

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



**“Extractos de subproductos cítricos agroindustriales
como solución poscosecha sostenible en la conservación
de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.)”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2025

Autora: Edith Celina Munzón Castillo

Tutores: Antonio Fabián Guillén Arco

Mihaela Iasmina Madalina Ilea

Resumen

Las fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) presentan una vida útil limitada tras la cosecha, y aunque el almacenamiento a bajas temperaturas puede retrasar su maduración, su tiempo de comercialización es muy corto. En este estudio se evaluó la aplicación de extractos derivados de subproductos de naranja, generados durante procesos agroindustriales, como tratamiento poscosecha sostenible para prolongar la vida útil del fruto durante su almacenamiento en frío. Se emplearon extractos en polvo obtenidos de piel y pulpa de naranja en concentraciones de 0,5 y 1 g L⁻¹, así como zumos de estos subproductos en proporciones 1:10 y 1:5. Estas concentraciones fueron seleccionadas por su desempeño óptimo en estudios preliminares. El objetivo principal fue evaluar el efecto de estos tratamientos sobre parámetros clave de calidad, incluyendo la pérdida de peso, firmeza, color, respiración, contenido de compuestos bioactivos y estado fisiológico del fruto. Los resultados demostraron que los tratamientos, especialmente los más concentrados, redujeron significativamente la pérdida de peso. Así mismo, se observó una preservación más eficiente de compuestos fenólicos, mayor estabilidad del color, mayor firmeza, menor fuga de electrolitos y una menor tasa de respiración, lo que se tradujo en una mejor integridad estructural del tejido y menor índice de madurez tras su almacenamiento. Esta investigación constituye el primer estudio en la aplicación de extractos cítricos como tratamiento poscosecha para fresas, demostrando su efectividad en la extensión de la vida útil y conservación de la calidad bajo refrigeración, alineándose con los principios de la economía circular y valorización de residuos agroindustriales.

Palabras clave: Almacenamiento, subproductos de naranja, economía circular, calidad, senescencia.

Abstract

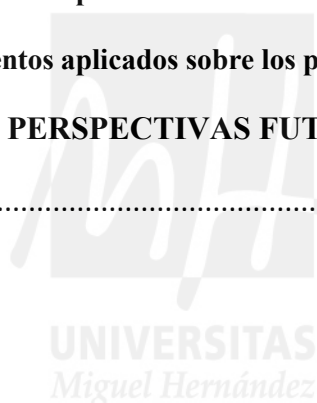
Strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) have a limited shelf life after harvest, and although low-temperature storage can delay ripening, their time to market is very short. This study evaluated the application of extracts derived from orange by-products, generated during agro-industrial processes, as a sustainable postharvest treatment to extend the fruit's shelf life during cold storage. Powdered extracts obtained from orange peel and pulp were applied at concentrations of 0.5 and 1 g L⁻¹, as well as juices from these by-products diluted at 1:10 and 1:5 ratios. These concentrations were selected based on their optimal performance in preliminary studies. The main objective was to assess the effect of these treatments on key quality parameters, including weight loss, firmness, colour, respiration, content of bioactive compounds, and the physiological condition of the fruit. The results showed that the treatments, particularly the more concentrated ones, significantly reduced weight loss. Moreover, a more efficient preservation of phenolic compounds, greater colour stability, increased firmness, reduced electrolyte leakage, and a lower respiration rate were observed, resulting in better structural integrity of the tissue and a lower maturity index after storage. This research constitutes the first study on the application of citrus extracts as a postharvest treatment for strawberries, demonstrating their effectiveness in extending shelf life and preserving quality under refrigeration, in alignment with the principles of the circular economy and agro-industrial waste valorisation.

Keywords: Storage, orange by-product, circular economy, quality, senescence.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. LA FRESA.....	6
1.1.1. Características botánicas	6
1.1.2. Composición nutricional	8
1.1.3. Exigencias relativas a la calidad	10
1.1.4. Variedades de fresa.....	12
1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA	13
1.2.1. Producción de la fresa	13
1.2.2. Exportación e importación.....	15
1.3. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA.....	18
1.4. SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA CITRÍCOLA	19
1.5. ECONOMÍA CIRCULAR Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.....	20
2. OBJETIVOS	21
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	22
3.1. Material vegetal	22
3.2. Diseño experimental	23
3.3. Determinaciones analíticas.....	24
3.3.1. Pérdida de peso	24
3.3.2. Determinación de CO ₂	25
3.3.3. Determinación de la firmeza.....	27
3.3.4. Fuga de electrolitos	27
3.3.5. Evaluación del color	28
3.3.6. Evaluación de los sólidos solubles totales (SST).....	29
3.3.7. Determinación de la acidez titulable (AT).....	30
3.3.8. Contenido en clorofilas en el cáliz de las fresas.....	31

3.3.9. Contenido en polifenoles totales	32
3.3.10. Diagrama de flujo de los equipos utilizados	34
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Efecto de los tratamientos sobre las pérdidas de peso	34
4.2. Evolución de la respiración	36
4.3. Efecto de los tratamientos aplicados sobre la firmeza	38
4.4. Evaluación de los tratamientos aplicados sobre la fuga de electrolitos	40
4.5. Efectos de los tratamientos aplicados sobre el color	42
4.6. Efecto de los tratamientos aplicados sobre los sólidos solubles totales (SST)	45
4.7. Efectos de los tratamientos aplicados sobre el contenido de acidez	46
4.8. Efecto de los tratamientos aplicados sobre las clorofilas totales	48
4.9. Efecto de los tratamientos aplicados sobre los polifenoles totales	49
5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS	51
6. BIBLIOGRAFÍA	53



1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA FRESA

1.1.1. Características botánicas

La fresa es una planta herbácea de crecimiento rastrero, perteneciente a la familia Rosaceae y al género *Fragaria*, cuyas especies se encuentran difundidas por todas las zonas de clima templado y subtropical. Esta especie es popularmente conocida como la “Reina de las frutas”. Se considera uno de los frutales más cultivados a nivel mundial, su alta aceptación entre los consumidores no solo se debe a sus características sensoriales (sabor, olor y aroma), sino también a su valor nutricional y beneficios considerables para la salud humana (Branzanti, 1989; Fierascu et al., 2020).

Son frutas no climatéricas, altamente perecederas con una vida útil poscosecha muy corta. En términos morfológicos, las especies del género *Fragaria* presentan una estructura floral y vegetativa bastante homogénea (**Ilustración 1**). El tallo está constituido por un eje corto llamado “corona”, en el que se observa numerosas escamas foliares. De esta corona nacen unas ramificaciones laterales llamadas estolones. Las hojas suelen ser perennes, y generalmente trifolliadas. Las flores son actinomorfas, blancas (a veces teñidas de rosa) y generalmente de cinco pétalos bien definidos, la polinización suele ser cruzada (alógama) y por medio de insectos (entomófila) (**Ilustración 2**). El fruto es poliaquenio, cuya parte comestible corresponde al receptáculo floral hipertrofiado. Las características de los frutos varían entre cada especie y se utilizan como criterio de clasificación taxonómica (Liston et al., 2014; Maroto y López, 1988).

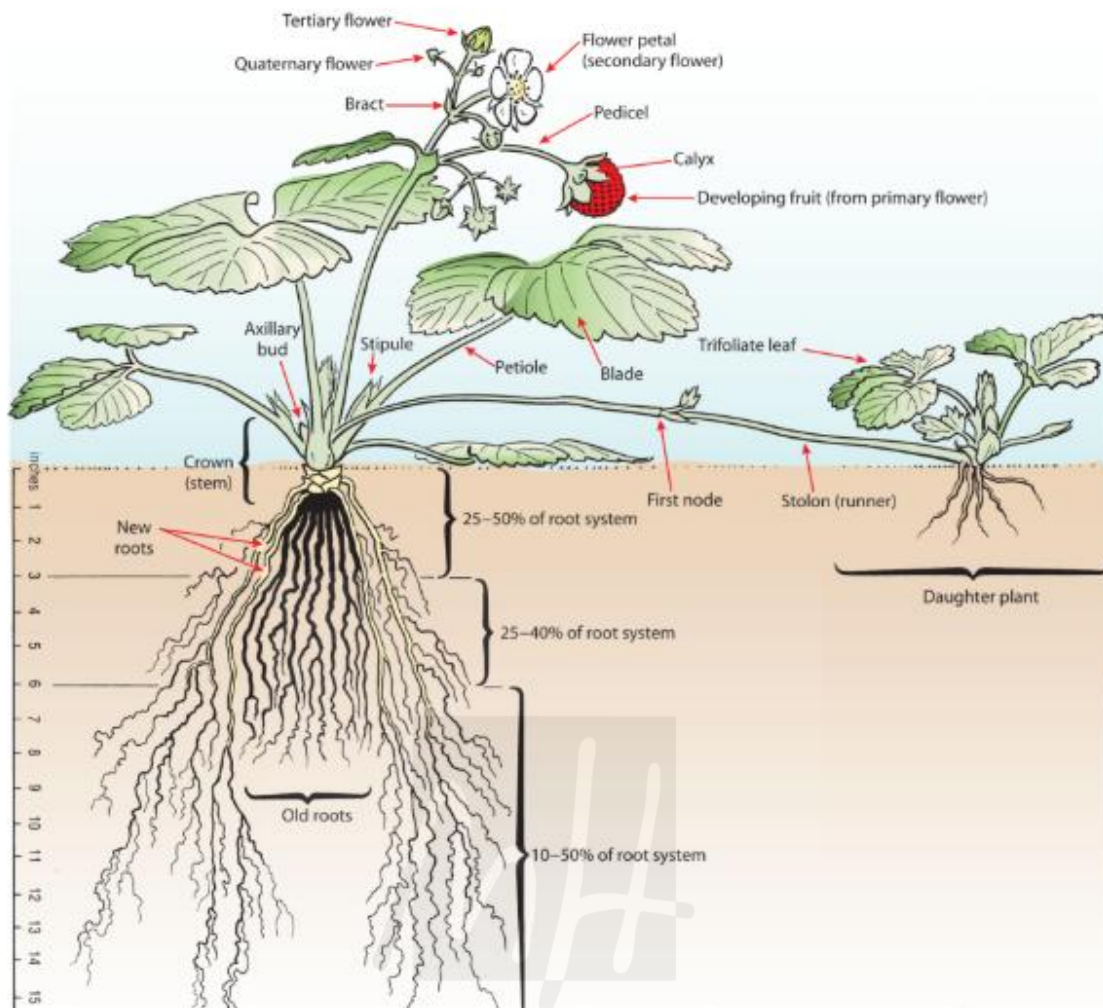


Ilustración 1. Estructura de la planta de fresa en desarrollo (Strand, 2008).

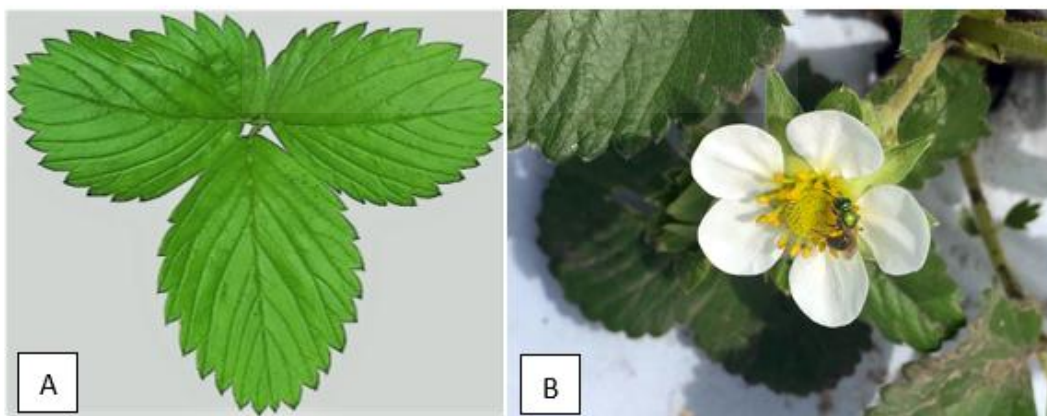


Ilustración 2. (A) Hoja típica trifolio de la fresa (Strand, 2008). (B) Polinización de la flor de fresa (University of Minnesota Extensión, 2021).

De las 247 variedades conocidas, solo unas pocas presentan interés comercial. La más relevante es *Fragaria x ananassa* Duchesne, un híbrido octoploide que contiene 56 cromosomas, denominado “fresa de jardín”, originaria de Norteamérica y cultivada en todo el mundo. Otras especies con menor interés económico son *Fragaria vesca* L., una especie diploide, conocida como fresa silvestre, propia del hemisferio norte y *Fragaria chiloensis* L., una especie octoploide, conocida como fresa chilena, originaria del norte, pacífico y sur de América. La variedad *Fragaria* × *ananassa*, es una de las plantas domesticadas más jóvenes. Se originó en Europa a través de la hibridación entre la *F. virginiana* (norteamericana) y *F. chiloensis* (sudamericana) (Liston et al., 2014; Fierascu et al., 2020).

1.1.2. Composición nutricional

La fresa es una de las frutas más consumidas en el mundo, debido a su alto contenido de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos como los polifenoles, los cuales tienen propiedades antioxidantes, capaces de capturar radicales libres, aportando propiedades beneficiosas para la salud (Ilea et al., 2025; Casbis et al., 2020).

Las fresas presentan bajo valor energético, su componente principal después del agua son los hidratos de carbono. Además, destacan por su elevado contenido de vitamina C, incluso superior a la naranja, así como por la presencia de antocianinas y ácidos orgánicos (Tabla 1).

Tabla 1. *Composición nutricional de la fresa (por 100g de porción comestible).*

Componente	Valor	Unidad
Alcohol (etanol)	0	g
Energía, total	149 (36)	kJ (kcal)
Grasa, total (lípidos totales)	0.5	g
Proteína, total	0.7	g
Agua (humedad)	89.6	g
Fibra, dietética total	2.2	g
Carbohidratos	7	g
Ácidos grasos, monoinsaturados totales	0.063	g
Ácidos grasos, poliinsaturados totales	0.24	g
Ácidos grasos saturados totales	0.032	g
Colesterol	0	mg
Vitamina A (equivalentes de retinol)	1	µg
Vitamina D	0	µg
Vitamina E (equivalentes de alfa tocoferol)	2	mg
Folato, total	20	µg
Equivalentes de niacina, totales	0.6	mg
Riboflavina	0.04	mg
Tiamina	0.02	mg
Vitamina B-12	0	µg
Vitamina B-6, total	0.06	mg
Vitamina C (ácido ascórbico)	60	mg
Calcio	25	mg
Hierro, total	0.8	mg
Potasio	190	mg
Magnesio	12	mg
Sodio	2	mg
Fósforo	24	mg
Yoduro	8	µg
Selenio, total	traza	µg
Zinc (cinc)	0.1	mg

Fuente: *Elaboración propia a partir de la base de datos BEDCA.*

1.1.3. Exigencias relativas a la calidad

La calidad de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) viene definida por un conjunto de atributos físicos, químicos y organolépticos que determinan su aceptación del consumidor. Durante su distribución comercial, las fresas son susceptibles a la manipulación e impacto mecánico, lo que provoca daños en la piel, estas lesiones aceleran su deterioro, reduciendo su vida útil (Ilea et al., 2025).

Para la comercialización de frutas y hortalizas en España y el resto de Unión Europea, se exige que los productos destinados al consumo en fresco cumplan con normas de calidad, las cuales se recogen en el Reglamento (UE) 2023/2429 del anexo I, Parte B.

De acuerdo con este reglamento, las fresas destinadas a la comercialización deben cumplir con unos requisitos mínimos de calidad:

- Presentarse intactas, sin daños físicos.
- Estar sanas, quedando excluidas las que presenten podredumbre u otras alteraciones que puedan afectar su inocuidad.
- Estar limpias, exentas de partículas u objetos ajenos a la fruta.
- Mostrar un aspecto fresco.
- Estar prácticamente exentas de plagas, así como daños ocasionados por éstas.
- Conservar el cáliz adherido (excepto las fresas silvestres); tanto el cáliz como el pedúnculo, deben presentar un aspecto fresco.
- No presentar humedad exterior.
- Estar exentas de olores y/o sabores extraños.

Además, deben haber alcanzado un grado suficiente de desarrollo y madurez. Según este mismo reglamento las fresas se clasifican en 3 categorías comerciales (Extra, I y II), en función de su calidad visual y grado de tolerancia a defectos. Estas categorías afectan directamente al precio y al destino del producto.

Durante la maduración de los frutos, muchos de los parámetros utilizados para evaluar la calidad sirven a su vez para conocer el estado de maduración del fruto. A continuación, detallaremos algunos de los parámetros importantes que se utilizan para evaluar la calidad de las frutas durante la maduración, almacenamiento y distribución.

- Color

El color es uno de los parámetros importantes para estimar el grado de madurez de un fruto, la vida poscosecha y aceptación por los consumidores. Los pigmentos responsables del color en las fresas son las antocianinas que pueden variar dependiendo del cultivo. La pérdida de color es un indicador de senescencia (*Fierascu et al., 2020; Torres et al., 2013*).

- Firmeza

La pérdida de firmeza es clave, pues las fresas blandas son más susceptibles al daño mecánico, factor que acelera el deterioro, reduce los tiempos de transporte y distribución y aumenta pérdidas poscosecha. El ablandamiento es causado por una serie de modificaciones que ocurren en las redes de polímeros que conforman la pared celular primaria del fruto (*Martínez-González et al., 2017*).

- Sólidos solubles y acidez

Durante la madurez los sólidos solubles totales aumentan debido a la conversión de almidón en azúcares simples y la acidez disminuye a medida que los ácidos orgánicos se reducen. Los sólidos solubles son usados para estimar el contenido de azúcares presentes, mientras que la acidez expresa la concentración de ácidos orgánicos. La relación SST/AT se utiliza comúnmente para evaluar el sabor y el estado de maduración de la fruta. Ambos parámetros son de gran importancia para medir la calidad organoléptica y funcional del fruto (*Patel et al., 2023*).

- Pérdida de peso

La deshidratación de la fruta en poscosecha genera pérdida de peso, ablandamiento y flacidez, afectando negativamente el valor comercial del fruto. Esta pérdida está relacionada con la ruptura de las membranas de la pared celular, siendo un parámetro importante para evaluar la calidad del fruto a lo largo de su almacenamiento (*Martínez-González et al., 2017*).

- Compuestos bioactivos

La fresa es considerada como un alimento funcional debido a su elevado contenido en compuestos bioactivos, relacionados con actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, entre otras (*Fierascu et al., 2020*). Durante la maduración, estos

compuestos tienden a incrementarse, constituyendo un parámetro clave para evaluar tanto el estado de maduración como la calidad funcional.

- Respiración

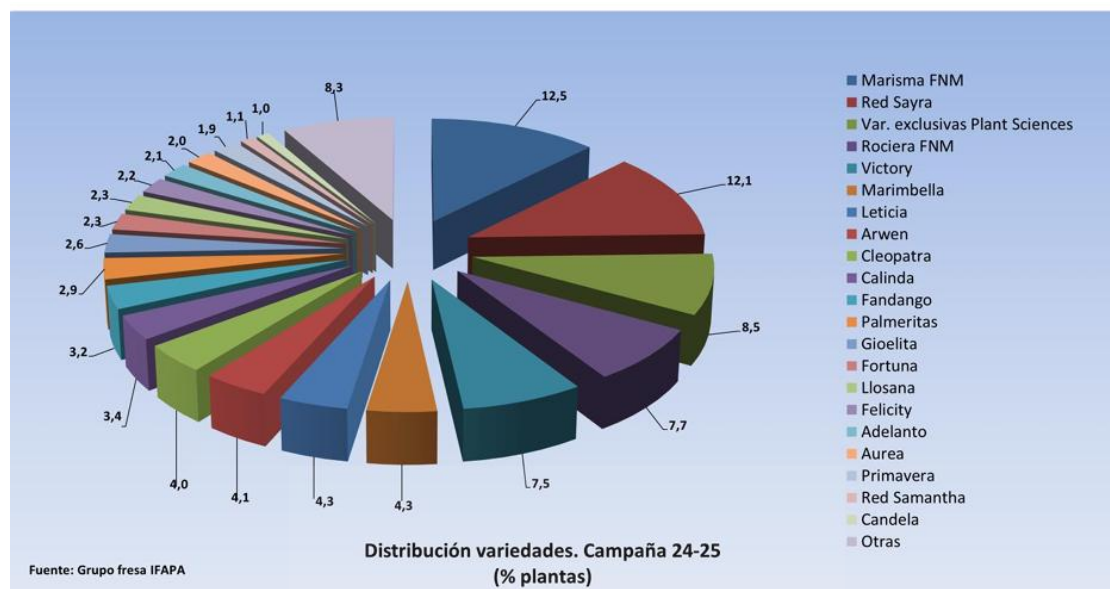
La medición de la respiración nos permite conocer el nivel de actividad metabólica y deterioro del fruto. Las fresas tienen una tasa de respiración alta, lo que conduce a la pérdida de humedad y favorece el crecimiento de microorganismos y, junto con otros factores aceleran el deterioro de la fresa durante su almacenamiento (*Brockelt et al., 2025*).

1.1.4. Variedades de fresa

Existen muchas variedades de fresa, ya que se trata de un cultivo muy versátil. Según el Instituto de investigación y formación agraria y pesquera (IFAPA) y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), la provincia de Huelva es la principal zona productora de fresas en España. Las variedades seleccionadas se diferencian por su color, tamaño, forma y resistencia a condiciones de cultivo y almacenamiento. Se agrupan en respuesta al fotoperiodo (longitud del día) y termoperiodo (temperatura), pudiendo ser de día corto, largo o neutro.

Según datos del grupo de fresa IFAPA de la campaña 2024/2025 las principales variedades cultivadas en Huelva han sido:

Gráfica 1. Distribución varietal (% de plantas) durante la campaña 2024/2025 en la provincia de Huelva.



Fuente: Grupo fresa Instituto de investigación y formación agraria y pesquera (IFAPA).

Como podemos observar las variedades más cultivadas en la actual campaña son Marisma y Red Sayra, con un 24,56 % de las fresas cultivadas en Huelva. Por su parte, Fortuna y Rociera, anteriormente predominantes en el cultivo, se ha visto reducida su presencia de forma continua desde la campaña 2018/2019 (**Gráfica 1**).

La variedad Marisma aparece como la más cultivadas, pasando del 1,7% en 2021/2022 al 12,5% en la campaña actual. Por otro lado, Red Sayra continúa creciendo, tal como la campaña pasada, aumentando del 8,1% al 12,1% en la última campaña, convirtiéndola en la segunda variedad más importante de Huelva.

Esta diversidad varietal es el resultado de los avances de mejora genética, tanto nacional como internacional, permitiendo a las empresas del sector diseñar un calendario de producción acorde a las necesidades comerciales (IFAPA, 2025).

1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA

1.2.1. Producción de la fresa

La fresa es uno de los cultivos hortofrutícolas más importantes en España, destacando especialmente en la provincia de Huelva, Andalucía. Según datos del Ministerio de

Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), España es el primer productor de la Unión Europea de frutas y hortalizas con más del 25% de la producción europea y el séptimo lugar a nivel mundial.

Más del 96% de la fresa española se produce en Andalucía y casi la totalidad de la producción de la fresa andaluza se localiza en Huelva. En 2023/2024, Andalucía produjo 325.937 toneladas de fresa (**Tabla 2**), lo que equivale al 92 % de la producción nacional y 26% de la producción total de la Unión Europea (UE) (MAPA, 2024).

Tabla 2. *Evolución de la superficie y producción de las fresas de Andalucía.*

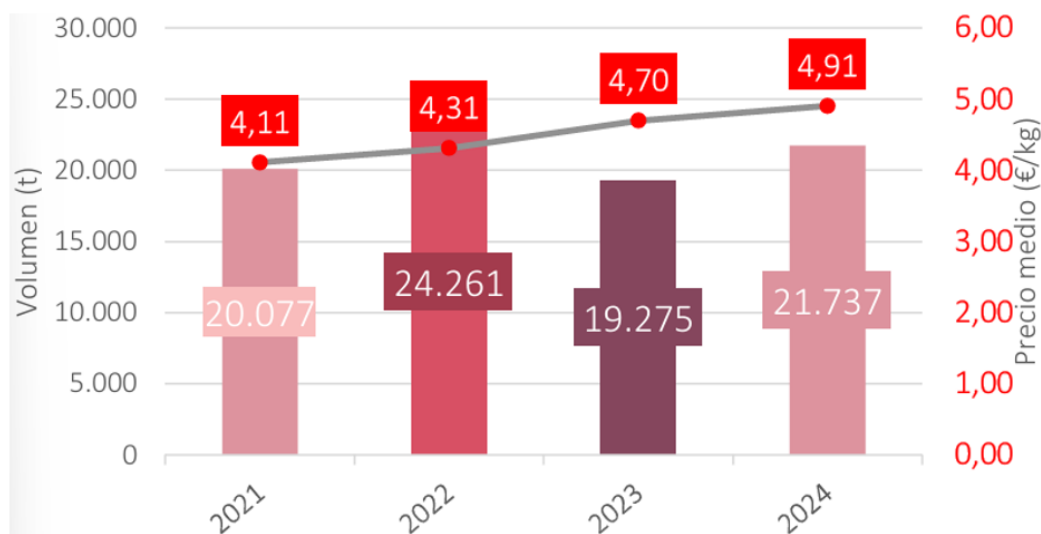
Superficie (ha)					Variaciones 2023/2024	
Cultivo	2021/2022	2022/2023	2023/2024	Media 5	vs 2022/2023	vs Media 5
Fresa/Fresón	7380	7218	7284	7251	0,9%	-0,1%
Frambuesa	2249	1841		2479		
Arándano	4138	4278		3755		
FRUTOS ROJOS	13767	13337	13237	13484		
Producción (t)				Variación 2023/2024		
Cultivo	2022/2023	2023/2024	Media 5	vs 2022/2023	vs Media 5	
Fresa/Fresón	316386	325937	317391	3,0%	2,7%	
Frambuesa	31955	33359	50444	4,4%	-33,9%	

Fuente: *Elaboración propia a partir de los Avances de Superficies y producciones de cultivos, publicados por la Junta de Andalucía y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 2023-2024.*

La campaña 2023/2024 muestra un ligero incremento en superficie y producción de fresas, alcanzando 325.937 toneladas distribuidas en 7.284 hectáreas cultivadas, manteniéndose estable en los últimos años.

En cuanto al consumo, los hogares españoles han mantenido una alta demanda de fresa, con un aumento en los precios medios, lo que refleja una creciente valoración del producto (**Gráfica 2**).

Gráfica 2. Evolución del consumo de fresa en hogares de España.



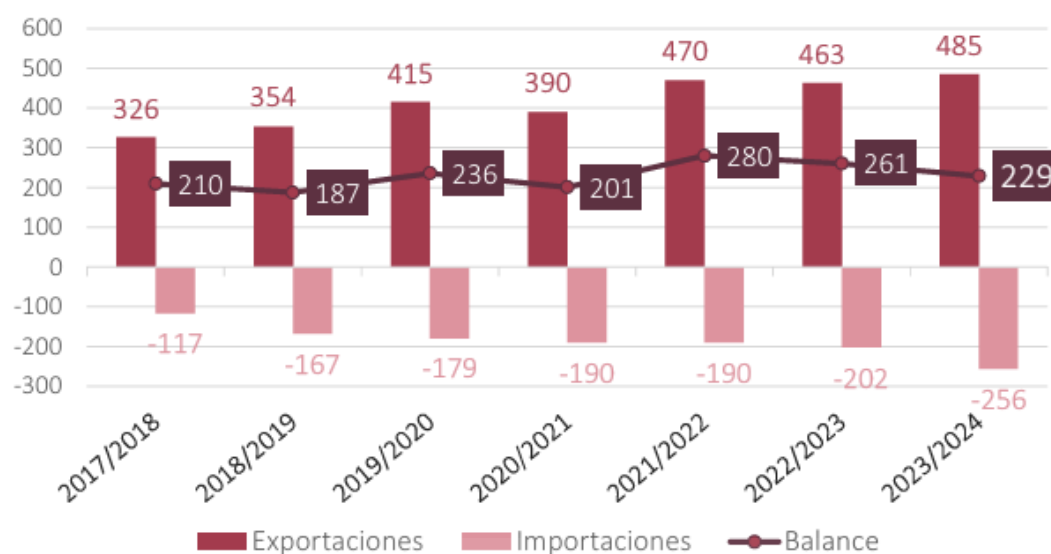
Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2024).

En 2024, el consumo alcanzó 21.737 toneladas, con un precio de 4,91 €/kg, marcando la cifra más alta en los últimos cuatro años.

1.2.2. Exportación e importación

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), España es el segundo mayor exportador de frutas y hortalizas de la Unión Europea (UE) y el cuarto a nivel mundial en valor tras China, EE. UU. y Países Bajos. En cuanto a los frutos rojos, España lidera como el principal proveedor del mercado comunitario, incluidas las fresas, con una balanza comercial positiva de 229 millones de euros desde octubre del 2023 hasta febrero del 2024 (**Gráfica 3**).

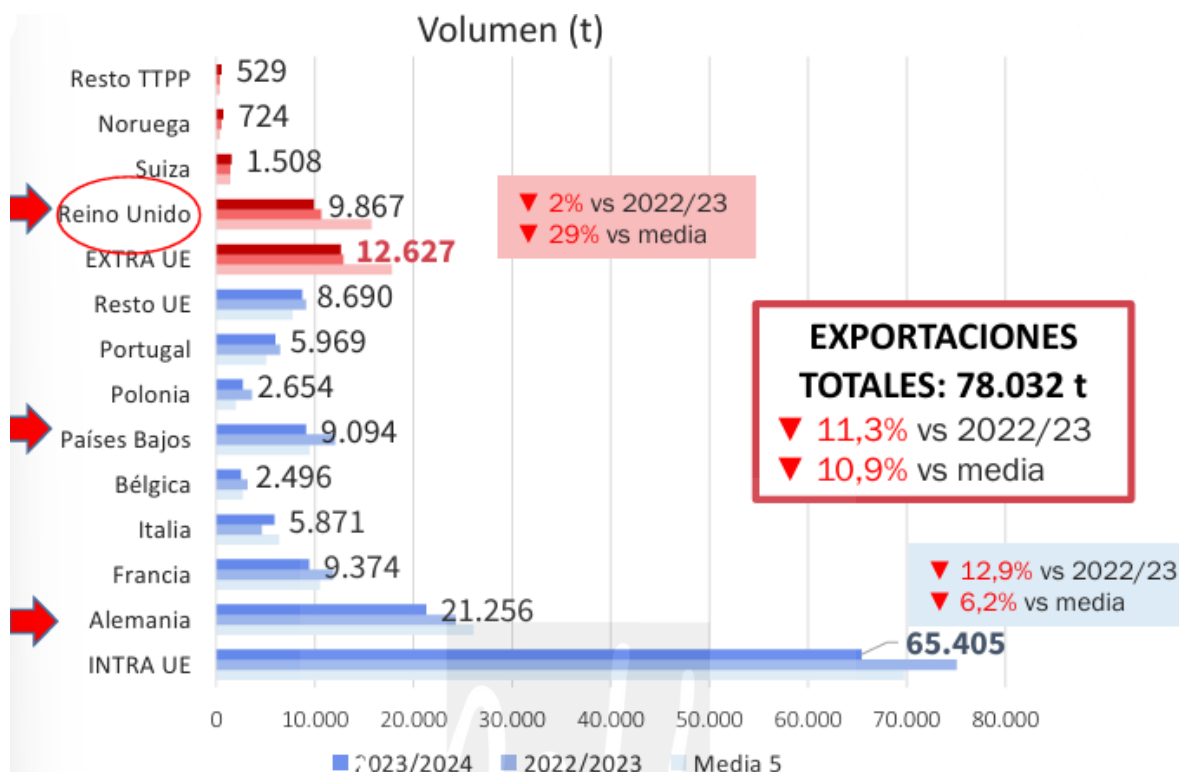
Gráfica 3. Evolución de la balanza comercial de frutos rojos en España (millones €).



Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2024).

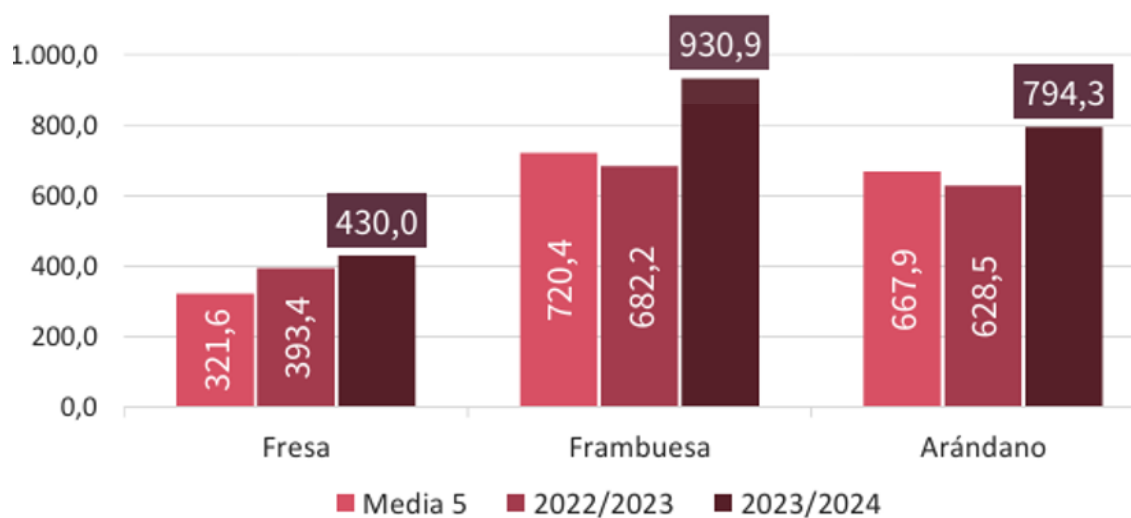
El destino principal de las exportaciones españolas es el mercado comunitario, con un 84% del volumen total exportado, seguido del Reino Unido. Sin embargo, en los últimos años se registran descensos en la cantidad exportada hacia los mercados comunitarios (Alemania, Francia y Países Bajos) y Reino Unido (**Gráfica 4**). A pesar de este descenso en volumen el valor unitario de exportación (€/100 kg) ha mostrado una tendencia positiva, evidenciando una revalorización del producto. En el caso de la fresa, el precio medio de exportación en 2023/2024 fue de 393,4 €/100 kg, superior tanto a la media de los últimos cinco años, como al valor de la campaña anterior (**Gráfica 5**).

Gráfica 4. Destinos de exportación de frutos rojos desde España. Comparativo volumen (t) por campaña



Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2024).

Gráfica 5. Valores unitarios de exportación de frutos rojos (€/100 kg) en las campañas 2022/2023, 2023/2024 y media 5 años.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), 2024.

Durante la campaña 2024/2025 España exportó 112.594 toneladas de fresas, manteniendo una balanza comercial positiva (**Tabla 3**). Por otro lado, el volumen importado por España alcanzó las 8.026 toneladas, lo cual representa un descenso del 3,2 % respecto al año anterior. Marruecos es el principal proveedor externo en volumen a España.

Tabla 3. *Exportaciones e importaciones de frutos rojos en España y Unión Europea. Campaña 2024/2025.*

Volumen (t)	Exportaciones ESP			Importaciones ESP			Importaciones UE 27		
	Campaña 2024/25	Vs 2023/24	Vs Media 5	Campaña 2024/25	Vs 2023/24	Vs Media 5	Campaña 2024/25	Vs 2023/24	Vs Media 5
Fresa	112.594	▼ 7,8%	▼ 12,6%	8.026	▼ 3,2%	▼ 18,1%	15.006	▲ 2,5%	▼ 19,1%
Frambuesa	33.484	▲ 9,8%	▼ 8,8%	33.427	▲ 27,3%	▲ 30,9%	31.298	▲ 18,1%	▲ 10,6%
Arándano	25.267	▲ 28,6%	▲ 59,9%	27.677	▲ 44,2%	▲ 67,8%	137.962	▲ 41,2%	▲ 43,0%
Total F. Rojos	171.345	▼ 0,6%	▼ 5,5%	69.131	▲ 28,6%	▲ 33,4%	184.265	▲ 32,7%	▲ 28,6%
Total Valor (M€)	999,6	▲ 13,8%	▲ 27,1%	451,4	▲ 32,9%	▲ 60,5%	1.145,1	▲ 25,0%	▲ 44,8%
Notas	Las exportaciones INTRA UE representan el 84% del total en la presente campaña (82% de media). Retroceden los envíos a Alemania (-13,8% vs media), Francia (-7,6%) y R.Unido (-21,5%), pero aumentan a P.Bajos (+12%), cuarto mercado en volumen.			Marruecos , principal proveedor con una cuota media del 80%, incrementa sus envíos de frutos rojos (+22,5% vs media), especialmente en frambuesa (+23%) y arándano (+56%).			Marruecos y Perú son los principales proveedores en volumen con una cuota media del 12% y 10%, respectivamente. Marruecos incrementa sus envíos de frambuesa (+14,2% vs media) y arándano (+71,5%), al igual que Perú en este último caso (+65%).		

Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), 2024.

1.3. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA

Según estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), las pérdidas cuantitativas mundiales de frutas y hortalizas alcanzan alrededor del 40-50% anualmente, y el 30% de estas pérdidas se producen después de la cosecha. Estas pérdidas ponen en manifiesto la necesidad de mejorar las técnicas de manipulación y almacenamiento poscosecha para reducir el desperdicio y mejorar la comerciabilidad de los productos frescos (Kumari et al., 2025). La pérdida y el desperdicio de alimentos generan un impacto ambiental considerable, ya que implica el uso innecesario de recursos naturales destinados a la producción de alimentos que finalmente no serán consumidos. La magnitud del impacto aumenta con el grado de procesamiento del producto (FAO, 2015).

Durante la poscosecha las frutas se someten a un fuerte estrés, lo que desencadena procesos de senescencia, por lo que se requiere reducir y retardar todos los factores internos que aceleran el deterioro, tales como la respiración, la transpiración y la producción de etileno (PNUD, 2021) Además, se deben minimizar los efectos de factores externos; como la temperatura, la humedad relativa y la composición de la atmósfera que rodea a las frutas. La fruta cosechada está constantemente expuesta a la pérdida de agua debido a la transpiración y otros fenómenos fisiológicos. A continuación, se definen algunas problemáticas poscosecha que enfrentan las fresas:

- Pérdida de peso: la fresa es muy susceptible a la pérdida de peso debido a su piel delgada y elevada tasa respiratoria. Una pérdida mayor o igual al 4% afecta negativamente la calidad del fruto (*Becerra, 2013, FAO, 1993*).
- Patologías poscosecha: los daños físicos en la superficie del fruto provocan ruptura de los tejidos, lo cual facilita la invasión por microorganismos e incrementa la pérdida de agua del producto. En comparación con otros frutos, la fresa es más susceptible a las infecciones patógenas, las cuales pueden producir compuestos tóxicos que alteran el olor y sabor de la fruta, volviéndola no apta para el consumo humano (*Becerra et al., 2013; Cano, 2013*).
- Desórdenes fisiológicos: como consecuencia de factores abióticos (no patógenos), como temperaturas extremas, atmósferas inadecuadas o desequilibrios nutricionales, se genera una serie de alteraciones en la fisiología de la fruta, afectando negativamente su calidad (*FAO, 1993*).
- Daño mecánico: la fresa posee una epidermis muy fina, lo que la hace particularmente vulnerable al daño mecánico. La calidad final del fruto depende en gran medida del cuidado con el que se maneje a lo largo de las etapas poscosecha, desde la recolección hasta la distribución (*Becerra, et al., 2013*).

1.4. SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA CITRÍCOLA

En los últimos años la apuesta por la sostenibilidad de los alimentos, así como la minimización de los residuos se ha vuelto cada vez más importante en la industria alimentaria y la agricultura. Los cítricos como la naranja, pomelo, limón, mandarina, entre otros, generan cantidades significativas de residuos durante su procesado, especialmente en la industria del zumo. Estos residuos no solo generan pérdidas económicas, sino que también tienen un impacto inevitable en el medio ambiente. Aproximadamente se generan 25 millones de toneladas de residuos cítricos anuales, los cuales representan entre un 20 y 80% del peso del fruto, la mayor parte corresponde a la cáscara, la pulpa y las semillas (*Kandemir et al., 2022*).

El residuo más abundante es las pieles o cáscaras de los frutos, que son ricas en compuestos bioactivos, como flavonoides, aceites esenciales, pectinas y fibra. Estos compuestos presentan múltiples aplicaciones como antioxidantes naturales, aromas,

fibras funcionales o materias primas para la obtención de bioproductos industriales (Kumar et al., 2025).

Varios estudios han identificado cantidades significativas de compuestos bioactivos presentes en los desechos de frutas, incluyendo cáscaras, semillas, orujos, etc (Cock y León, 2014; Ibarra-Cantún et al., 2022; Leo et al., 2019). Este hecho ha despertado el interés de la industria alimentaria en su aprovechamiento. En particular, los compuestos fenólicos han demostrado un alto potencial para obtener subproductos con valor añadido a partir de residuos agroindustriales.

La importancia de los compuestos bioactivos se debe a su actividad antioxidante para eliminar radicales libres. Además, presentan propiedades terapéuticas y funcionales de amplio interés, como efectos antialérgicos, antiinflamatorios, antitrombóticos, cardioprotectores, vasodilatadores, anticancerígenos, antimicrobianos y antifúngicos (Kumar et al., 2025; Patidar et al., 2025). Gracias a sus propiedades, los subproductos de los cítricos no solo aportan beneficios a la salud humana, sino que también representan una oportunidad estratégica para el desarrollo de productos innovadores y sostenibles en la industria agroalimentaria.

1.5. ECONOMÍA CIRCULAR Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

La Unión Europea contempla a la economía circular como una oportunidad para modernizar, transformar y mejorar la competitividad europea de manera sostenible. Este modelo busca maximizar la utilidad y el valor de los productos, componentes y materias primas utilizadas en cada proceso, evitando el desperdicio y promoviendo el aprovechamiento eficiente de los recursos (Matiacevich et al., 2022).

En el ámbito agroindustrial, este enfoque se centra en la gestión y aprovechamiento de los residuos generados durante las distintas etapas del proceso. Los residuos agroindustriales se generan en las diferentes etapas de los procesos productivos, desde los relacionados con el cultivo hasta la obtención de la materia prima o el procesamiento de esta (Matiacevich et al., 2022; Romero-Saez, 2022).

Se estima que se producen 119,7 millones de toneladas de residuos de cítricos en todo el mundo. El principal subproducto en el procesamiento del zumo de cítricos es la cáscara, la cual es rica en compuestos bioactivos como flavonoides (hesperidina, la naranjina y

rutina), pectinas, aceites esenciales y fibra dietética. Estos compuestos son extraídos y utilizados para su aplicación en sectores como la alimentación funcional, la cosmética, la farmacéutica o los envases biodegradables (*Kandemir et al., 2022; Kumar et al., 2025*).

Entre otros beneficios la fibra dietética extraída de las cáscaras contiene cantidades significativas de celulosa, útiles como ingrediente en el desarrollo de carnes y productos cárnicos más saludables (*Velasquez-Rivera y Díaz-Torres, 2024*). Estos residuos han pasado de ser un desecho sin valor a convertirse en recurso con alto valor económico dentro de la cadena de suministro.

En un estudio realizado por *Kumar et al., (2025)*, se describen diversos productos con valor agregado obtenido a partir de cáscara de cítricos, entre los cuales destacan: nanopartículas metálicas (MNPs), puntos de carbono (CD), bioabsorbentes, biodiésel, aceites esenciales, películas/ recubrimientos comestibles y aplicaciones de enriquecimientos en alimentos.

El enfoque del uso de extractos cítricos se encuentra alineado con los objetivos del Pacto Verde Europeo. El conjunto de aplicaciones de los residuos cítricos demuestra que la economía circular permite reducir el impacto ambiental del sector, diversificar productos y aumentar la competitividad a través de la innovación sostenible (*Kumar et al., 2025*).

2. OBJETIVOS

El propósito de este estudio ha sido evaluar el uso de extractos obtenidos a partir de subproductos cítricos (extracto de naranja a partir zumo de naranja concentrado 1:10 y 1:5 y polvo de naranja obtenido de las cáscaras principalmente a concentraciones de 0,5 y 1 g L⁻¹) como tratamiento poscosecha sostenible, para prolongar la vida útil de las fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.). Las fresas son altamente perecederas y presentan grandes retos en su conservación. Para ello, se plantean los siguientes objetivos parciales:

- Evaluar el impacto de los tratamientos con extractos cítricos sobre la preservación de la calidad de las fresas durante el almacenamiento, analizando parámetros como la textura, el peso, el color y la apariencia visual.
- Evaluar el potencial de los extractos cítricos de naranja como una solución natural para mejorar la sostenibilidad del tratamiento poscosecha, promoviendo alternativas ecológicas como alternativa al uso de productos de origen artificial en la conservación frutas.

- Analizar la influencia de los extractos críticos como tratamiento sobre la estabilidad de compuestos bioactivos presentes en la fresa, con el fin de comprender mejor los mecanismos antioxidantes que podrían contribuir a retardar la senescencia y el deterioro de las frutas.

En conjunto, se pretende presentar los extractos cítricos como una alternativa ecológica y eficaz para la conservación de fresas, favoreciendo el aprovechamiento de residuos agroindustriales y promoviendo el uso de compuestos de origen natural para reducir las pérdidas poscosecha.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material vegetal

El material vegetal utilizado en este estudio fue la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) del cultivar ‘Red Sayra’. Para este estudio, las fresas fueron recolectadas manualmente en una finca comercial de Huelva. Los frutos fueron rápidamente transportados el mismo día de la recolección 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 seleccionaron las fresas basándose en una serie de características y parámetros específicos, asegurando la uniformidad en términos de tamaño, color y ausencia de defectos visibles. Posteriormente, se dividió los frutos en diferentes lotes homogéneos antes de la aplicación de los distintos tratamientos.



Fotografía 1. Fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de la variedad Red Sayra de Huelva.

3.2. Diseño experimental

Para el estudio presentado en este trabajo de fin de grado, se seleccionaron un total de 702 fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.). Las muestras fueron organizadas en 5 lotes, correspondientes a cinco tratamientos diferentes. A su vez cada lote se subdividió en tres réplicas compuestas por nueve fresas cada una, es decir, un total de 27 fresas por lote y por día de muestreo. Adicionalmente, se realizó un lote de 27 fresas destinado a analizar las condiciones de la fresa en el día 0.

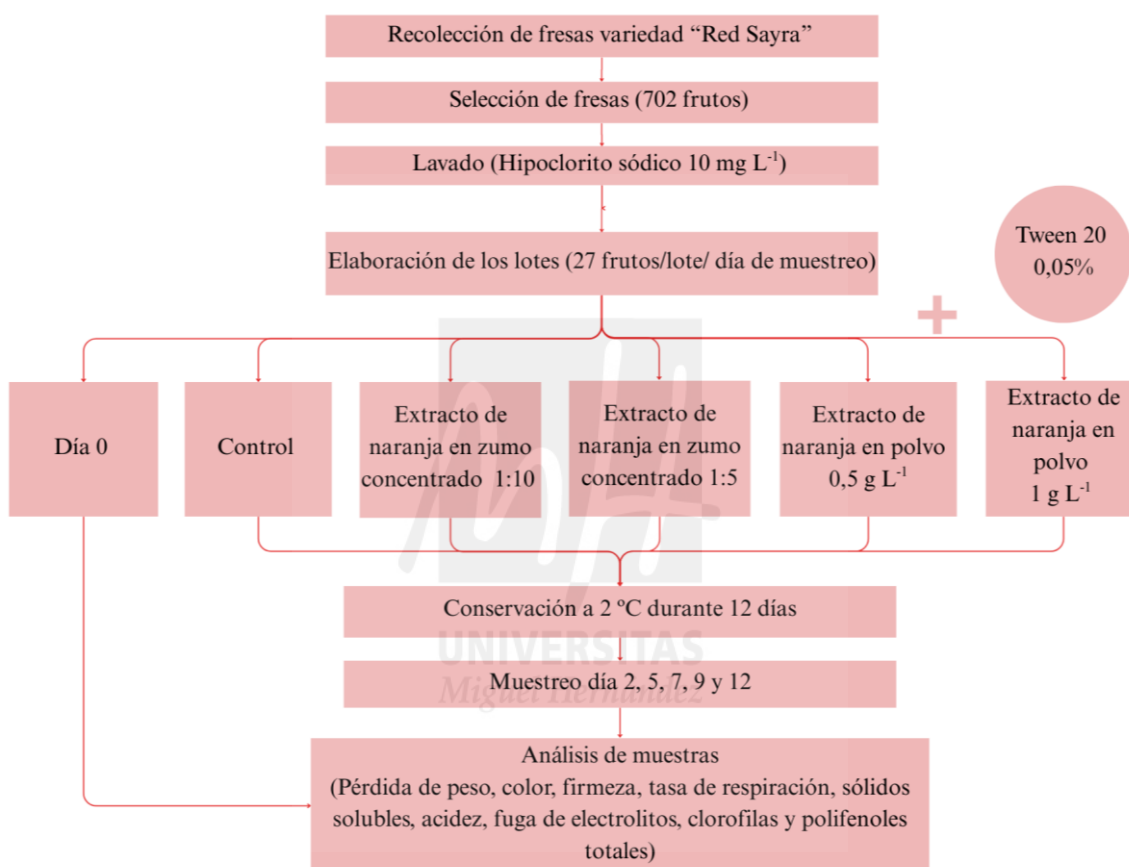
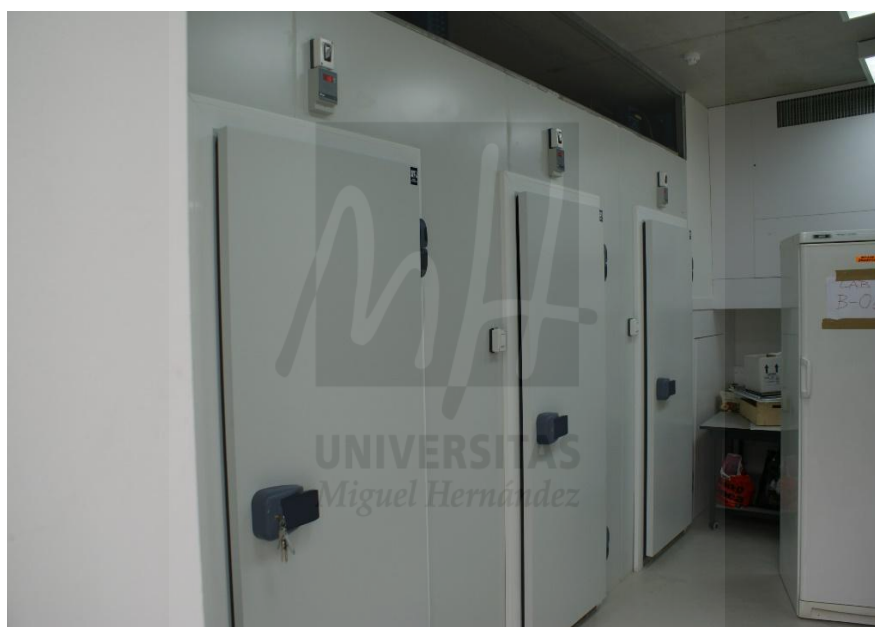


Diagrama 1. Diseño experimental en las fresas de la variedad Red Sayra.

Una vez organizados los grupos con sus respectivos lotes, se procedió a una higienización previa mediante una inmersión con hipoclorito sódico de 10 mg L⁻¹ durante 3 minutos. Tras esta higienización, los lotes se sumergieron en sus respectivos tratamientos. La concentración de cada uno de los tratamientos se seleccionó en base a evaluaciones previas realizadas por el grupo. Los tratamientos consistieron por un lado en inmersiones en soluciones diluidas de extractos de naranja obtenidos con la pulpa y piel resultantes como residuo agroindustrial tras la obtención de zumo comercial por la empresa FRUSA,

S.A., situada en Albal (Valencia). Del extracto vegetal resultante se realizaron diluciones (1:5 y 1:10) que constituyeron los tratamientos. Por otro lado, se aplicaron extractos de naranja en polvo obtenido de la extracción de residuos agroindustriales de naranja (principalmente piel y restos de pulpa) que se aplicaron en las fresas mediante inmersiones en soluciones de 0,5 y 1 g L⁻¹ de polvo de naranja. Estos extractos en polvo fueron obtenidos en la empresa Marenostrumtech S.L. localizada en Bigastro (Alicante). Todos los tratamientos acuosos así como el tratamiento control, contenían Tween 20 al 0,05% como agente humectante y dispersante. Después de la aplicación de los tratamientos se dejaron secar las fresas durante 30 minutos, finalmente se almacenaron a 2 °C hasta la realización de las distintas determinaciones, que se llevaron a cabo tras 2, 5, 7, 9 y 12 días de almacenamiento.



Fotografía 2: Cámaras frigoríficas utilizadas para la conservación de los frutos.

3.3. Determinaciones analíticas

3.3.1. Pérdida de peso

Para evaluar la pérdida de peso durante el almacenamiento, se pesaron todas las réplicas de cada tratamiento al inicio del experimento (día 0) y nuevamente cada día de muestreo obteniendo un valor por cada réplica de cada tratamiento. La determinación del peso se realizó en una balanza de precisión Radwag WTC 2000 ($\pm 0,01$ g), y los resultados se expresaron como la media $\pm$ error estándar (ES) del porcentaje de pérdida de peso en cada día de muestreo.



Fotografía 3: Balanza utilizadas para determinar el peso de los frutos.

3.3.2. Determinación de CO₂

En el proceso respiratorio, los tejidos vegetales consumen O₂ y liberan CO₂, lo que influye directamente en el metabolismo del fruto y en su evolución poscosecha. La tasa de respiración se mide a través de la producción de CO₂, mientras que la producción de etileno se evalúa como indicador del estado de maduración y senescencia.

Para la determinación de estos parámetros, se utilizó el sistema estático propuesto por Kader (1992). Para medir el CO₂ en este sistema estático se metieron las réplicas de 9 fresas en diferentes tarros 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 60 minutos. Sucedió ese tiempo, se procedió a extraer el aire del espacio de cabeza del interior del recipiente. Se extrajeron tres jeringuillas con un volumen de 1 mL cada una, de cada uno de los recipientes (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.



Fotografía 4: Sistema estático propuesto por Kader



Fotografía 5: Cromatógrafo de gases.

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. Determinación de la firmeza.

Para la determinación de la firmeza de la fresa, se utilizó un Texturómetro TA-XT2i® (Aname Instruments) conectado a un ordenador, que procesa los datos recibidos por el aparato. La evaluación se realizó mediante la prueba Magness-Taylor, utilizando una sonda cilíndrica de 0,5 cm 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).



Fotografía 6: Texturómetro utilizado para medir la firmeza de las fresas.

3.3.4. 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 nueve 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 dos cilindros de 0,3 mm de diámetro utilizando un perforador metálico, resultando en 18 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:

$$\text{Fuga de electrolitos} = (\text{Conductividad inicial} / \text{Conductividad final}) \times 100$$

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



Fotografía 7: Conductímetro Crison (Metrohm 664), utilizado para medir la conductividad.

3.3.5. Evaluación del color

Para la determinación del color se empleó el sistema CIE Lab (L^* , a^* , b^*) mediante un colorímetro triestímulo Konica Minolta modelo CR200. Se efectuaron tres medidas del color para cada fruto en tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial (n=3).



Fotografía 8: Colorímetro utilizado para medir el color de las fresas.

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:

- CIE L^* : Indica la luminosidad del fruto y varía de 0 (negro) a 100 (blanco).
- CIE a^* y CIE 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 CIE L^* , CIE $Croma^*$ (C^*) y CIE Hue^* que es el que se presenta en este TFG.

$$Chroma^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$Hue^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

3.3.6. Evaluación de los sólidos solubles totales (SST)

Para la determinación del contenido total de sólidos solubles (SST), utilizamos la refractometría sobre el zumo filtrado extraído de cada réplica 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. 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 9: Refractómetro utilizado para medir los °Brix (SST).

3.3.7. 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, complementado con un cambiador de 50 posiciones. 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).

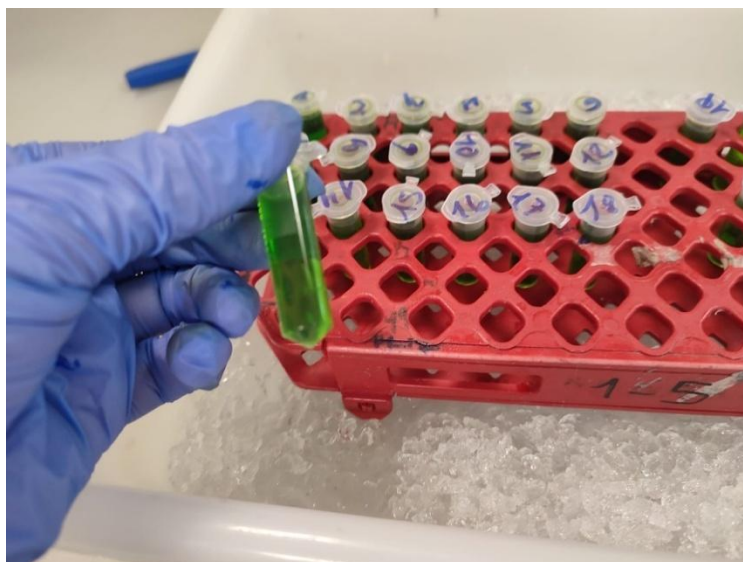


Fotografía 10: Valorador automático Methrom, utilizado para determinar la acidez.

3.3.8. Contenido en 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 nueve cálices por réplica. 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 fresca y se presentaron como la media $\pm$ ES de tres determinaciones realizadas en duplicado ($n=3$) por cada lote y día de muestreo.



Fotografía 11: Extractos de clorofilas para el análisis espectrofotométrico.



Fotografía 12: Espectrofotómetro (1900 UV/Vis, Shimadzu, Kyoto, Japón), utilizado para medir la absorbancia a distintas longitudes de onda (665,2 nm y 652,4 nm).

3.3.9. Contenido en 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 (10 mL de Folin-Ciocalteu y 90 mL de agua ultrapura), junto con 200 μ L de la extracción. Se completó el volumen a 500 μ L con el agente de extracción, se agitó y, después de 2 minutos de reposo, se añadió 2 mL de Na_2CO_3 , 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).



Fotografía 13. Espectrofotómetro Uvikon XS (Bio-Tek Instruments), utilizado para medir la absorbancia a 760 nm.

3.3.10. Diagrama de flujo de los equipos utilizados

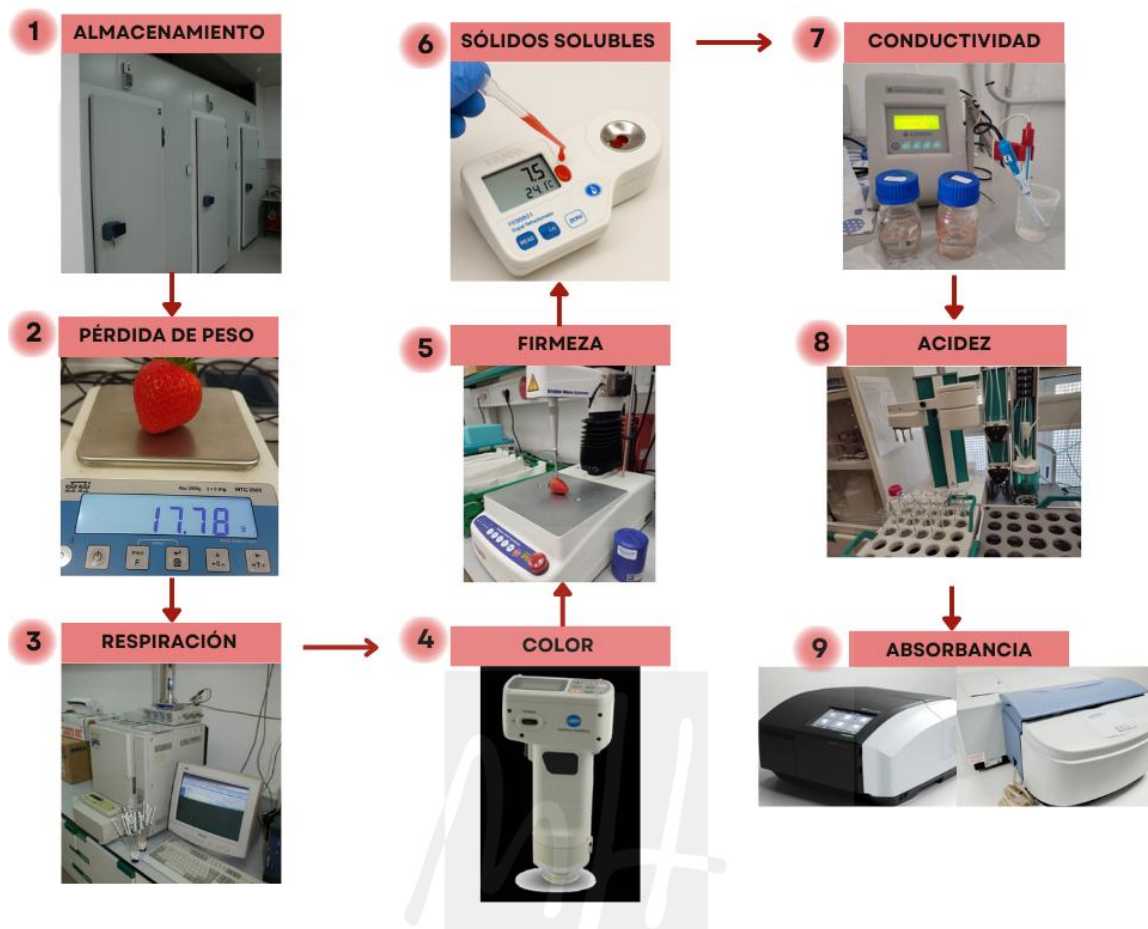


Diagrama 2: Diagrama de flujo de los equipos utilizados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de los tratamientos sobre las pérdidas de peso

La pérdida de peso y el ablandamiento del fruto son factores determinantes en la calidad poscosecha de la fresa, y están relacionados de forma directa la textura, apariencia visual, aceptación del consumidor y, en consecuencia, su vida útil durante el proceso de comercialización (Ilea et al., 2025).

En el presente estudio, se observó que la pérdida de peso aumentó de forma progresiva durante el tiempo de almacenamiento, siendo este un comportamiento esperado debido a la transpiración natural a través de los tejidos vegetales. Los tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con las fresas control, logrando retrasar la deshidratación y reducir la tasa de pérdida de peso en comparación con los frutos no tratados (**Figura 1**).

Después de 12 días de conservación a 2 °C, los frutos control mostraron una pérdida de peso de $11,77 \pm 0,23$ %, valor superior con respecto a las fresas tratadas con extracto de naranja en zumo (NZ). Sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron al aplicar soluciones con polvo de naranja (NP) a 0,5 y 1 g L⁻¹, los cuales registraron pérdidas de $8,41 \pm 0,88$ y $10,18 \pm 0,49$ % respectivamente.

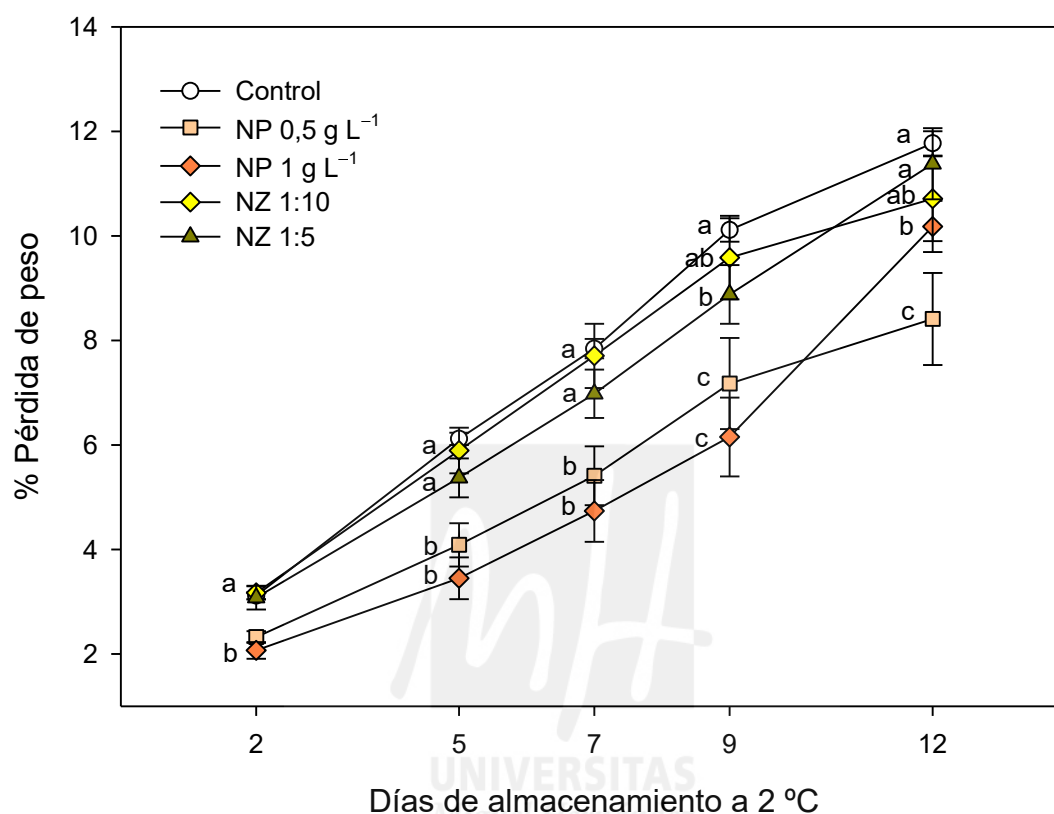


Figura 1. Evolución de la pérdida de peso (%) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

En general las pérdidas de peso se ven afectadas por la transpiración y los procesos metabólicos, incluida la respiración (Ilea et al., 2025), provocando cambios visibles en el producto.

Los resultados sugieren que los tratamientos poscosecha con extractos derivados de subproductos cítricos, juegan un papel importante en la reducción de las pérdidas de peso de las fresas durante el almacenamiento. Estos resultados son consistentes con estudios previos que han evaluado el uso de un recubrimiento orgánico a base de plantas con

extracto de cáscara de cítricos, el cual actúa como barrera efectiva contra la humedad, evitando la evaporación de agua y en consecuencia la pérdida de peso (*Patidar et al., 2025*). En este contexto *Yusof et al., 2022* también concluyeron efectos positivos del uso de extractos cítricos con limas ‘Kaffir’, evidenciando un aumento de la productividad de las plantas y reducción la gravedad de las plagas cuando se aplica en precosecha.

Adicionalmente, diversos estudios han demostrado que la reducción de las pérdidas de peso con tecnologías basadas en compuestos bioactivos está asociada con la regulación de la actividad enzimática ligada a la senescencia, un aumento de la actividad antioxidante y mejora en la resistencia de los frutos. Así lo evidencian los experimentos de *Shu et al., (2020)* y *Su et al., (2019)* quienes estudiaron el efecto de estos compuestos en manzana y litchi, respectivamente, confirmando una mejor estabilidad estructural del tejido vegetal, mayor integridad de las membranas lo que redujo la transpiración del fruto.

4.2. Evolución de la respiración

Las fresas tienen una vida útil comercial muy limitada, por su intensa actividad metabólica, especialmente cuando se almacenan a temperatura ambiente, por lo que un incremento de la respiración está negativamente relacionado con la conservación del producto, siendo este un factor clave en el proceso de pérdida de peso (*Medina-Santamarina et al., 2022*). Tras 12 días de almacenamiento a 2 °C, se observó un incremento general en la tasa de respiración en todos los tratamientos, lo que nos indica que existió un aumento en la actividad metabólica con el tiempo de conservación (**Figura 2**). No obstante, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los distintos tratamientos.

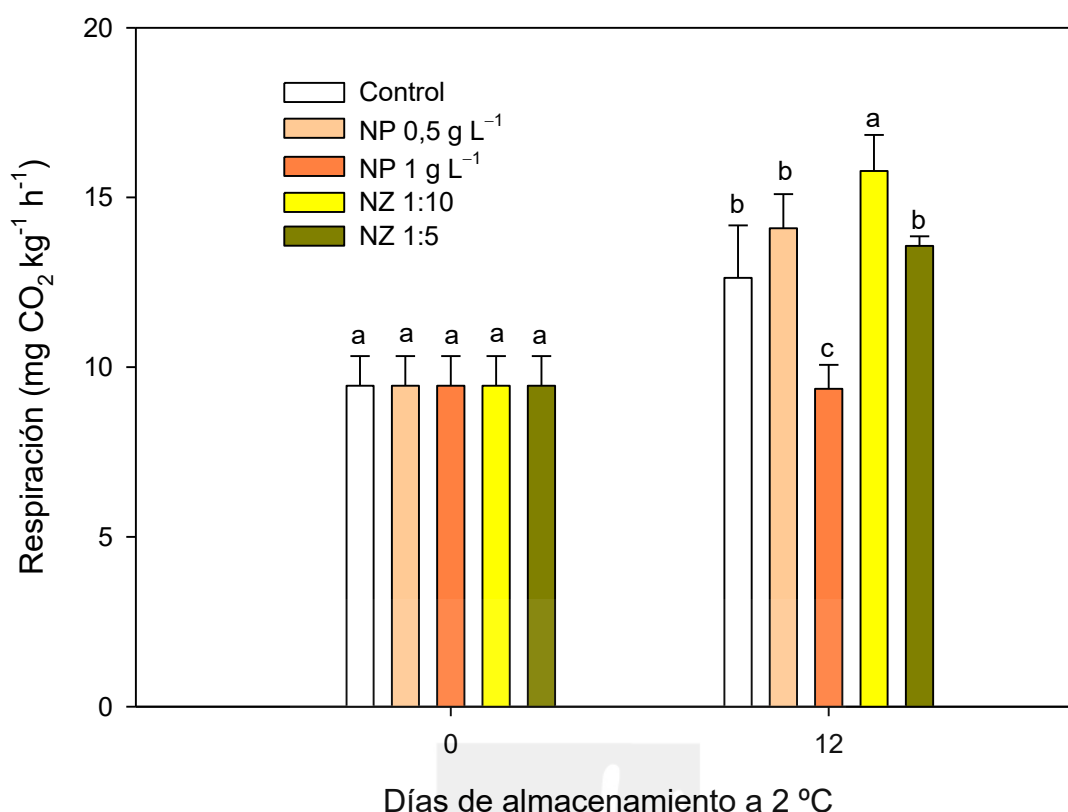


Figura 2. Evolución de la respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

El tratamiento con extractos a partir de extractos NP a 1 g L⁻¹ mostró una tasa de respiración más baja significativamente ($p < 0.05$) que el lote control y resto de los tratamientos. Este resultado sugiere que las soluciones obtenidas a partir de residuos agroindustriales cítricos en polvo a razón de 1 g L⁻¹ son más efectivas, logrando retrasar la actividad respiratoria de las fresas, contribuyendo a una mejor conservación poscosecha mientras que el resto de los tratamientos no mostró reducciones en este parámetro.

Estos estudios son consistentes con lo descrito por *Patidar et al.*, (2025), quienes comprobaron que los recubrimientos a base de extractos cítricos sobre litchi contribuyeron a una disminución en la tasa de respiración durante el almacenamiento en frío. De igual manera, se ha destacado que el potencial del extracto de frutos como las limas no sólo como agente protector pre y poscosecha, sino también como modulador de

la respiración y transpiración de frutos como el chile (*Capsicum spp.*). Así mismo, *Yasmin et al.*, (2025) estudiaron el impacto de diferentes extractos botánicos como hojas de cítricos sobre la conservación poscosecha del mango, encontrando que dichos tratamientos actúan como una barrera que reduce la tasa de respiración, así como la pérdida de humedad de la superficie de la fruta.

4.3. Efecto de los tratamientos aplicados sobre la firmeza

Uno de los principales factores asociados al deterioro poscosecha de los frutos, es la velocidad de ablandamiento, lo que limita significativamente su conservación. El ablandamiento es causado por alteraciones en la estructura de la pared celular, donde los polímeros que conforman su red primaria se degradan, provocando una pérdida de firmeza (*Martínez-González et al.*, 2017). Las pérdidas de firmeza además de determinar la apariencia y aceptación de la fresa por parte del consumidor afectan negativamente su conservación haciéndola más sensible a sufrir daños mecánicos, provocando roturas de tejidos y aumento en la incidencia de podredumbres (*Ilea et al.*, 2025). Como era de esperar, tras el almacenamiento a 2 °C se observó una disminución general de la firmeza en todos los grupos analizados (**Figura 3**), debido a la degradación progresiva de la pared celular durante la maduración natural del fruto.

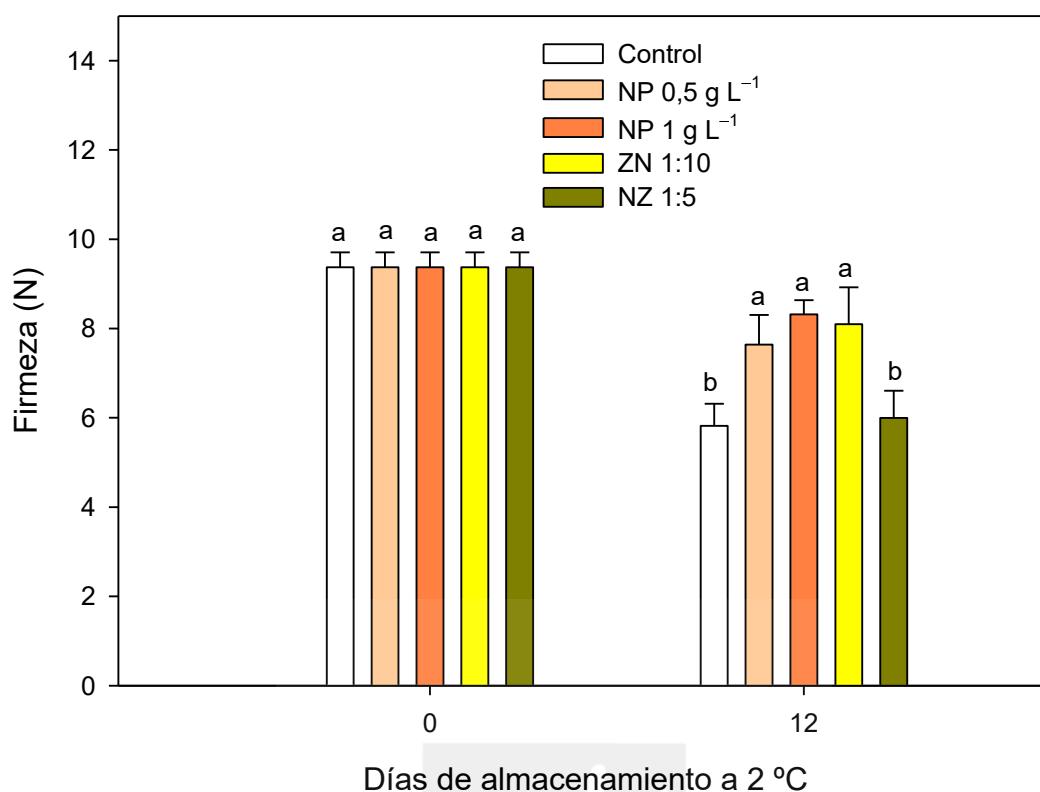


Figura 3. Evolución de la firmeza (N) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

No obstante, las fresas tratadas con extractos NP a concentraciones 0,5 y 1 g L⁻¹ y extractos a partir de extractos NZ (1:10), mantuvieron valores de firmeza significativamente ($p < 0.05$) superiores con respecto a los frutos control al final del almacenamiento. El extracto de naranja 1:5 presentó valores similares al control, sin diferencias significativas ($p > 0.05$), indicando una menor eficacia para el mantenimiento de la firmeza.

Los tratamientos con NP (0,5 y 1 g L⁻¹) y NZ diluido lograron retrasar el ablandamiento de las fresas. Este efecto podría deberse al contenido de compuestos fenólicos y antioxidantes presente en los subproductos críticos, los cuales han demostrado mantener la estabilidad de la pared celular y reducir daño oxidativo durante la senescencia (Shu *et al.*, 2020).

Estudios previos coinciden con estos resultados. Por ejemplo, *Patidar et al., (2025)*, observaron que los recubrimientos formulados con extractos de cáscara de cítricos ayudaron a preservar la firmeza del litchi durante su almacenamiento, atribuido también a la acción protectora sobre la pared celular. De igual forma el uso de extractos cítricos aplicados al mango y al chile durante la poscosecha contribuyeron a mantener la textura, gracias a la aplicación de una película superficial, la cual disminuye la actividad enzimática asociadas al ablandamiento (*Yasmin et al., 2025; Yusof et al., 2022*). En este sentido el uso de subproductos cítricos como tratamiento poscosecha representa una estrategia eficaz, natural y funcional para la preservar la firmeza de la fresa durante su almacenamiento en frío.

4.4. Evaluación de los tratamientos aplicados sobre la fuga de electrolitos

Durante el almacenamiento poscosecha de los frutos, se produce un deterioro progresivo de las membranas celulares, afectando la firmeza y transpiración de la fruta. Esto incrementa la permeabilidad de la membrana celular, provocando una fuga incontrolable de iones, esencial para mantener la estabilidad celular y osmótica, afectando negativamente la calidad poscosecha (*Ilea et al., 2025*).

En el presente estudio, tras 12 días de almacenamiento en frío, se detectó un aumento significativo ($p < 0.05$) en la fuga de electrolitos en todos los lotes evaluados, principalmente en las fresas control, que alcanzaron niveles más altos, evidenciando un mayor daño en la estructura celular, un proceso natural durante la maduración del fruto (**Figura 4**).

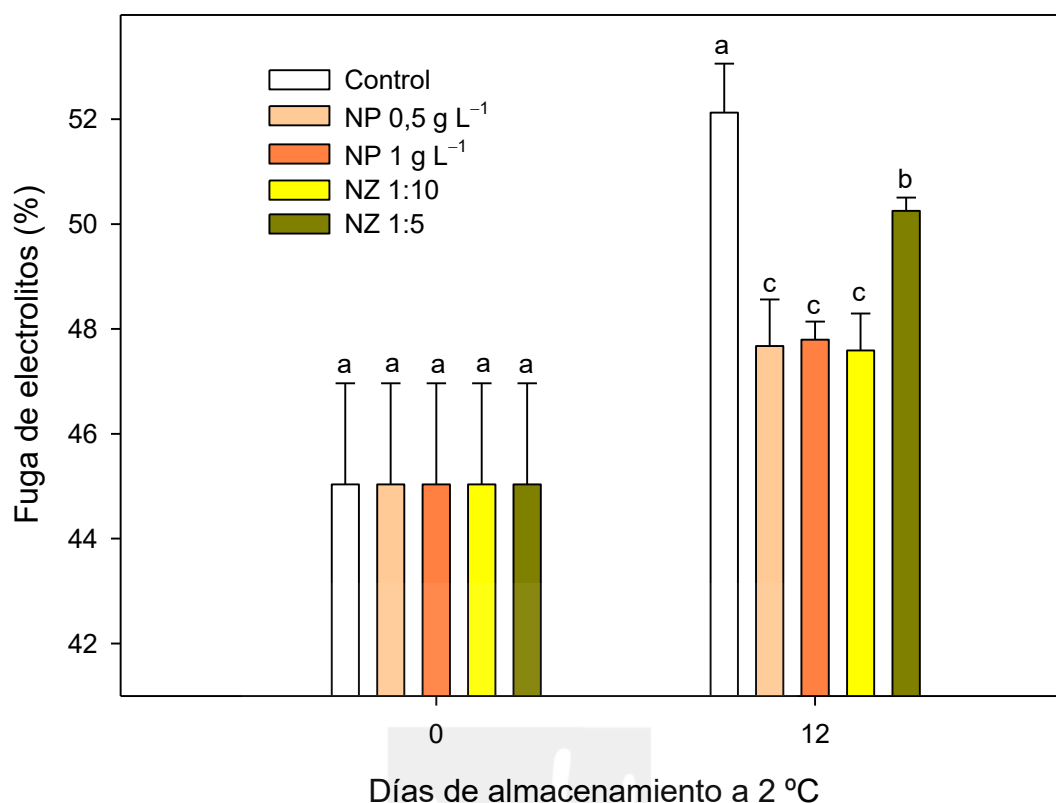


Figura 4. Evolución de la fuga de electrolitos (%) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

Sin embargo, las fresas tratadas con extractos de subproductos cítricos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a las fresas control. Los tratamientos a base de extractos NP, así como NZ mostraron los valores más bajos de fuga de electrolitos, lo que indica su eficacia en la conservación de la integridad celular. Por su parte, el tratamiento NZ (1:5) mostró valores significativamente inferiores al control, pero superiores al resto de tratamientos de este parámetro.

Estudios recientes coinciden con estos hallazgos, donde se ha utilizado compuestos naturales con capacidad antioxidante como tratamiento poscosecha. Por ejemplo, la aplicación de polifenoles en tomates redujo significativamente la fuga de electrolitos y el contenido de malondialdehído (MDA), indicando mejor estabilidad de la membrana celular y reducción del daño oxidativo (Ilea et al., 2024). Del mismo modo, Patidar et al., (2025) demostraron que los recubrimientos con extractos de cáscara de cítricos

disminuyen la permeabilidad celular en litchis durante el almacenamiento, mediante la reducción del metabolismo y un retraso en la descompartmentalización de la célula vegetal. Asimismo, el uso de extractos vegetales de origen cítrico retrasó la senescencia y protegió los tejidos vegetales, evitando la fuga incontrolada de electrolitos en otros frutos (*Yasmin et al., 2025*).

Los compuestos bioactivos presentes en residuos cítricos tienen propiedades antioxidantes que ayudan a prevenir el daño estructural que sufren las células vegetales durante la senescencia del fruto, lo que podría contribuir a reducir la fuga de electrolitos durante el almacenamiento en frío del fruto (*Kandemir et al., 2022; Kumar et al., 2025*).

4.5. Efectos de los tratamientos aplicados sobre el color

El color de las frutas es un parámetro muy importante que influye tanto en los estándares comerciales como en la preferencia del consumidor, por lo que su análisis y control para preservarlo es clave en su comercialización. Las fresas son de color rojo brillante debido a la presencia de pelargonidin-3-glucósido y cianidin-3-glucósido (antocianinas). En el caso de las fresas la evolución de estos parámetros de color se atribuye a la pérdida de humedad durante su almacenamiento, provocando una disminución de los valores CIE C^* , CIE L^* y CIE Hue^* , lo cual se relaciona con la degradación de compuestos fenólicos, especialmente antocianinas, que son abundantes en las fresas (*Ilea et al., 2025; Wigati et al., 2024*).

En el presente estudio se analizaron distintos parámetros de color, aunque sólo se presentan los que han sido modificados significativamente tras la aplicación de extractos de subproductos cítricos. A lo largo de los 12 días de conservación a 2 °C, los frutos presentaron un descenso progresivo en los tres parámetros de color analizados en todos los lotes de fresa analizados, indicando modificación del color del fruto a lo largo de su conservación (**Figura 5**).

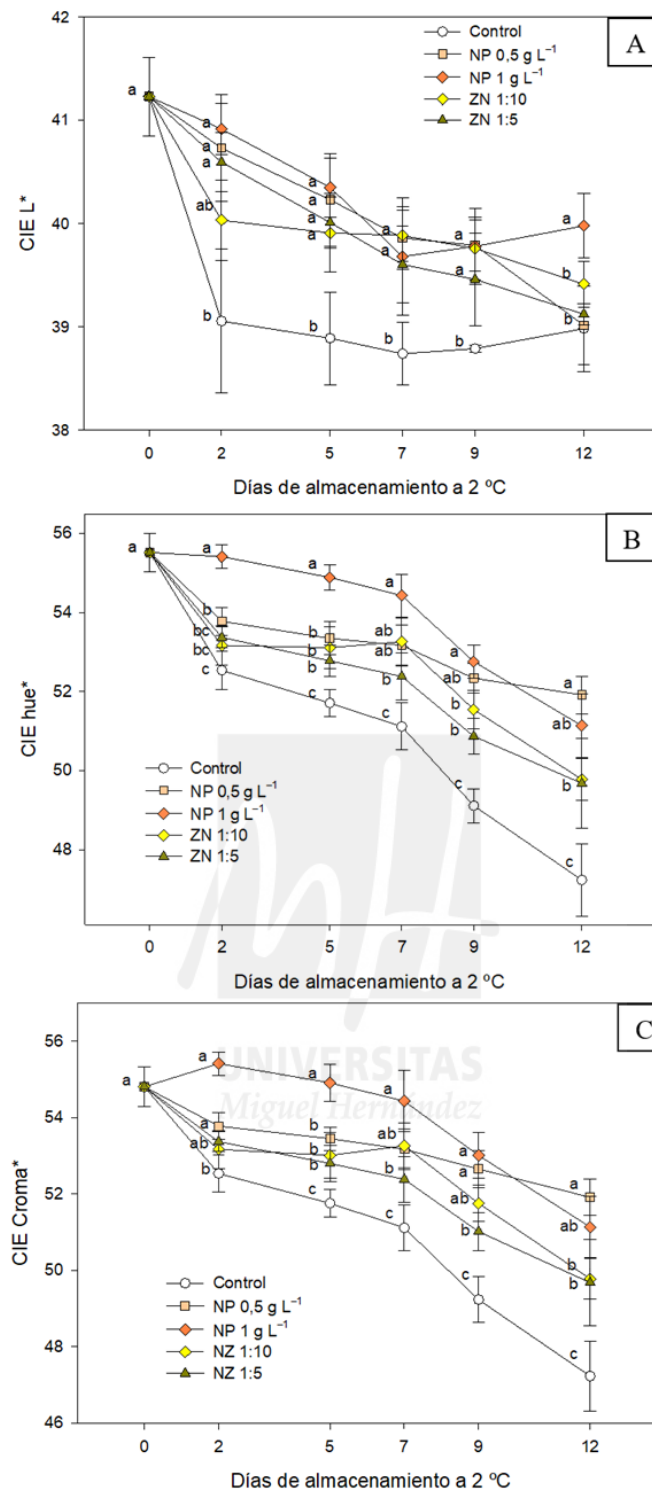


Figura 5. Evolución del color CIE L^* (A), CIE Hue* (B) y CIE Croma* (C) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

Los tratamientos aplicados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control. De hecho, con respecto a la luminosidad o CIE L^* todos los tratamientos de forma general retrasaron la pérdida de brillo en comparación con las fresas no tratadas, mostrando un efecto positivo frente a la pérdida de brillo del fruto. Si bien no se mostraron diferencias significativas entre los distintos extractos aplicados, los valores medios obtenidos con las soluciones de NP fueron ligeramente superiores en general al comienzo del almacenamiento (**Figura 5A**).

Respecto al valor CIE Hue^* , los tratamientos con extractos de subproductos cítricos retrasaron significativamente ($p < 0.05$) este parámetro, manteniendo el tono del fruto durante el almacenamiento, este parámetro puede asociarse con el deterioro de la fresa. Aunque todos los tratamientos fueron efectivos, particularmente las soluciones aplicadas a base de extractos en polvo fueron más efectivas en controlar este parámetro ya que mientras que los frutos control al final del almacenamiento redujeron el valor CIE Hue^* a $47,23 \pm 0,92$ las concentraciones de NP 0,5 y 1 g L⁻¹, mantuvieron valores superiores al final del estudio ($51,91 \pm 0,47$ y $51,13 \pm 0,80$ respectivamente) (**Figura 5B**).

En cuanto al parámetro CIE C^* , el cual nos indica la intensidad de color, se observó un patrón similar, los tratamientos mantuvieron mejor la saturación del color frente a las fresas no tratadas (control). Los tratamientos con extractos NP a 0,5 y 1 g L⁻¹, presentaron valores más elevados al final de su conservación similares a los obtenidos con extractos de NZ, que siempre mostraron valores superiores de este parámetro frente a los que presentaron los lotes control a lo largo del almacenamiento (**Figura 5C**).

Estos resultados coinciden con otros estudios que han reportado la eficacia de compuestos naturales en preservar el color de las fresas, mediante recubrimientos comestibles naturales, ricos en antioxidantes como los aplicados en este estudio, manteniendo el contenido de antocianinas, preservando su color y calidad, prolongando vida útil y manteniendo mayor actividad antioxidante durante su almacenamiento en frío (*Wigati et al., 2024*).

De manera general los tratamientos a base de extractos de subproductos cítricos provocaron una mayor estabilidad de los parámetros de color de las fresas durante su almacenamiento en frío, creando así un efecto protector que podría estar relacionado con la presencia compuestos fenólicos y antioxidantes en los extractos cítricos, los cuales actúan inhibiendo el crecimiento de microorganismos y enlenteciendo las reacciones

oxidativas y la degradación de antocianinas (Kumar *et al.*, 2025). Además, estos resultados coincidieron con lo observado por Patidar *et al.*, (2025), quienes observaron que un recubrimiento vegetal con extractos de cáscara de cítricos mantuvo los atributos de color en litchis durante su almacenamiento en frío. De igual manera, el mango tratado con extractos vegetales (como hoja de limón), ralentizó la maduración de la fruta, al mismo tiempo que preservó su color por su acción antioxidante (Yasmin *et al.*, 2025).

4.6. Efecto de los tratamientos aplicados sobre los sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST es un indicador importante del grado de madurez y calidad organoléptica, y representa la concentración de azúcares simples presentes en el fruto, siendo un atributo muy importante a tener en cuenta durante el tiempo de conservación de frutas y hortalizas. Durante el almacenamiento este parámetro se incrementa debido a la conversión de almidón en azúcares debido a procesos metabólicos y respiratorio (Beckles, 2011). En el presente estudio, tras 12 días de almacenamiento a 2 °C, las fresas mostraron un incremento en SST en todos los tratamientos durante el almacenamiento (Figura 6), este incremento es característico del proceso natural de maduración en las frutas, tal y como se ha comentado anteriormente.

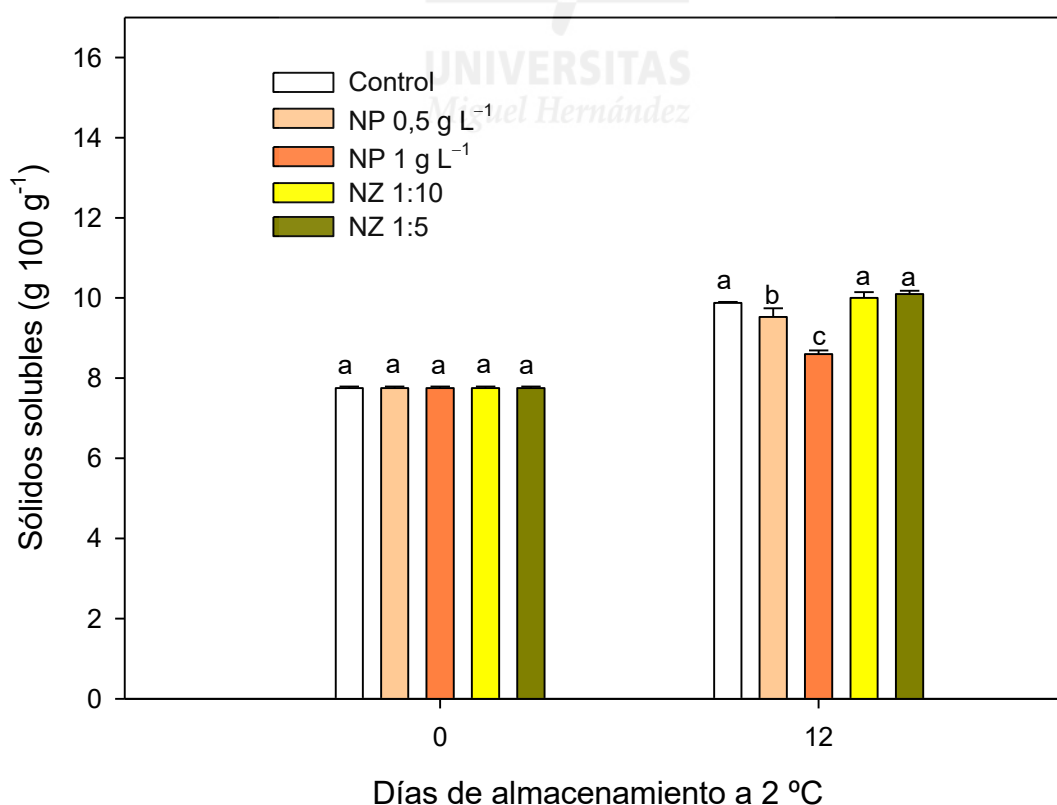


Figura 6. Evolución de los sólidos solubles totales ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

Sin embargo, el tratamiento con soluciones a base de extractos NP (0,5 y 1 g L^{-1}) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al resto de tratamientos. Estos tratamientos retrasaron la acumulación de SST con respecto a los frutos control mientras que el resto de los tratamientos no mostraron un retraso en la concentración de SST al final de almacenamiento. Este efecto puede deberse con un proceso de senescencia más lento, debido a una menor tasa de respiración, tal y como se mostró en los anteriores de resultados (**Figura 2**).

Estos estudios coinciden con los resultados de *Yasmin et al., (2025)*, quienes evaluaron el efecto de extractos vegetales en mango y observaron que ciertos extractos vegetales como el extracto de hoja de limonero, retrasaron la acumulación de SST y, al mismo tiempo retrasaron el proceso de maduración del fruto. De igual manera, la aplicación de un recubrimiento comestible con extracto de cáscara de cítrico en litchi, retrasó el proceso de maduración del fruto reduciendo el aumento de la concentración de SST durante su almacenamiento en frío (*Patidar et al., 2025*).

Por tanto, el uso de extractos de naranja obtenidos en polvo a 1 g L^{-1} tendría la capacidad para modular el metabolismo y frenar la acumulación de azúcares, lo que se traduce en un tratamiento eficaz para la conservación de las fresas preservando la calidad de las fresas y retrasando su senescencia.

Diversos estudios destacan el potencial bioactivo, rico en compuestos antioxidantes y antimicrobianos presentes en extractos naturales capaces de modular la actividad metabólica de las frutas, retrasando su senescencia y acumulación de azúcares (*Kandemir et al., 2022; Kumar et al., 2025; Lemos et al., 2023; Shu et al., 2020*).

4.7. Efectos de los tratamientos aplicados sobre el contenido de acidez

La acidez total, expresada en gramos de ácido cítrico por 100 g de peso en fresco, es uno de los parámetros más influyentes en la calidad organoléptica y en el estado de maduración del fruto, ya que influye directamente en el sabor al igual que los SST

(Beckles, 2011). Este parámetro está relacionado con la madurez, por lo que disminuye conforme el fruto avanza su estado de maduración. Durante el almacenamiento de 12 días a 2 °C, se observó una disminución progresiva de la acidez en todos los tratamientos aplicados a diferentes concentraciones (**Figura 7**).

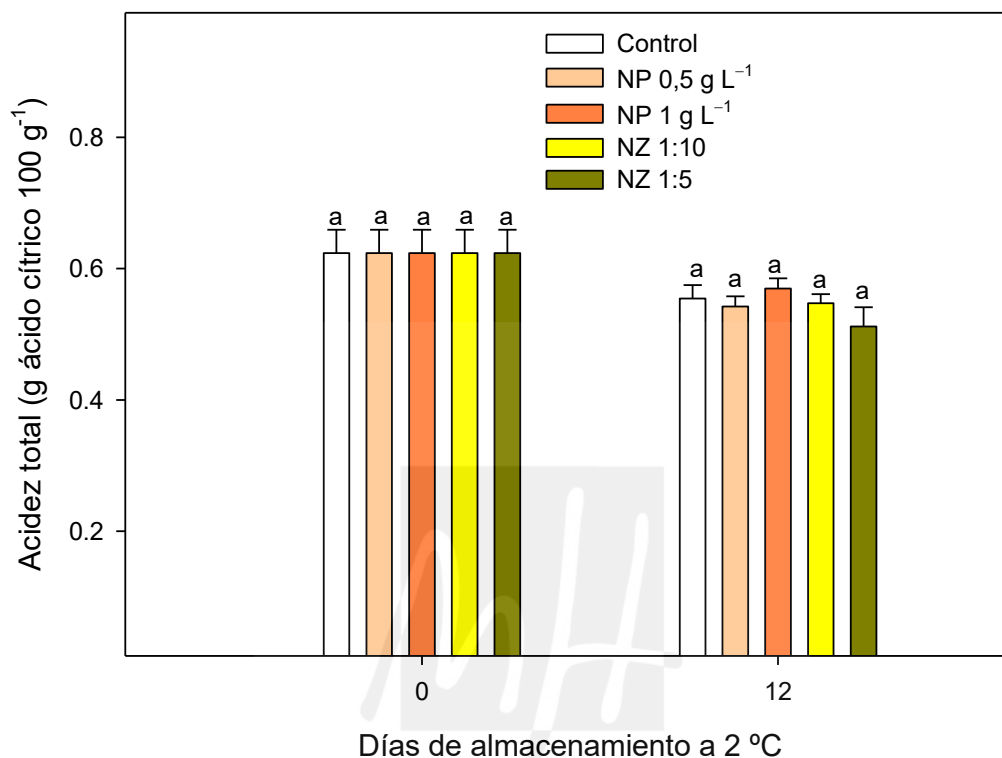


Figura 7. Evolución de la acidez total (g ácido cítrico 100 g⁻¹) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media ± ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

Tras comparar el lote control con los diferentes tratamientos, no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$), lo que indica que ninguno de los tratamientos tuvo efecto sobre la acidez total del fruto en el periodo estudiado.

Sin embargo, diversos estudios sobre la aplicación de compuestos antioxidantes naturales y recubrimientos naturales comestibles han demostrado que estos tratamientos pueden retrasar el metabolismo respiratorio y preservar los ácidos orgánicos durante el almacenamiento de las frutas (Lemos *et al.*, 2023; Xi *et al.*, 2016). De forma similar, Patidar *et al.*, (2025) estudiaron que un recubrimiento vegetal con extracto de cáscara de

cítricos en litchis contribuyó a mantener la calidad poscosecha, incluyendo aspectos relacionados con el sabor, entre ellos la acidez. Este mantenimiento se asoció a una barrera semipermeable que limitó el intercambio gaseoso y la pérdida acelerada de compuestos volátiles y ácidos mediante un retraso en el metabolismo.

4.8. Efecto de los tratamientos aplicados sobre las clorofilas totales

La pérdida del color verde del cáliz de las fresas es un parámetro crítico para la aceptación del consumidor, al estar relacionado con la frescura y calidad visual del fruto. El contenido de clorofilas en los cálices de las fresas disminuye progresivamente, debido a la degradación natural de los pigmentos fotosintéticos durante la senescencia poscosecha (Ilea *et al.*, 2025).

Tras 12 días de almacenamiento a 2 °C, se observó una disminución significativa ($p < 0.05$) en el contenido de clorofila en el cáliz de las fresas en todos los tratamientos aplicados, lo que evidencia una degradación de los pigmentos tras el almacenamiento en frío (Figura 8).

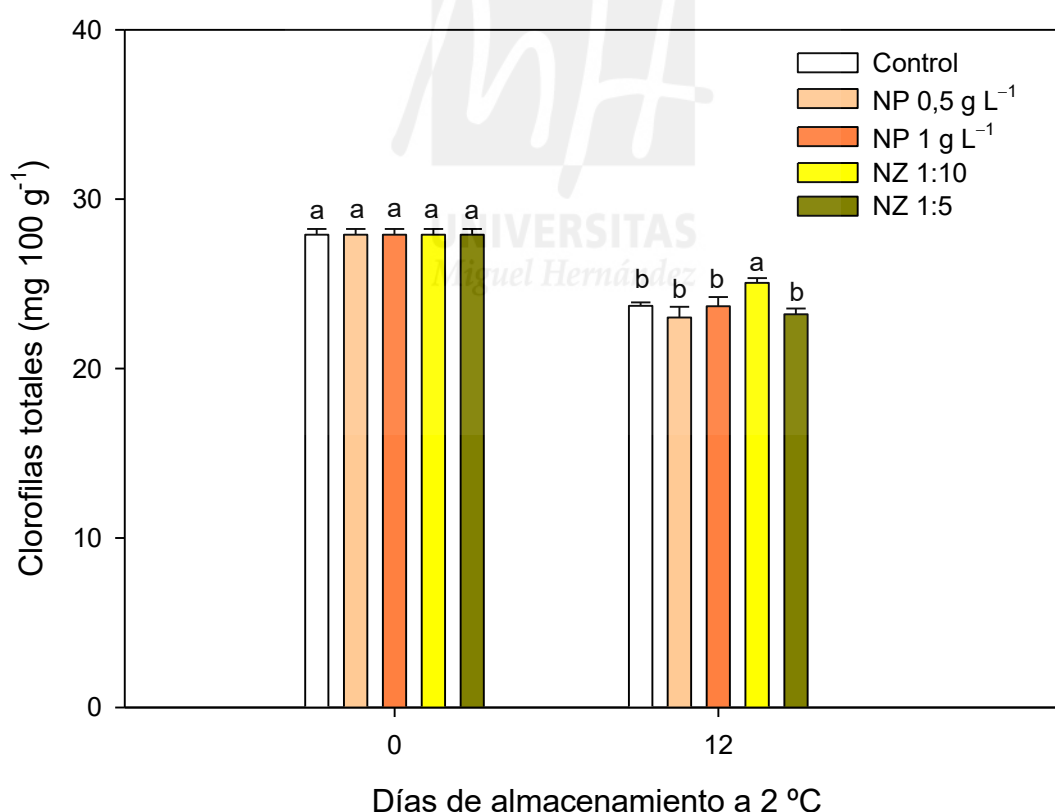


Figura 8. Evolución de las clorofilas totales del cáliz ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de

almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

Sin embargo, se observaron algunas diferencias con respecto a los diferentes tratamientos aplicados. El tratamiento con extractos NZ a la mayor de las diluciones (NZ 1:10) fue el único que logró mantener los niveles de clorofilas significativamente ($p < 0.05$) más altos al final del almacenamiento, en comparación con las fresas control y el resto de los tratamientos. Por el contrario, el control junto con el resto de los lotes presentó valores significativamente ($p < 0.05$) inferiores.

Diversos estudios en fresa y otras especies vegetales han tenido resultados similares, donde la aplicación de compuestos antioxidantes mantuvo el contenido de clorofilas (Liu *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2020). El uso de recubrimientos con extractos vegetales creó una barrera física limitando la pérdida de agua de la superficie de la fruta e inhibió la degradación de la clorofila poscosecha (Yasmin *et al.*, 2025). Del mismo modo Yusuf *et al.*, (2022) estudiaron que los extractos de limas permitieron conservar el color verde en chiles durante su almacenamiento poscosecha, un efecto atribuido a la reducción del estrés oxidativo y retraso de la senescencia del tejido vegetal. De esta forma, el uso de extractos de naranja obtenido a partir de zumo concentrado como tratamiento poscosecha podría ofrecer posibilidades para mantener la calidad visual del cáliz de las fresas, manteniendo las clorofilas.

4.9. Efecto de los tratamientos aplicados sobre los polifenoles totales

La fresa contiene gran cantidad de compuestos polifenólicos con capacidad antioxidante, entre estos, antocianinas, flavonoles, flavonoides y ácidos hidroxicinámicos. El contenido de total de polifenoles en la fresa es de gran importancia por su contribución a la reducción de estrés oxidativo tanto en fruto como en la dieta alimenticia (Benaute *et al.*, 2023). Este parámetro representa un indicador determinante de la calidad nutricional y de su estabilidad del fruto durante la poscosecha.

En el presente estudio, durante 12 días de almacenamiento a 2 °C, se observó una disminución en el contenido de polifenoles en fresas en todos los tratamientos aplicados (Figura 9).

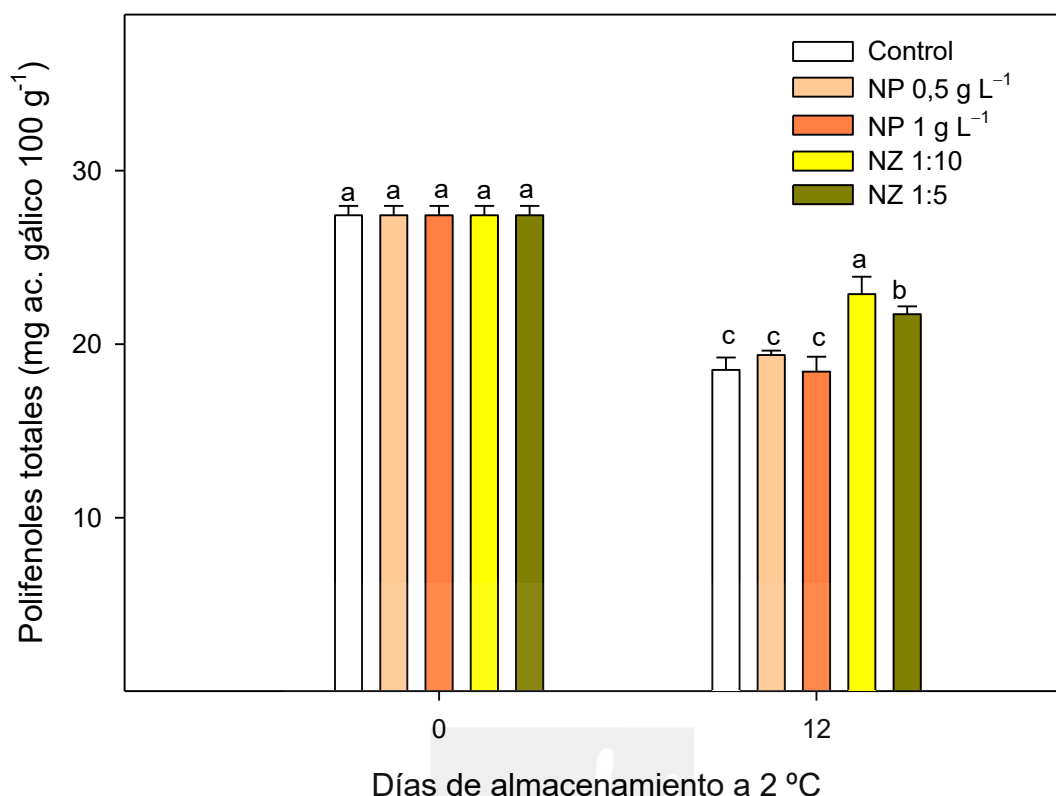


Figura 9. Evolución de los polifenoles totales (mg ácido gálico 100g⁻¹) en fresas control y fresas tratadas con diferentes extractos de naranja obtenidos a partir del zumo concentrado (NZ) o de polvo de naranja deshidratado (NP) durante 12 días de almacenamiento a 2 °C. Los datos son la media $\pm$ ES, las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo.

Sin embargo, las fresas tratadas con NZ, especialmente en la proporción 1:10, presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a las fresas control, logrando retrasar las pérdidas de polifenoles durante su conservación. Por el contrario, los tratamientos con extractos a base de polvo de naranja mostraron una reducción significativa, similar a las fresas control.

Estos estudios coinciden con investigaciones previas con otros frutos, como el tomate, donde se ha estudiado el uso de compuestos naturales como ácido clorogénico, el cual permitió conservar un mayor contenido de polifenoles durante su almacenamiento en frío. Lo que se tradujo en una mayor capacidad antioxidante y mejor conservación de la calidad del fruto (Ilea et al., 2024). Así mismo, en litchi, el uso de recubrimientos con extractos de cáscara de cítricos permitió preservar mejor los compuestos antioxidantes, incluidos

los polifenoles en poscosecha (*Patidar et al., 2025*). Por su parte, la aplicación de extractos de hojas de cítricos retardó la pérdida de polifenoles totales en distintos frutos (*Yasmin et al., 2025; Yusof et al., 2022*). Este efecto puede atribuirse al potencial de los subproductos cítricos como fuente de compuestos antioxidantes naturales (*Kandemir et al., 2022; Kumar et al., 2025*).

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo confirman que la aplicación de soluciones a partir de extractos cítricos procedentes de residuos agroindustriales podría tener un impacto positivo en la conservación poscosecha de las fresas. De hecho, se observó una reducción significativa de las pérdidas de peso, firmeza y fuga de electrolitos además de un marcado retraso en la evolución del color en comparación con los frutos control. Este efecto estaría indicando un retraso en la senescencia de las fresas.

El resto de parámetros evaluados mostró que los frutos tratados mantuvieron valores más estables de los procesos metabólicos en los tejidos, marcado por un retraso en la pérdida de compuestos bioactivos tanto en la pulpa como en el cáliz de los frutos. Esto estaría indicando un retraso en el metabolismo oxidativo de los tejidos y por tanto explicaría el incremento de la vida útil de los frutos tratados con estos extractos cítricos.

Pese a que en mayor o menor medida todos los extractos retrasaron la senescencia de los frutos con respecto a las fresas control, aquellos extractos obtenidos en polvo de las cáscaras cítricas principalmente, mostraron una mayor efectividad, especialmente a la mayor de las concentraciones utilizadas.

Por tanto, el uso de extractos naturales derivados de estos subproductos agroindustriales representaría una estrategia poscosecha eficaz, alineada con los principios de la economía circular, que promueve el aprovechamiento de recursos de origen vegetal que de otro modo serían considerados residuos. De esta manera, se fomentaría una producción más sostenible, reduciendo el desperdicio y añadiendo valor a recursos actualmente desechados en la mayoría de las industrias.

En el futuro, parece prometedor la ampliación de esta línea de investigación explorando la aplicación sobre otras especies vegetales, tanto de estos extractos como de otros tipos de extractos vegetales con propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Para ello se deberían de evaluar su acción en condiciones de transporte y comercialización reales.

Además, sería interesante realizar estudios sensoriales que valoren la aceptación del consumidor, con el fin de transferir estas estrategias hacia aplicaciones comerciales viables y sostenibles en la industria hortofrutícola.



6. BIBLIOGRAFÍA

- Aghdam, M. S., y Fard, J. R. (2016). Melatonin treatment attenuates postharvest decay and maintains nutritional quality of strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* cv. Selva) by enhancing GABA shunt activity. *Food Chemistry*, 221, 1650-1657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.123>
- Annie Klodd, Emily Tepe, y Emily Hoover (2019). *Cómo crecen las plantas de fresa*. University Of Minnesota Extension. <https://es.extension.umn.edu/cultivo-de-fresas/c%C3%B3mo-crecen-las-plantas-de-fresa>
- Base de Datos Española de composición de Alimentos (BEDCA). (2025). *Base de Datos de la composición de la fresa*. Visitada 10 de junio de 2025. <https://www.bedca.net/bdpub/>
- Beckles, D. M. (2011). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016>
- Becerra, C., Robledo, P., y Defilippi, B (2013). *Cosecha y poscosecha de frutilla*. (Boletín INIA) Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Brockelt, J., Dammann, R., Griesse, J., Weiss, A., Fischer, M., y Creydt, M. (2025). Storage Profiling: Evaluating the Effect of Modified Atmosphere Packaging on Metabolomic Changes of Strawberries (*Fragaria × ananassa*). *Metabolites*, 15(5), 330. <https://doi.org/10.3390/metabo15050330>
- Cano, M. A. (2013). Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria spp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(2), 263–276. <https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2240>
- Casbis, G. M., Villegas Torres, O. G., Andrade Rodríguez, M., Sotelo Nava, H., y Cardoso Taketa, A. T. (2020). Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por

- efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1337-1348. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2329>
- Cock, L. S., y León, C. T. (2014). Potencial agroindustrial de cáscaras de mango de las variedades Keitt, y Tommy Atkins (*Mangifera indica*). *Acta Agronómica*, 64(2), 110-115. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43579>
- Fan, P., Huber, D. J., Su, Z., Hu, M., Gao, Z., Li, M., Shi, X., y Zhang, Z. (2017). Effect of postharvest spray of apple polyphenols on the quality of fresh-cut red pitaya fruit during shelf life. *Food Chemistry*, 243, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.103>
- Fierascu, R. C., Temocico, G., Fierascu, I., Ortan, A., y Babeanu, N. E. (2020). *Fragaria* Genus: Chemical composition and biological activities. *Molecules*, 25(3), 498. <https://doi.org/10.3390/molecules25030498>
- Ibarra-Cantún, D., Ramos-Cassellis, M. E., Sánchez-Arzubide, M. G., Del Carmen Castelán-Vega, R., y Marín-Castro, M. A. (2022). Compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de la fermentación en estado sólido de bagazo de manzana (*Malus domestica* Borkh., var. panochera). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2103
- Ilea, M. I. M., Zapata, P. J., Fernández-Picazo, C., Díaz-Mula, H. M., Castillo, S., y 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(15), 2055. <https://doi.org/10.3390/plants13152055>
- Ilea, M. I. M., Díaz-Mula, H. M., García-Molina, A., Ruiz-Aracil, M. C., Fernández-Picazo, C., y Guillén, F. (2025). Comparative effect of GABA and 1-MCP in maintaining strawberry fruit quality during cold storage. *Horticulturae*, 11(4), 370. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11040370>

- Kandemir, K., Piskin, E., Xiao, J., Tomas, M., y Capanoglu, E. (2022). Fruit juice industry wastes as a source of bioactives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6805-6832. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c00756>
- Kumar, H., Guleria, S., Kimta, N., Nepovimova, E., Dhanjal, D. S., Sethi, N., Suthar, T., Shaikh, A. M., Bela, K., y Harsányi, E. (2025). Applications of citrus peels valorisation in circular bioeconomy. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101780. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101780>
- Lemos, M. L., Gutiérrez, D. R., Farías, M. J., y Del Carmen Rodriguez, S. (2023). Application of antioxidants and hot water treatments to improve shelf life of fresh-cut eggplants (*Solanum melongena* L.) during storage. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 76(2), 10381-10392. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v76n2.104456>
- Leo, L. S. C., Hernández-Martínez, D. M., y Meza-Márquez, O. G. (2019). Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en piel, pulpa y fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México/Analysis of physicochemical parameters, phenolic compounds and antioxidant capacity of peel, pulp and whole fruit of five apple varieties (*Malus domestica*) harvested in Mexico. *BIOTecnia*, 22(1), 166-174. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1193>
- Liston, A., Cronn, R., y Ashman, T. (2014). *Fragaria*: A genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. *American Journal of Botany*, 101(10), 1686-1699. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400140>
- Cano T. Mario Alejandro (2013). Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa (*Fragaria spp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7 (2).263-276.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732013000200011&lng=en&tlng=es.

Maroto Borrego, J. V., y López Galarza, S. (1988). *Producción de fresas y fresones*. Mundi-Prensa.

Martínez-González, M. E., Morales, R. B., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., y López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>

Matiacevich, S., Madrid, D. S., y Cutiño, M. G. (2022). Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de desechos agroindustriales. *Revista RIVAR*, 10(28). <https://doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343>

Medina-Santamarina, J., Serrano, M., Ruiz-Aracil, M. C., Ilea, M. I. M., Martínez-Romero, D., y Guillén, F. (2022). A synergistic effect based on the combination of melatonin with 1-Methylcyclopropene as a new strategy to increase chilling tolerance and general quality in zucchini fruit. *Foods*, 11(18), 2784. <https://doi.org/10.3390/foods11182784>

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). *Análisis campaña 2023/24 de frutos rojos* [Informe anual]. https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/frutas-y-hortalizas/analisisfrutosrojoscampana2023_2423deabril2024.pdf

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). (2024). *Panel de consumo alimentario en hogares*. [Informe anual]. <https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/alimentacion/temas/consumo-y->

tendencias-en-alimentacion/panel-de-consumo-alimentario/ultimos-
datos/consumo-2024/resumen-consumo-alimentario-espana-2024.pdf

Mulkay Vitón, T. (2021). *La poscosecha de frutas*. Instituto de investigaciones en Fruticultura Tropical.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1993). *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas*. [Manual técnico]. <https://www.fao.org/4/x5056s/x5056S00.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos: Una estrategia para mejorar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad*. [Manual técnico]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fa9de47c-58fa-4a04-9a44-d3e736a5bbd5/content>

Patel, H., Taghavi, T., y Samtani, J. B. (2023). Fruit quality of several strawberry cultivars during the harvest season under high tunnel and open field environments. *Horticulturae*, 9(10), 1084. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101084>

Patidar, S., Kumari, P., Singh, A., Shahi, N. C., Chand, K., Hussain, A., Ahmad, W., Lohani, U. C., y Kumar, S. (2025). Formulation and optimization of plant based organic coating with citrus peel extract for enhancing shelf life and quality of postharvest litchi fruit. *Journal of Food Measurement and Characterization*. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03115-x>

Populin, F., Vittani, L., Zanella, A., Stuerz, S., Folie, I., Khomenko, I., Biasioli, F., Scholz, M., Masuero, D., Vrhovsek, U., Busatto, N., y Costa, F. (2023). Transcriptome and metabolic survey disclose the mode of action of static and dynamic low oxygen postharvest storage strategies to prevent the onset of superficial scald disorder in fruit of ‘Granny Smith’ apple cultivar. *Postharvest*

Biology and Technology, 205, 112492.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112492>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2021). *La poscosecha de frutas*. Instituto de investigaciones en fruticultura tropical. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cu/Folleto-La-poscosecha-de-frutas.pdf>

Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *Tecnológicas*, 25(54), e2505. <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>

Shu, C., Zhang, W., Zhao, H., Cao, J., y Jiang, W. (2019). 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, 110997. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110997>

Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., Andrade, R. D. (2013). Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Información Tecnológica*, 24(3), 51-56. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642013000300007>

Unión Europea. (2023). *Reglamento Delegado (UE) 2023/2429 de la Comisión, de 17 de agosto de 2023, por el que se completa el Reglamento (UE) n° 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a las normas de comercialización para el sector de las frutas y hortalizas, ciertos productos transformados de frutas y hortalizas y el sector del plátano, y por el que se derogan el Reglamento (CE) n° 1666/1999 y los Reglamentos de ejecución (UE) n° 543/2011 y n° 1333/2011* (DO L 2429, pp. 1–77). Diario Oficial de la Unión Europea. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/2429/oj

- Velasquez-Rivera, J., y Díaz-Torres, R. (2024). Harina de cáscara de cítricos como ingrediente para la industria cárnica. *Agronomía Mesoamericana*, 58857. <https://doi.org/10.15517/am.2024.58857>
- Wigati, L. P., Wardana, A. A., Jothi, J. S., Leonard, S., Van, T. T., Yan, X., Tanaka, F., y 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, 102324. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102324>
- Wu, C., Cao, S., Xie, K., Chi, Z., Wang, J., Wang, H., Wei, Y., Shao, X., Zhang, C., Xu, F., y Gao, H. (2020). Melatonin delays yellowing of broccoli during storage by regulating chlorophyll catabolism and maintaining chloroplast ultrastructure. *Postharvest Biology and Technology*, 172, 111378. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111378>
- Xi, Y., Fan, X., Zhao, H., Li, X., Cao, J., y Jiang, W. (2016). Postharvest fruit quality and antioxidants of nectarine fruit as influenced by chlorogenic acid. *LWT*, 75, 537-544. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.004>
- Yasmin, A., Hossain, M., Hafiz, M. H., Rabeya, T., Imran, S., Sayed, S., Gaber, A., y Hossain, A. (2025). Impact of different botanical extracts on the postharvest biochemical attributes and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.). *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 17(2), 75-85. <https://doi.org/10.15586/qas.v17i2.1529>
- Yusof, N. S. M., Soh, N. C., Rafdi, H. H. M., Lob, S., Ibrahim, N. F., y Idris, N. I. M. (2022). Potential of kaffir lime (*Citrus hystri*) leaf extract as biopesticide in improving pre and post-harvest quality of chili (*Capsicum annuum*). *Journal of*

Agricultural Sciences – Sri Lanka, 17(3), 360-369.

<https://doi.org/10.4038/jas.v17i3.9917>

