022). *Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review*. *Heliyon*, 8.
- Khan, M. I. R., Jalil, S. U., Chopra, P., Chhillar, H., Ferrante, A., Khan, N. A., & Ansari, M. I. (2021). *Role of GABA in plant growth, development and senescence*. *Plant Gene*, 26.

- Khanna-Chopra, R. (2012). *Leaf senescence and abiotic stresses share reactive oxygen species-mediated chloroplast degradation*. *Protoplasma*, 249(3), 469–481.
- Korkina, L.G. and Afanas'ev, I.B. (1997). *Antioxidants and chelating properties of flavonoids*. *Advances in Pharmacology*, 38: 151-163.
- Kou, X., Yang, S., Chai, L., Wu, C., Zhou, J., Liu, Y., & Xue, Z. (2021). *Absciscic acid and fruit ripening: Multifaceted analysis of the effect of absciscic acid on fleshy fruit ripening*. *Scientia Horticulturae*, 281.
- Lezoul, N. E. H., Belkadi, M., Habibi, F., & Guillén, F. (2020). *Extraction Processes with Several Solvents on Total Bioactive Compounds in Different Organs of Three Medicinal Plants*. *Molecules*, 25(20), 4672.
- Li, D., Wang, Q., Xu, Y., Chen, Y., Zhang, X., Ding, S., & Luo, Z. (2024). *The regulation of postharvest strawberry quality mediated by absciscic acid under elevated CO₂ stress*. *Food Chemistry*, 459.
- Li, M., Chi, H., Sun, L., Han, C., Wei, B., Zhou, Q., Zhou, X., Jin, P., Zheng, Y., & Ji, S. (2024). *Spraying 2,4-Epi brassinolide maintains the quality attributes and activates reactive oxygen species metabolism of postharvest strawberries*. *Scientia Horticulturae*, 331.
- Liu, C., Jin, T., Liu, W., Hao, W., Yan, L., & Zheng, L. (2021). *Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit*. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie* 148.
- Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). *Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit*. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 47–55.
- Liu, F., Yang, N., Zhang, L., Cui, B., Jin, Y., Jin, Z., & Xu, X. (2023). *Magnetic field delays the senescence of strawberries by maintaining energy state and regulating respiratory metabolism*. *Postharvest Biology And Technology*, 199.
- Medina Mínguez, J.J.; Miranda Enamorado, L.; Gómez Mora, J.A. y Soria Navarro, C. (2021) *Distribución varietal (%) durante la campaña 2020/21 en Huelva*. Sevilla. Consejería de

Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.

- Miller, N. J., & Rice-Evans, C. A. (1997). *The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink*. Food Chemistry, 60 (3), 331–337.
- Mitcham, B., Cantwell, M. y Kader, A. (1996). *Methods for determining quality of fresh commodities*. Perishables Handling. Newsletter Issue. 85. 1-5.
- Montero, T. M., Mollá, E. M., Esteban, R. M., & López-Andréu, F. J. (1996). *Quality attributes of strawberry during ripening*. Scientia Horticulturae, 65(4), 239–250.
- MSc. Tania Mulkay Vitón. (2021). *La poscosecha de frutas*. Instituto de investigaciones en fruticultura tropical.
- Nunes, M. C., J. Brecht, M. Morais y S. Sargent. (2005). *Possible influences of water loss and polyphenol oxidase activity on anthocyanin content and discoloration in fresh ripe strawberry Cultivar Oso Grande during storage at 1 °C*. Journal of Food Science 70 (1): 79-84.
- Perkins-Veazie, P. 1991. *Clues in the Mystery of Strawberry Fruit Ripening. In the Strawberry into the 21st Century*. Proceedings of the Third North American Strawberry Conference. Edited by Adam Dale and James J. Luby. Timber Press Inc., Portland Oregon, U.S.A. 172-173.
- Pistón, F., Pérez, A.G., Sanz, C., Refoyo, A., (2017). *Relationship between sugar content and brix as influenced by cultivar and ripening stages of strawberry*. Acta horticulturae. 1156, 491–495.
- Poling, E. B. (2012). *Strawberry plant structure and growth habit*. NC State University.
- Rivera A. y Tong, C. (1998). *Commercial Postharvest handling of Strawberries (Fragaria spp)*.
- Rosen, J. C., & Kader, A. A. (1989). *Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits*. Journal of Food Science, 54(3), 656–659.

- Roudeillac, P. Veschambre, D. (1987). *La fraise. Techniques de production*. Paris.
- Saleem, M. S., Anjum, M. A., Naz, S., Ali, S., Hussain, S., Azam, M., Sardar, H., Khaliq, G., Canan, İ., & Ejaz, S. (2021). *Incorporation of ascorbic acid in chitosan-based edible coating improves postharvest quality and storability of strawberry fruits*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 189, 160–169.
- Schwingshackl, L., Schwedhelm, C., Hoffmann, G., Lampousi, A.-M., Knüppel, S., Iqbal, K., Bechthold, A., Schlesinger, S., & Boeing, H. (2017). *Food groups and risk of all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies*. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 105 (6), 1462–1473.
- Sergio Carballo. (2003). *Fisiología de la respiración y transpiración de frutas y hortalizas*. Programa Nacional de Horticultura.
- Shamaila, M., Baumann, T. E., Eaton, G. W., Powrie, W. D., & Skura, B. J. (1992). *Quality attributes of strawberry cultivars grown in British Columbia*. *Journal of Food Science*, 57(3), 696–699.
- Sheng, L., Shen, D., Luo, Y., Sun, X., Wang, J., Luo, T., Zeng, Y., Xu, J., Deng, X., & Cheng, Y. (2017). *Exogenous γ -aminobutyric acid treatment affects citrate and amino acid accumulation to improve fruit quality and storage performance of postharvest citrus fruit*. *Food Chemistry*, 216, 138–145.
- Shu, C., Zhang, W., Zhao, H., Cao, J., & Jiang, W. (2020). *Chlorogenic acid treatment alleviates the adverse physiological responses of vibration injury in apple fruit through the regulation of energy metabolism*. *Postharvest Biology and Technology*, 159.
- Sommer, N. F., Fortlage, R. J., Mitchell, F. G. Y Maxie, E. C. (1973). *Reduction of postharvest losses of strawberry fruit from grey mold*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 98(3), 285-288.
- Strand, L. L. (2008). *Integrated pest management for strawberries*. UCANR Publications.
- Su, Z., Hu, M., Gao, Z., Li, M., Yun, Z., Pan, Y., Zhang, Z., & Jiang, Y. (2019). *Apple polyphenols delay senescence and maintain edible quality in litchi fruit during storage*. *Postharvest Biology and Technology*, 157.

- Taban, A., Haghghi, T. M., Mousavi, S. S., & Sadeghi, H. (2024). *Are edible coatings (with or without essential oil/extract) game changers for maintaining the postharvest quality of strawberries? A meta-analysis*. *Postharvest Biology and Technology*, 216.
- Villamil-Galindo, E., Van de Velde, F., & Piagentini, A. M. (2020). *Extracts from strawberry by-products rich in phenolic compounds reduce the activity of apple polyphenol oxidase*. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie. Food Science and Technology*, 133.
- Vu, H. T., Scarlett, C. J., & Vuong, Q. V. (2019). *Changes of phytochemicals and antioxidant capacity of banana peel during the ripening process; with and without ethylene treatment*. *Scientia Horticulturae*, 253, 255-262.
- Wang, F., Xiao, J., Zhang, Y., Li, R., Liu, L., & Deng, J. (2021). *Biocontrol ability and action mechanism of Bacillus halotolerans against Botrytis cinerea causing grey mould in postharvest strawberry fruit*. *Postharvest Biology and Technology*, 174.
- Wigati, L. P., Wardana, A. A., Jothi, J. S., Leonard, S., Van, T. T., Yan, X., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2024). *Biochemical and color stability preservation of strawberry using edible coatings based on jicama starch/calcium propionate/agarwood bouya essential oil during cold storage*. *Journal of Stored Products Research*, 107.
- Wills, R., B. McGlasson, D. Graham y D Joyce. (2007). *Postharvest. An introduction to the physiology & Handling of fruit, vegetables & ornamentals*. CAB International. Wallingford UK.
- Wu, C., Cao, S., Xie, K., Chi, Z., Wang, J., Wang, H., Wei, Y., Shao, X., Zhang, C., Xu, F., & Gao, H. (2021). *Melatonin delays yellowing of broccoli during storage by regulating chlorophyll catabolism and maintaining chloroplast ultrastructure*. *Postharvest Biology and Technology*, 172.
- Xi, Y., Jiao, W., Cao, J., & Jiang, W. (2017). *Effects of chlorogenic acid on capacity of free radicals scavenging and proteomic changes in postharvest fruit of nectarine*. *PLoS One*, 12(8).
- Xia, D., Wu, X., Shi, J., Yang, Q., & Zhang, Y. (2011). *Phenolic compounds from the edible seeds extract of Chinese Mei (Prunus mume Sieb. et Zucc) and their antimicrobial activity*. *LWT - Food Science and Technology* 44(1), 347-349.

Yuan, S., Wang, B., Wang, M., Sun, M., Wang, X., Li, X., Yang, N., Xu, X., Zheng, S., & Wang, Q. (2024). *Antifungal mechanism of protocatechuic acid methyl ester against Botrytis cinerea in postharvest strawberry fruit*. *Postharvest Biology and Technology*, 211.

Zhang, Y., Lin, B., Tang, G., Chen, Y., Deng, M., Lin, Y., Li, M., He, W., Wang, Y., Zhang, Y., Luo, Y., Chen, Q., Wang, X., & Tang, H. (2024). *Application of γ -aminobutyric acid improves the postharvest marketability of strawberry by maintaining fruit quality and enhancing antioxidant system*.

Zhang, Yiming, Zhu, M., Huang, Z., Yang, F., Weng, Y., & Zhang, C. (2024). *The effect of polylactic acid-based blend films modified with various biodegradable polymers on the preservation of strawberries*. *Food Packaging and Shelf Life*, 45.

Zhao, Y., Brummell, D. A., Lin, Q., & Duan, Y. (2024). *Abscisic acid treatment prolongs the postharvest life of strawberry fruit by regulating sucrose and cell wall metabolism*.

