

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



“Efecto del ácido clorogénico como tratamiento poscosecha sobre la calidad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y los daños por frío durante el almacenamiento refrigerado”

TRABAJO FIN DE GRADO

Marzo-2025

Autor: Christian Fernández Picazo

Tutores: Antonio Fabián Guillén Arco

Huertas María Diaz Mula

Resumen

El fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un fruto perecedero que posee un almacenamiento limitado debido a que es susceptible a daños por frío cuando se conserva en condiciones de refrigeración, las cuales se emplean para retrasar la maduración. Por esta razón, en este estudio se probaron diferentes concentraciones (10, 50 y 100 mg L⁻¹) de ácido clorogénico (ACG) para evaluar su eficacia en el mantenimiento de las características de calidad del fruto y en la mitigación de los síntomas de daños por frío en los tomates. Nuestros resultados mostraron que los tratamientos con ACG retrasaron eficazmente la pérdida de peso y mantuvieron la firmeza del fruto, observándose los mejores resultados a dosis de 50 mg L⁻¹. En general, concentraciones más altas no dieron lugar a mejoras significativas en la calidad. Además, los tomates tratados con ACG mostraron valores reducidos en el contenido de malondialdehído (MDA) y fuga de electrolitos (EL), lo que indica una mejora en la integridad de las membranas y una reducción del daño oxidativo. Los tratamientos con ACG mantuvieron un mayor contenido total de fenoles durante el almacenamiento, con niveles significativos de polifenoles individuales como la rutina, el ácido neochlorogénico y el ácido p-cumárico, lo que sugiere una mayor capacidad antioxidante y una mejor conservación de la calidad del fruto. Esta es la primera vez que se evalúa el potencial del ACG para reducir el impacto de los daños por frío en cualquier especie de fruta, y su impacto en la maduración del tomate demuestra que ayuda a preservar la calidad del fruto durante el almacenamiento en frío, prolongando así su capacidad de almacenamiento. En particular, destacamos su origen natural y su efectividad como tratamiento poscosecha.

Palabras clave: Tomate, Conservación, Daños por frío, Polifenoles

Abstract

The tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) is a perishable fruit with limited storage capacity due to its susceptibility to chilling injury when stored under refrigeration conditions, which are commonly used to delay ripening. For this reason, in this study, different concentrations (10, 50, and 100 mg L⁻¹) of chlorogenic acid (CGA) were tested to evaluate its effectiveness in maintaining fruit quality characteristics and mitigating symptoms of chilling injury in tomatoes. Our results showed that CGA treatments effectively delayed weight loss and maintained fruit firmness, with the best results observed at a dose of 50 mg L⁻¹. In general, higher concentrations did not lead to significant improvements in quality. Additionally, CGA-treated tomatoes exhibited reduced malondialdehyde (MDA) content and electrolyte leakage (EL), indicating improved membrane integrity and reduced oxidative damage. CGA treatments maintained a higher total phenolic content during storage, with significant levels of individual polyphenols such as rutin, neochlorogenic acid, and *p*-coumaric acid, suggesting enhanced antioxidant capacity and better

preservation of fruit quality. This is the first time that CGA's potential to reduce the impact of chilling injury has been evaluated in any fruit species, and its impact on tomato ripening demonstrates its ability to preserve fruit quality during cold storage, thereby extending its shelf life. Notably, we highlight its natural origin and effectiveness as a postharvest treatment.



Tabla de contenidos

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	1
1.1.1	Características del tomate	1
1.1.2	Composición Nutricional	2
1.1.3	Variedades de tomate	4
1.2.	PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA	5
1.3.	PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADURACIÓN DEL FRUTO	8
1.3.1.	Color	9
1.3.2.	Textura	9
1.3.3.	Sólidos solubles y acidez	9
1.3.4.	Pérdida de peso	9
1.3.5.	Compuestos bioactivos	9
1.3.6.	Respiración y Etileno	10
1.4.	PROBLEMÁTICA POSCOSECHA	10
1.5.	NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD	11
1.5.1.	Atmosferas controladas y atmosferas modificadas	11
1.5.2.	Recubrimientos comestibles y películas protectoras	11
1.5.3.	1-metilciclopropano (1-MCP)	11
1.5.4.	Otras tecnologías: microondas, ultrasonidos, irradiación	12
1.5.5.	Elicidores	12
2.	OBJETIVOS	14
3.	MATERIAL Y MÉTODOS	15
3.1.	MATERIAL VEGETAL	15
3.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL	15
3.3.	DETERMINACIONES ANALÍTICAS	15
3.3.1.	Pérdida de peso	15
3.3.2.	Firmeza	16
3.3.3.	Daños por frío	16
3.3.4.	Respiración y producción de etileno	16
3.3.5.	Evolución del color del fruto	18
3.3.6.	Fuga de electrolitos	19
3.3.7.	Contenido en malondialdehído	19
3.3.8.	Contenido en sólidos solubles y acidez	20
3.3.9.	Contenido en polifenoles totales	21
3.3.10.	Contenido en polifenoles individuales	21
3.3.11.	Análisis estadístico	22

4.	<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	24
4.1.	PÉRDIDAS DE PESO	24
4.2.	FIRMEZA	25
4.3.	DAÑOS POR FRÍO	27
4.4.	RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO DEL FRUTO	28
4.5.	EVOLUCIÓN DEL COLOR	29
4.6.	EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES Y ACIDEZ	31
4.7.	CONTENIDO EN MDA Y FUGA DE ELECTROLITOS	32
4.8.	CONTENIDO EN POLIFENOLES TOTALES	34
4.9.	CONTENIDO EN POLIFENOLES INDIVIDUALES	36
5.	<i>CONCLUSIONES</i>	39
6.	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	40



1. INTRODUCCIÓN

1.1. TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

1.1.1 Características del tomate

El tomate es una planta perteneciente a la familia *Solanaceae* y al género *Solanum*, que incluye más de 1.500 especies. Originaria de las regiones andinas de América Central y del Sur (actualmente Perú, Ecuador y Chile), la planta ha sido modificada mediante un proceso de selección artificial que ha transformado las formas silvestres, de menor tamaño, en los tomates modernos (Bergougnoux, 2014). La especie más cultivada es *Solanum lycopersicum*, con una amplia variedad de cultivares que se distinguen por el color, tamaño, forma del fruto, entre otras características.

La planta del tomate se caracteriza por un tallo central grueso y anguloso, que se ramifica en numerosas ramas laterales. Las hojas, de textura rugosa, están cubiertas por vellosidades que secretan compuestos defensivos. Las flores son hermafroditas, perfectas, hipóginas y regulares, de color amarillo, y se agrupan en racimos. El tomate es una planta autopolinizante, ya que posee tanto órganos masculinos como femeninos; sin embargo, también puede ser polinizada por insectos (Monforte et al., 2014).

El fruto del tomate es una baya jugosa, generalmente de color rojo, aunque puede variar en otros tonos. Su tamaño es variable, desde tomates pequeños hasta frutas grandes y carnosas. La placenta del fruto es gruesa y alberga numerosas semillas, que son las encargadas de la reproducción.

El ciclo de desarrollo del tomate incluye varias etapas: germinación, crecimiento vegetativo, floración, formación del fruto y, finalmente, maduración. La maduración es un proceso complejo que implica la conversión de almidón en azúcares y la degradación de la clorofila, lo que da lugar al característico color rojo de muchas variedades. La planta es altamente polimórfica, mostrando una considerable variabilidad genética entre las diferentes variedades y cultivares, lo que le permite adaptarse a diversas condiciones, como suelos salinos o ambientes adversos (Quinet et al., 2019).

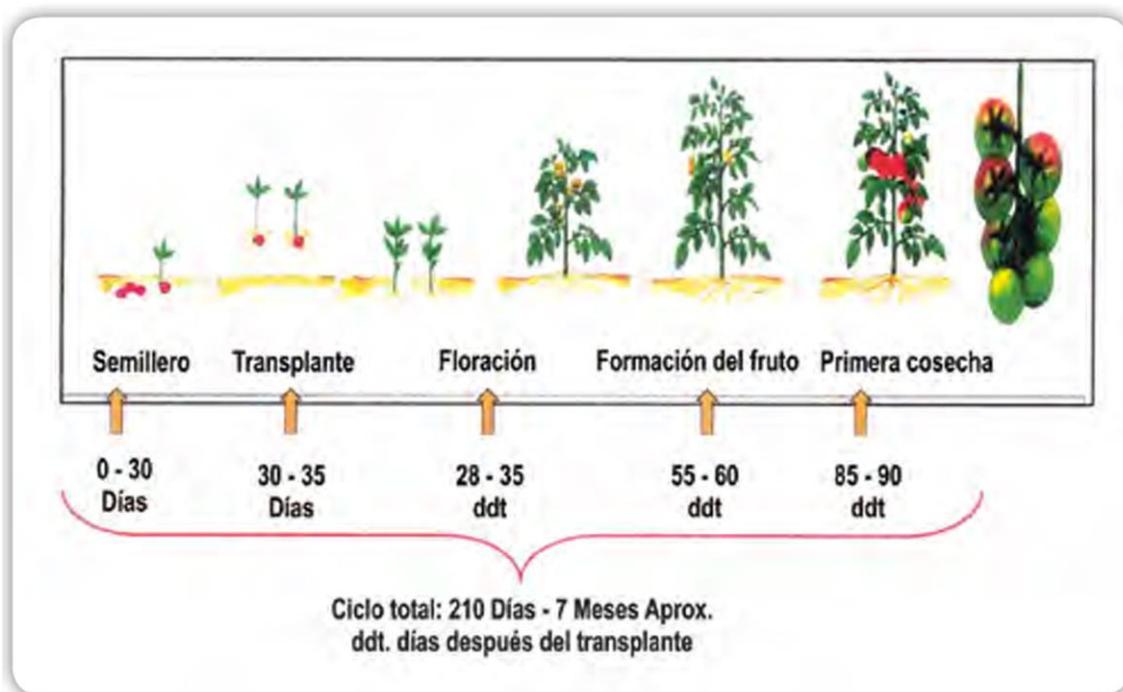


Ilustración 1. Fases fenológicas del cultivo de tomate. (Jaramillo Noreña et al., 2012).

1.1.2 Composición Nutricional

El tomate es una de las frutas más consumidas a nivel mundial debido a que es una excelente fuente de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos que aportan beneficios para la salud.

Es un alimento con un contenido mayoritario en agua (94 %) y escasa riqueza en macronutrientes (3,5 % hidratos de carbono; 1 % proteínas) (Tabla 1). Del contenido total de carbohidratos destacan la glucosa, fructosa y sacarosa. En la fracción de fibra presenta lignina, celulosa, hemicelulosa y pectinas, donde estas últimas están relacionadas con la firmeza del fruto, a más pectinas y menor grado de esterificación mayor firmeza presentará el tomate (Eslami et al., 2023). Gracias a su bajo contenido en lípidos (0,11 %), el tomate es uno de los alimentos que se incluyen en dietas contra enfermedades cardiovasculares, o en dietas como la mediterránea que ha constatado ser efectiva contra enfermedades cardiovasculares, está asociada a un menor riesgo de deterioro cognitivo y de índice de obesidad abdominal (Naureen et al., 2022).

Tabla 1. Aporte nutricional del tomate.

Nutriente	FEN	FOODDATA	BEDCA
Energía (Kcal)	22	18	19
Proteínas (g)	1	0,88	0,9
Lípidos totales (g)	0,11	0,2	0,1
AG saturados (g)	Tr	Tr	Tr

AG monoinsaturados (g)	Tr	Tr	Tr
AG poliinsaturados (g)	0,11	0,03	0,11
ω -3 (g)	—	—	—
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	—	—	—
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	0	0
Hidratos de carbono (g)	3,5	3,9	3,5
Fibra (g)	1,4	1,2	1,1
Agua (g)	94	94	94
Calcio (mg)	11	10	11
Hierro (mg)	0,6	0,27	0,5
Magnesio (mg)	10	11	10
Zinc (mg)	0,22	0,17	0,2
Sodio (mg)	3	5	18
Potasio (mg)	290	237	236
Fósforo (mg)	27	24	22
Selenio (μ g)	Tr	Tr	Tr
Tiamina (mg)	0,06	0,04	0,06
Riboflavina (mg)	0,04	0,02	0,04
Equivalentes niacina (mg)	0,8	0,8	0,8
Vitamina B6 (mg)	0,11	0,08	0,1
Folatos (μ g)	28	15	29
Vitamina B12 (μ g)	0	0	0
Vitamina C (mg)	26	13	19
Vitamina A: Eq. Retinol (μ g)	82,3	42	82
Vitamina D (μ g)	0	0	0
Vitamina E (mg)	1,2	0,54	0,89

Fuente FEM, FOODDATA, BEDCA, 2024.

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

El tomate es una buena fuente de vitamina A, mayoritariamente en forma de carotenoides, como el betacaroteno, el cual, es un antioxidante que está relacionado con el mantenimiento de la salud ocular y la prevención de enfermedades relacionadas con la edad. De las vitaminas liposolubles, también presenta vitamina K y algunas vitaminas del complejo B, como es la vitamina B6 esencial para el metabolismo de los aminoácidos y el mantenimiento del sistema nervioso (Collins et al., 2022). El tomate es rico en vitamina C, la cual ayuda combatir los efectos de los radicales libres, es decir, es un potente antioxidante. Así mismo es fundamental para la formación de colágeno, cicatrización de heridas y protección contra infecciones (Alberts et al., 2025).

Es una buena fuente de minerales como el potasio, el cual actúa en la regulación del equilibrio de líquidos en el cuerpo, el control de la presión arterial y está relacionado con un adecuado funcionamiento de músculos y nervios. También presenta cantidades moderadas de hierro, y magnesio, importantes para la formación de hemoglobina y la función muscular respectivamente (Collins et al., 2022).

Además, el tomate, es una fuente de compuestos bioactivos, como son los ácidos fenólicos, los flavonoides, las saponinas o los ácidos grasos esenciales. Compuestos que presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas que dotan al fruto con efectos beneficiosos para la salud de los consumidores. Destacando, su alto contenido en licopeno, un carotenoide responsable del color rojo del fruto. Es un compuesto antioxidante con efectos beneficiosos para la salud y con capacidad para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer probadas, así mismo, presenta también propiedades antiinflamatorias (Kumar et al., 2021; Quinet et al., 2019).

1.1.3 Variedades de tomate

Existen muchas variedades de tomate ya que es un cultivo muy versátil que se adapta a distintos tipos de suelo, clima y necesidades del mercado. Las variedades se diferencian principalmente por su color, tamaño, forma y resistencia a diversas condiciones de cultivo y almacenamiento. A continuación, se muestran algunos tipos:

- Tomate liso o tipo ensalada

Se caracterizan por una forma redonda uniforme y un tamaño de medio a grande. Son tomates jugosos, de textura firme y coloración roja, aunque pueden existir variedades de otros colores como pueden ser amarillos, naranjas o verdes. Ideales para el consumo en fresco gracias a su sabor equilibrado entre dulce y ácido. Dentro de este tipo destacan variedades como el tomate “california”, así como el tomate “Marmande”.

- Tomate tipo pera

Son tomates medianos con forma alargada similar a una pera. Presentan un bajo contenido en agua y una pulpa densa, lo cual los hace ideales como variedad para productos procesados ya sea en salsa de tomate, conservas u otros procesados. Destacan variedades como “Pomodoro” o “Pera Almería”.

- Tomate tipo Cherry

Son pequeños con forma redonda o ligeramente ovalada que se caracterizan por un sabor extremadamente dulce y agradable. Existen cultivares que presentan colores rojos o amarillos. En los últimos años la demanda de tomates Cherry ha aumentado ya que son ideales para ensaladas o aperitivos, por lo que también ha aumentado su producción en invernaderos. Destacan las variedades “Sweet Cherry” o “Cherry Sun Gold”.

- Tomates en rama

Tomates que crecen unidos en racimos o ramas. Se caracterizan por su resistencia al daño mecánico durante la cosecha, por lo que son ideales para el consumo en fresco. Suelen ser tomates dulces y firmes con una vida útil más largas que otras variedades gracias a su grosor y resistencia. Existen variedades como “Rama Cluster”, “Vine Ripened” o “Corazón de Buey” entre otras.

- Tomate tipo Larga Vida Comercial.

Cultivado en la provincia de Almería, la introducción de los genes Nor y Rin son los responsables de su larga vida al conferirles mayor resistencia y grado de conservación de cara a su comercialización y detrimento del sabor. Presentan una superficie lisa, una coloración dulce uniforme roja anaranjada. Se pueden encontrar variedades como “Long Keeper”, “Grosse Lisse” o “F1 Indigo”.

- Tomate tipo Beef

Tomates de gran tamaño, conocidos por su carne densa, firme y jugosa. Suelen ser de forma redonda, ligeramente achatada y con una piel gruesa y resistente. Destacan de este tipo los tomates Cabrera, los cuales presentan una alta resistencia a enfermedades, con buenas producciones y rendimientos. Presentan un sabor suave pero equilibrado, donde, aunque se pueden consumir en fresco, su uso principal es industrial. También otras variedades pueden ser el “Beefsteak” o la “Brandywine”.

- Tomate tipo RAF

Es una variedad cultivada en Almería. Presenta una gran resistencia a condiciones adversas como la salinidad del suelo, lo que lo hace ideal para este tipo de suelos. Este hecho hace que el tomate “RAF” presente un sabor único debido a su alto índice de azúcares compensado con su alto índice de acidez, presentando un balance ideal. con una textura carnosa y jugosa. Suelen ser de tamaño pequeño e irregular con coloraciones de verde a rojo.

1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA

El tomate es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial debido a su alto valor nutricional, su versatilidad y su enorme demanda en el mercado global. Con una producción mundial que se estima superior a los 180 millones de toneladas anuales, el cultivo del tomate se extiende a todos los continentes ya que su gran adaptabilidad lo hace apto en una amplia gama de condiciones climáticas (Causse et al., 2010).

En España, la producción de tomate tiene un impacto significativo en la economía agrícola del país ya que es un alimento clave en la dieta mediterránea. La región de Almería es particularmente conocida como la mayor productora de tomates a nivel nacional, seguida de regiones como Murcia y Valencia, debido a que se benefician de climas cálidos y soleados lo que favorece el cultivo intensivo de tomates, especialmente en invernaderos permitiendo así su producción durante todo el año. Aunque pueda mantenerse la producción casi todo el año, en los últimos años se ha reducido la superficie de tomate provocando así una menor producción que ha reflejado una subida del valor (Gráfico 1).

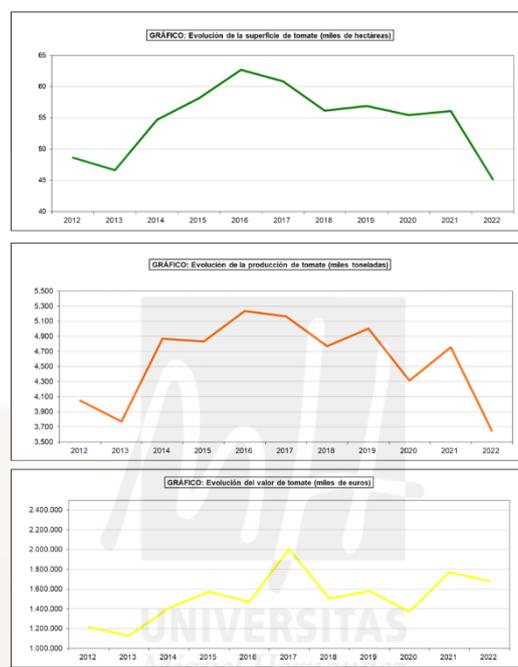
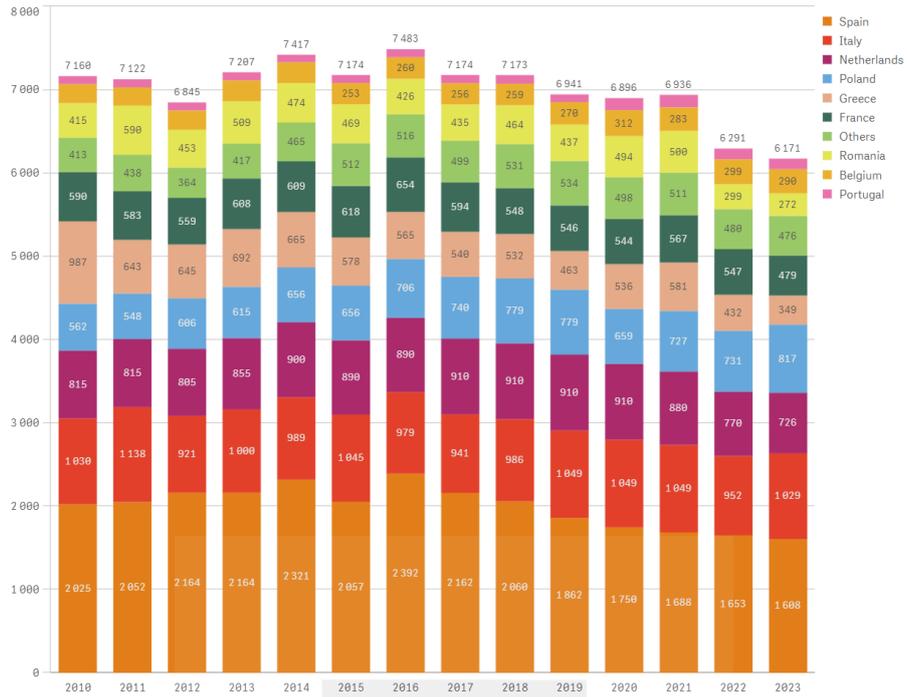


Gráfico 1. Evolución de la superficie, producción y valor del tomate 2012-2022.

A pesar de ello, España es el principal productor de tomate a nivel europeo (Gráfico 2), seguido de países como Italia y Portugal. El tomate producido no solo se destina a consumo en fresco, sino que también se destina a industria, la cual representa un gran valor de los activos de la producción.

Production of Tomatoes for fresh consumption

based on production for years 2010 - 2024 (1000t)



**Certain volumes may be estimated. Please refer to the "Data Explorer" for more details.

Gráfico 2. Producción total de tomate a nivel europeo. Fuente Eurostat, 2024.

Sin embargo, España se coloca como el segundo país exportador de tomates de la Unión Europea, donde en los últimos años se ha observado una tendencia a la baja en cuanto a volumen de exportación (Gráfico 3). Países como Francia, Italia o Alemania son los principales destinos del tomate exportado por el territorio español.

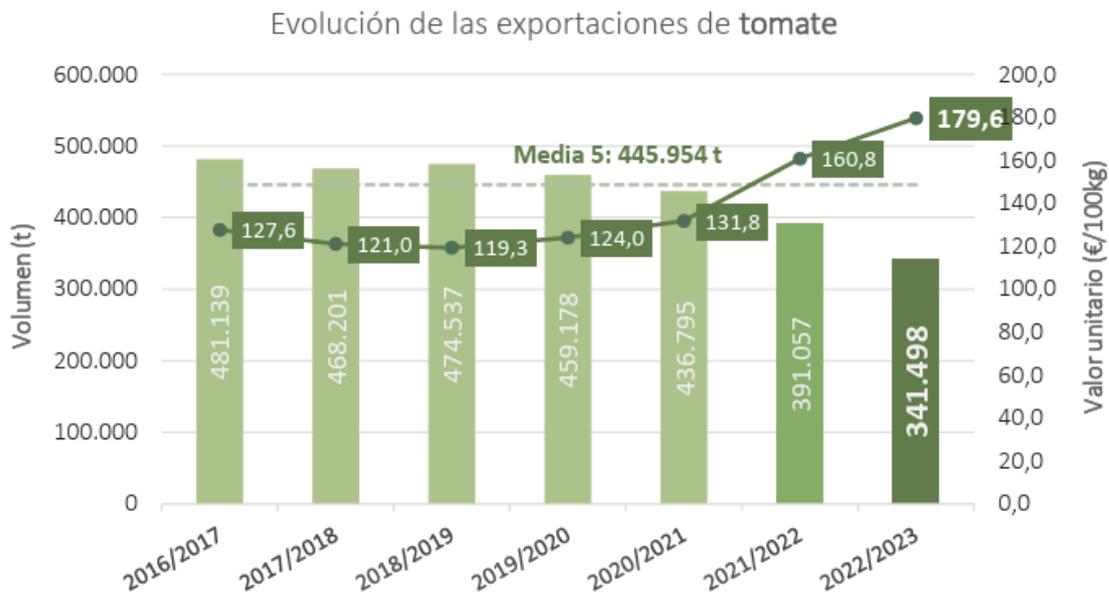


Gráfico 3. Exportación europea. Fuente MAPA, 2024.

1.3. PARÁMETROS DE CALIDAD Y MADURACIÓN DEL FRUTO

La calidad de la fruta se encuentra definida por los consumidores generalmente relacionada con su aspecto, firmeza, sabor y valor nutritivo (Knee & Oria, 2008), así mismo la calidad se puede definir como el grado de excelencia de un producto y su adecuación a un uso concreto, lo cual comprende un gran número de propiedades, donde se encuentran propiedades sensoriales u organolépticas, como pueden ser apariencia, color, forma, textura, sabor, así mismo, encontramos propiedades nutritivas, relacionada con los componentes químicos del producto y por último, propiedades funcionales, las que hacen referencia a los efectos beneficiosos generados en el consumidor (Amr & Raie, 2022).

La calidad del tomate no solo va a depender de su sabor y apariencia, sino que va a estar directamente ligada a una serie de factores fisiológicos y bioquímicos que ocurren durante el proceso de maduración. Según la “Unión Europea. (2021). *Norma de comercialización para los tomates*”, los tomates deben cumplir con requisitos específicos de calidad, que incluye, estar intactos, sanos y libres de plagas, así como, establece diferentes categorías atendiendo a su apariencia y características.

Los tomates son frutos climatéricos, es decir, pueden madurar una vez han sido cosechados de la planta. Durante su maduración muchos de los parámetros que sirven para evaluar la calidad sirven a su vez para conocer el estado de maduración del fruto. A continuación, se describen los principales parámetros de calidad y maduración del tomate:

1.3.1. Color

Durante la maduración el tomate atraviesa una serie de cambios en su pigmentación, comenzando por una fase inmadura, donde el tomate es verde debido a la presencia de clorofila, que conforme avanza, la clorofila dará paso a otros pigmentos como es el licopeno y el betacaroteno que lo dotaran de color rojo (Paolo et al., 2018; Tufail et al., 2024). El color es un parámetro que da información no solo de la madurez, sino a su vez del contenido de nutrientes.

1.3.2. Textura

La textura del tomate va relacionada a su firmeza. A medida que el tomate madura se produce una degradación de las pectinas en las paredes celulares por la actividad de las enzimas que promueven la maduración (Eslami et al., 2023). La pérdida de firmeza es un factor de calidad clave ya que los tomates blandos serán más susceptibles al daño mecánico, factor que acelerará su deterioro.

1.3.3. Sólidos solubles y acidez

Los TSS incluyen los azúcares, ácidos orgánicos y otros compuestos solubles en agua. Los sólidos solubles aumentan durante la maduración debido a la conversión de almidón en azúcares simples, aumentando así el dulzor del tomate (Wasim & Singh, 2015). Mientras que la acidez disminuye durante la maduración a medida que los ácidos orgánicos, como el ácido cítrico o málico, se reducen. La determinación de estos parámetros son clave ya que son indicadores importantes de la calidad sensorial y organoléptica del fruto, así como de su estado de maduración, donde un equilibrio entre ambos parámetros será crucial para su calidad.

1.3.4. Pérdida de peso

Es un indicador de la pérdida de agua, lo cual es un factor determinante en la calidad del producto a lo largo de su almacenamiento. La deshidratación del tomate produce una pérdida de apariencia visual y lo hace más susceptible a la descomposición. Esta pérdida de agua puede estar relacionada con ruptura de las membranas del fruto o con unas malas condiciones de almacenamiento entre otros factores.

1.3.5. Compuestos bioactivos

Los tomates presentan varios compuestos antioxidantes, entre ellos los ácidos fenólicos como puede ser el ácido cumárico, que desempeñan un papel en la protección contra el estrés oxidativo del fruto (Marchiosi et al., 2020). Durante la maduración estos compuestos tienden a aumentar contribuyendo así a una mayor capacidad antioxidante. Por lo que, el contenido de estos

compuestos será no solo un parámetro de maduración si no a su vez un parámetro de su calidad funcional.

1.3.6. Respiración y Etileno

La respiración es un parámetro relacionado con la maduración el cual nos da mucha información del metabolismo del fruto ya que tiende a aumentar con la maduración o con el estrés producido en el fruto. El tomate es un fruto climatérico, por lo que se producen en el fruto un pico de respiración y un pico de etileno al inicio de la maduración, donde la hormona vegetal, el etileno, es la responsable de los cambios que se producirán en el color, aroma, textura, flavor, así como otros cambios en el fruto (Domínguez et al., 2025).

1.4. PROBLEMÁTICA POSCOSECHA

El tomate es un fruto perecedero, lo cual implica una serie de retos en su manejo y conservación poscosecha. Se estima entre un 20-40 % de la producción de tomates se pierde cada año debido a los problemas de manejo poscosecha. Además del porcentaje restante, una parte llega al consumidor con una disminución de la calidad. Esto se debe a:

- Los daños por frío, debido a que almacenamiento en temperaturas inferiores a 10-12 °C pueden inducir daños irreversibles en el fruto como pérdida de firmeza, cambio de color hacia tonalidades verde marrón, aparición de manchas en la piel y pérdida de sabor (Rai et al., 2022). Así mismo, los daños por frío hace más vulnerables a los frutos contra infecciones fúngicas y bacterianas.
- Las pérdidas de peso como ya se ha mencionado provoca una disminución firmeza que deja el fruto más expuesto a la descomposición. Provocando así menores calibres, pesos y incluso encogimiento de piel y formación de arrugas que van a disminuir su calidad sensorial.
- La pérdida de la integridad de las membranas es un factor clave, ya que su degradación puede provocar la salida de enzimas como la pectinmetilesterasa o la poligalacturonasa que degradan las pectinas encargadas de mantener las células unidas (Jeong et al., 2018). Va a afectar a la fuerza principalmente, pero no únicamente, ya que conllevará también alteraciones del sabor, aroma y color.
- Los tomates son susceptibles a las enfermedades poscosecha, particularmente a las provocadas por hongos y bacterias. Las más comunes son el Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) o el desarrollo de moho por *Botrytis cinérea* (El Oirdi et al., 2011). También destaca la podredumbre blanda causada por *Pectobacterium carotovorum*, la cual

provoca una descomposición progresiva caracterizada por la maceración del tejido (Ahmed et al., 2017). Proliferan rápidamente en condiciones de humedad elevada y temperatura inadecuada acelerando el deterioro de los frutos y reduciendo su vida útil.

1.5. NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA MEJORA DE LA CALIDAD

El método más empleado para la conservación de tomate en poscosecha es el almacenamiento en frío, pero como se ha comentado, el tomate es un fruto que sufre daños por frío, es también susceptible a enfermedades y a pérdidas de calidad generales durante el manejo poscosecha, por lo que se han desarrollado diferentes métodos para paliar estas adversidades:

1.5.1. Atmosferas controladas y atmosferas modificadas

El empleo de atmosferas con altos niveles de CO₂ y bajos niveles de O₂ han mostrado efectos positivos en la vida útil de los tomates. Este método ha mostrado ser capaz de retrasar la maduración manteniendo la textura y el color (Majidi et al., 2014). Además, se le pueden aplicar otras tecnologías como la incorporación de eliminadores de etileno. Estos eliminadores han mostrado mayor impacto en el mantenimiento de las características de los frutos y por lo tanto mayor vida útil (Bailén et al., 2006; Martínez-Romero et al., 2007, 2009). Por otro lado, las atmosferas modificadas implican el uso de empaquetados especiales que alteran la composición de gases alrededor de los frutos. Estos, han mostrado ser efectivos retrasando la maduración y por lo tanto mejorando la conservación de los frutos gracias a el efecto barrera contra la pérdida de humedad, el intercambio de gases selectivo y el propio efecto barrera (Domínguez et al., 2016; Gil et al., 2002; Majidi et al., 2014)

1.5.2. Recubrimientos comestibles y películas protectoras

Este método ha ganado popularidad como una alternativa natural para extender la vida útil de frutos como el tomate. Son recubrimientos hechos de compuestos como el almidón, pectina, goma arábica, que actúan creando una barrera física la cual reduce contra la pérdida de agua y protege contra los patógenos (Zapata et al., 2008) Además, estos recubrimientos se pueden mejorar con el uso de distintas sustancias como pueden ser aceites esenciales, compuestos antimicrobianos o antioxidantes que dotan al recubrimiento con efecto añadido (Duguma, 2022; Maringgal et al., 2020)

1.5.3. 1-metilciclopropeno (1-MCP)

Actúa como inhibidor del etileno, a través de la unión con el receptor del etileno, impidiendo así su efecto. Es un compuesto no tóxico, con aplicación en forma de gas que ha mostrado efectos

positivos a la hora de alargar la vida útil a través del retraso de la maduración en diferentes frutos (Cocetta & Natalini, 2022; Maringgal et al., 2020; Paul & Pandey, 2013). Se ha probado también su uso en el tomate donde ha mostrado resultados favorables, destacando, el hecho de que su mejor aplicación es a frutos que han se encuentran en el estado óptimo de maduración debido a su capacidad para mantener las características del fruto durante el tiempo (Guillén et al., 2006). Su aplicación con otros compuestos como el GABA, ha mostrado resultados aún más prometedores ya que, a parte de los efectos positivos comentados, también ha mostrado resultados positivos contra los daños por frío y la incidencia de podredumbres (Ruiz-Aracil et al., 2024).

1.5.4. Otras tecnologías: microondas, ultrasonidos, irradiación

Las técnicas microondas y ultrasonidos son tecnologías emergentes que están mostrando buenos resultados en la conservación de la fruta, Estos tratamientos muestran ser efectivos reduciendo la carga patógena sin dañar los productos en el caso de los microondas (Garcia, 2013). El ultrasonido ha atraído mucho la atención debido a su fácil empleo, bajo coste y ausencia de contaminación. Es una tecnología que cambia las propiedades de los alimentos a través de ondas sonoras. Es uno de los métodos que más inconvenientes ha mostrado ya que sus efectos positivos sobre la actividad enzimática, limpieza, esterilización y bajo impacto en los parámetros de calidad, solo ocurren en condiciones muy específicas (Shu et al., 2024). El uso de irradiación gamma como alternativa para conservar y procesar alimentos ha demostrado ser una técnica prometedora (Bidawid et al., 2000). Consiste en exponer los alimentos a energía ionizante y haces de electrones y rayos X, por lo que es un método no térmico, seguro (al ser de baja emisión) y que ha mostrado se eficaz a la hora de mantener la calidad de los frutos y alargar su vida útil (Ayob et al., 2021).

1.5.5. Elicidores

Los elicitores son sustancias o compuestos que en pequeñas concentraciones inducen una respuesta de defensa o inmune en los frutos. Ejercen su acción al unirse a proteínas receptoras en las membranas celulares modulando vías metabólicas relacionadas con sistemas de resistencias adquiridos o inducidos en frutos a estreses abióticos y bióticos (Hidalgo et al., 2024; Khaliq et al., 2023). La aplicación de elicitores ha mostrado un papel para que frutos desarrollen procesos defensivos como la regulación de la actividad enzimática, la defensa celular contra el daño oxidativo y la tolerancia al estrés. Elicitores como jasmonato de metilo y ácido salicílico han mostrado resultados positivos induciendo mecanismos de defensa en frutos como el tomate ya que incrementó la biosíntesis de compuestos secundarios relacionados con la defensa de los frutos, como fue mejorando su respuesta contra el daño oxidativo sin alterar las características sensoriales de los frutos (Baek et al., 2023; Min et al., 2020). El ácido clorogénico (ACG), es uno de los polifenoles más estudiados debido a sus diversas funciones biológicas, su contenido en

tomates es variable durante su vida útil, pero se ha observado que tiende a disminuir conforme el fruto madura (Slimestad & Verheul, 2005). La reducción de este ácido puede afectar a la capacidad antioxidante del fruto, lo que a su vez influye en su firmeza y resistencia a enfermedades durante el almacenamiento. El ácido clorogénico es un polifenol que ha mostrado actividades antimicrobianas y antioxidantes por lo que presenta un gran potencial para su uso en poscosecha para prolongar la vida útil del tomate (Cao et al., 2020). A pesar de los beneficios potenciales, muchos estudios solo han evaluado el uso de extractos de polifenoles en diferentes frutas, mostrando resultados prometedores en la reducción de la senescencia y la mejora de la calidad poscosecha (Bai et al., 2022; Cao et al., 2020; Su et al., 2019; Xi et al., 2016; Zhang et al., 2023; Zhang et al., 2015). Sin embargo, el ACG no se ha probado en tomates para este propósito específico y tampoco para evaluar su efecto en la resistencia a los daños por frío del fruto.



2. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es evaluar el impacto del ácido clorogénico (ACG) como tratamiento poscosecha para mitigar el daño por frío en tomates (*Solanum lycopersicum* L.), mejorando su tolerancia a bajas temperaturas y preservando su calidad durante el almacenamiento. Para ello, se plantean los siguientes objetivos parciales:

- Evaluar la eficacia del ACG en la conservación poscosecha del tomate, midiendo su efecto en la textura, pérdida de peso y reducción de los síntomas de daño por frío durante el almacenamiento refrigerado.
- Determinar la dosis óptima de ACG para maximizar la calidad y estabilidad de los tejidos vegetales del tomate, así como de los compuestos bioactivos optimizando su conservación en la cadena de suministro.
- Evaluar el potencial del ACG como una solución natural para mejorar la sostenibilidad de los tratamientos poscosecha, promoviendo alternativas sostenibles y reduciendo la necesidad de productos sintéticos en la conservación de frutas y hortalizas.

De esta forma trataremos de evaluar el ACG como una herramienta que pudiera contribuir al desarrollo de estrategias de economía circular en la industria agroalimentaria, fomentando el uso de compuestos naturales de origen vegetal para reducir las pérdidas poscosecha, mejorar la eficiencia en el almacenamiento y disminuir el desperdicio de alimento.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL VEGETAL

El material vegetal utilizado en este estudio fueron tomates (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad 'Kabrera', recolectados manualmente en un huerto comercial ubicado en Águilas, Murcia (España). Los frutos fueron seleccionados en el estado de madurez verde y transportados el mismo día al laboratorio para su análisis. En el laboratorio, se llevó a cabo una selección rigurosa de los tomates, asegurando la uniformidad en términos de tamaño, color y ausencia de defectos visibles. Posteriormente, los frutos se dividieron en diferentes lotes homogéneos antes de la aplicación de los tratamientos con ACG y su posterior almacenamiento en condiciones controladas.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el experimento presentado en este Trabajo Final de Grado, se seleccionaron un total de 300 tomates (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad 'Kabrera'. Los frutos fueron organizados en cuatro grupos de tratamiento, los cuales se subdividieron en lotes de 15 tomates cada uno, correspondientes a cada día de muestreo. A su vez, cada lote fue dividido en tres réplicas de cinco frutos. Una vez organizados y seleccionados los distintos lotes de los diversos grupos experimentales, se procedió a la realización de los tratamientos. Estos consistieron en inmersiones durante 10 minutos en soluciones de ACG a concentraciones de 0, 10, 50 y 100 mg L⁻¹, todas ellas contenían Tween 20 al 0,05 % como agente dispersante. Después de la aplicación, los tomates se dejaron secar al aire a 20 °C durante una hora. Después de este secado los frutos se almacenaron a 8 °C con un 90 % de humedad relativa durante 0, 7, 14, 21 y 28 días, más un periodo adicional de 3 días más a 20 °C, momento en el que se analizaron las muestras. Estos análisis se detallan a continuación.

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 en cada día de muestreo. Se obtuvo un valor por cada réplica de cada tratamiento (n=3), permitiendo el seguimiento de la evolución de este parámetro a lo largo del tiempo. Las mediciones se realizaron utilizando 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.

3.3.2. Firmeza

La firmeza de los tomates se evaluó individualmente en cada fruto, utilizando un texturómetro TA-XT2i (Stable Microsystems, Godalming, Reino Unido), siguiendo un protocolo estándar para medir la resistencia del fruto a la deformación. Se utilizó una sonda plana en forma de plato de un diámetro de 100 mm que descendió a una velocidad 10 mm/s. Así se ejerció presión sobre la superficie de las zonas laterales del tomate hasta alcanzar un 5 % de deformación con respecto a su diámetro, registrando la fuerza necesaria para tal fin en Newtons mm^{-1} (N mm^{-1}).

3.3.3. Daños por frío

El daño por frío en los tomates fue evaluado mediante un análisis visual realizado por nueve evaluadores entrenados, quienes calificaron la severidad de los síntomas en la superficie del fruto utilizando una escala ordinal de 1 a 5:

- 1 = sin daño visible
- 2 = 1–25% de la superficie afectada
- 3 = 25–50% de la superficie afectada
- 4 = 50–75% de la superficie afectada
- 5 = más del 75% de la superficie afectada

La evaluación se realizó de forma individual en cinco frutos por réplica ($n=3$) en cada día de muestreo. Los síntomas de daño por frío analizados incluyeron decoloración, hundimientos, manchas acuosas y deterioro de la textura del tomate tras el almacenamiento en frío.

Para calcular el índice del daño por frío en los tomates con los datos recabados se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de daño por frío (\%)} = \frac{\sum(\text{Puntuación de la severidad del daño} \times \text{Número de frutos en esa categoría})}{\text{Número total de frutos evaluados} \times \text{Puntuación máxima de la escala (5)}} \times 100$$

3.3.4. Respiración y producción de etileno

En el proceso respiratorio, los tejidos vegetales consumen O_2 y liberan CO_2 , 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 CO_2 , mientras que la producción de etileno se evalúa como indicador del estado de maduración y senescencia.

Para la determinación de estos parámetros, se utilizó un sistema estático siguiendo la metodología y condiciones descritas en estudios previos (Martínez-Romero 2002). Los tomates enteros fueron colocados individualmente en recipientes herméticos de 3,7 L de capacidad, equipados con una válvula de elastómero para la toma de muestras gaseosas. Los frutos permanecieron en los recipientes durante 60 minutos a temperatura ambiente, tras lo cual se extrajeron 5 muestras de 1 mL del aire del espacio de cabeza con jeringas de gas. 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.

Para esta medición, las muestras fueron inyectadas en un cromatógrafo de gases Shimadzu 14B, Las condiciones de trabajo fueron:



Fotografía 1: Cromatógrafo de gases.

- 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 de etileno son las siguientes:

- Flujo del gas portador (He_2): 50 mL/min.
- Flujo de hidrógeno (H_2): 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.

Los resultados de etileno fueron expresados en $\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$, tomando como referencia un patrón de etileno de 10 ppm.

3.3.5. Evolución del color del fruto

La determinación del color se evaluó de forma individual para cada fruto. Se utilizó el sistema CIELab (L^* , a^* , b^*) mediante un colorímetro triestímulo Konica Minolta modelo CR400. 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 de color se describen a continuación:

- 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. El parámetro de color en el que se observó mayor impacto por parte de los tratamientos en los tomates fue el parámetro CIE L^* y en la cromaticidad (CIE $Croma^*$) que son los que se presentan en este estudio. El valor CIE $Croma^*$ permite calcular la intensidad y saturación del color a partir de los valores de a^* y b^* :

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



Fotografía 2: Colorímetro CRC 400 utilizado para medir el color

3.3.6. Fuga de electrolitos

Mediante la fuga de electrolitos pretendemos evaluar la integridad de las membranas celulares en los tomates. Para ello, se siguió el método descrito por Yuan et al. (2023) con ligeras modificaciones. Se tomaron 15 discos de tejido (1 cm de diámetro) conteniendo epidermis y la pulpa externa de cada fruto, eliminando la matriz interna para evitar interferencias.

Los discos fueron enjuagados tres veces con agua desionizada durante 3 minutos para eliminar electrolitos superficiales y posteriormente sumergidos en 50 mL de agua desionizada. La muestra se mantuvo en agitación a temperatura ambiente durante 1 hora, tras lo cual se midió la conductividad inicial (C1) con un conductímetro digital. Posteriormente, las muestras fueron autoclavadas a 121 °C durante 15 minutos para liberar los electrolitos totales y, tras enfriarse a temperatura ambiente, se midió la conductividad final (C2). La fuga de electrolitos se calculó con la siguiente fórmula:

$$Fuga\ de\ electrolitos = (C1/C2) \times 100$$

La conductividad del medio acuoso se evaluó utilizando un conductímetro Crison (Metrohm 664). 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.

3.3.7. Contenido en malondialdehido

El contenido de malondialdehído (MDA) en los tejidos del tomate se determinó siguiendo el método descrito por Zhang et al. (2019). Para ello se trituró manualmente una muestra de 2,5 g de tejido con un mortero y se mezcló con 10 mL de ácido tricloroacético al 10%.

Tras la homogenización, la mezcla fue centrifugada a 4 °C y 10.000 × g durante 20 minutos para separar el sobrenadante. De este sobrenadante, se tomaron 2 mL y se mezclaron con 6 mL de ácido tiobarbitúrico al 0,67 %, homogeneizando la solución antes de su análisis. Estas muestras fueron calentadas a 95 °C durante 20 minutos y posteriormente enfriadas a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 450, 532 y 600 nm utilizando 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 \pm ES de tres replicas, evaluadas por duplicado (n=3).

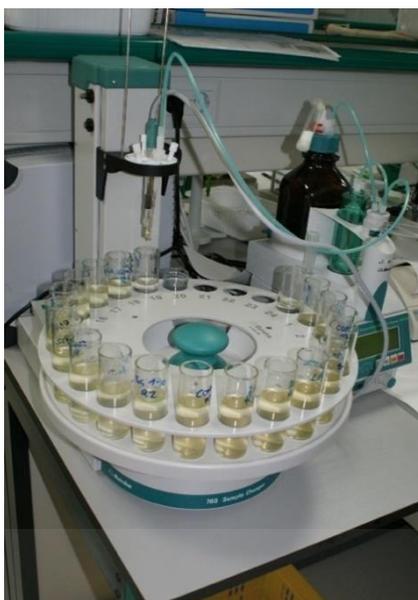
3.3.8. Contenido en sólidos solubles y acidez

Para la determinación de los sólidos solubles totales (SST), la mitad de cada tomate (alrededor de 50 gramos por cada réplica) se trocearon y las muestras se envolvieron en una tela de algodón para exprimirlas con la ayuda de un mortero obteniéndose un zumo filtrado homogéneo por réplica (n=3). Las mediciones se realizaron por duplicado utilizando un refractómetro Atago PR-101 (Atago Co., Ltd., Tokio, Japón) a 20 °C.



Fotografía 3: Refractómetro utilizado para medir los °Brix (SST).

Con el mismo zumo obtenido, se evaluó la acidez titulable (AT) en duplicado mediante la evaluación de 1 mL de zumo diluido en 25 mL de agua destilada (n=3) utilizando un medidor automático 785 DMP Titrino (Metrohm, Herisau, Suiza). Este dispositivo estuvo complementado con un cambiador de 24 posiciones modelo 760. Así se obtuvo el pH inicial y se realiza la valoración hasta un pH final de 8,1 con NaOH 0,1 N. Los resultados fueron expresados en g de sacarosa por 100 g de peso fresco y g de ácido cítrico equivalente por 100 g de peso fresco, respectivamente.



Fotografía 4: *Valorador automático Methrom, utilizado para determinar la acidez.*

3.3.9. Contenido en polifenoles totales

Para la determinación del contenido de polifenoles totales se siguió el método descrito por Lezoul et al. (2020) para tejidos vegetales. Así, la mitad restante de cada tomate fue pulverizada en nitrógeno líquido. Se tomaron 2 g de polvo de tomate congelado y se homogenizaron en 10 mL de una solución de metanol (8:2) con 2 mM de fluoruro de sodio, con el fin de inhibir la actividad de la polifenol oxidasa y evitar la degradación de los compuestos fenólicos. Para esta homogeneización se utilizó un homogeneizador Ultraturrax T18 basic (IKA, Berlín, Alemania). La mezcla se centrifugó a $10,000\times g$ a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos, y el sobrenadante obtenido se procesó en duplicado utilizando el reactivo de Folin–Ciocalteu. Para ello, se tomaron 200 μL del extracto, que fueron mezclados con 300 μL de una solución tampón de fosfato de 50 mM, 2.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y 2 mL de Na_2CO_3 1 N.

Tras agitar la mezcla, esta fue incubada en un baño de agua a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 5 minutos. Se preparó una muestra en blanco sustituyendo el extracto por la solución de metanol. La absorbancia se midió a 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-1700 (Shimadzu, Japón) por duplicado en cada réplica ($n=3$) de cada lote. Los resultados fueron expresados en mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por kg de peso fresco, utilizando una curva de calibración basada en estándares de ácido gálico.

3.3.10. Contenido en polifenoles individuales

Para el análisis de polifenoles individuales, se obtuvo una muestra por réplica mediante la extracción de 5 g de tomate pulverizado en 5 mL de metanol, utilizando el mismo homogeneizador Ultraturrax usado en la determinación anterior durante 1 minuto. Las muestras fueron centrifugadas a $10,000 \times g$ y $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos, filtradas a través de membranas de $0,22\text{ }\mu\text{m}$, y analizadas mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS/MS 8050, Shimadzu, Japón).

Las condiciones cromatográficas empleadas fueron:

- Columna Mediterranea SEA18 ($10\text{ mm} \times 0,21\text{ mm}$, $2,2\text{ }\mu\text{m}$, Teknokroma, Barcelona, España) a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Fase móvil: solución de $0,1\%$ de ácido fórmico en agua (fase A) y $0,1\%$ de ácido fórmico en acetonitrilo (fase B).

Programa de elución:

- 0–2 min: 5% fase B
- 2–10 min: 95% fase B
- 10–11 min: 95% fase B
- 11–12 min: 5% fase B
- 12–16 min: 5% fase B

Flujo: $0,400\text{ mL min}^{-1}$

Volumen de inyección: $10\text{ }\mu\text{L}$

Las condiciones aplicadas en el espectrómetro de masas fueron las siguientes:

Flujo del nebulizador: 3 L min^{-1}

Flujo del gas de secado: 10 L min^{-1}

Temperatura de la línea de desolvatación: $250\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura del bloque térmico: $400\text{ }^{\circ}\text{C}$

Energía de colisión: -35 V

Modo de escaneo de espectrometría de masas (MS full scan): $100\text{-}1000\text{ m/z}$

Los análisis se realizaron en triplicado, y los resultados se expresaron en mg de compuesto fenólico por kg de peso fresco, utilizando estándares externos para la cuantificación. El procesado de datos se llevó a cabo con el software LabSolutions LCMS versión 5.98 (Shimadzu, Japón).

3.3.11. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se expresaron como media \pm error estándar (SE) y fueron analizados mediante pruebas de análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias fueron identificadas mediante la prueba HSD de Tukey. Los tratamientos que mostraron diferencias significativas dentro del mismo período de muestreo se indicaron con letras minúsculas diferentes. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS, versión 22 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.).



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PÉRDIDAS DE PESO

Las pérdidas de peso afectan negativamente la calidad poscosecha de los tomates, ya que impactan su apariencia, textura y contenido de humedad, lo que a su vez puede influir en su aceptabilidad comercial. Este fenómeno se debe principalmente a la transpiración y la respiración del fruto durante el almacenamiento (Martínez-Romero et al., 2002). En este estudio, se observó un incremento progresivo de la pérdida de peso a lo largo del tiempo, con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tomates tratados con ACG y los frutos control. Los tratamientos con ACG lograron retrasar la deshidratación y reducir la tasa de pérdida de peso en comparación con los frutos no tratados (Figura 1). De hecho, no se observó un efecto significativo ($p > 0,05$) entre las concentraciones de ACG aplicadas ya que en general todas tuvieron un efecto similar. Después de 28 días de almacenamiento a 8 °C, los frutos control mostraron una pérdida de peso de $4,90 \pm 0,17$ %, un valor significativamente mayor ($p < 0,05$) en comparación con los frutos tratados con ACG a 10 y 50 mg L⁻¹, los cuales registraron pérdidas de $4,53 \pm 0,11$ % y $4,38 \pm 0,12$ % respectivamente.

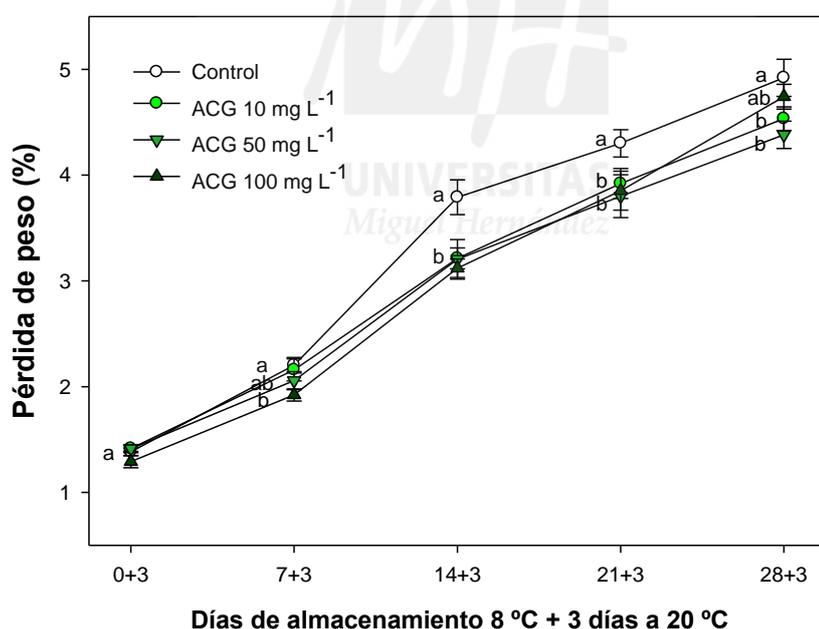


Figura 1. Pérdida de peso (%) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

La pérdida de peso en los tomates y otros productos frescos puede provocar cambios visibles cuando la reducción de agua alcanza entre 3 y 5 % (Yahia et al., 2019). En este estudio, el tratamiento con ACG resultó efectivo para retrasar este proceso, ayudando a mantener las propiedades visuales del fruto durante más tiempo. La pérdida de peso está principalmente relacionada con la transpiración, la cual puede verse acelerada por un metabolismo más elevado una menor integridad de los tejidos vegetales, lo que contribuye al ablandamiento del fruto (Baninaiem et al., 2023). Por otro lado, estudios previos han demostrado que la reducción de la pérdida de peso con tecnologías basadas en compuestos fenólicos está asociada con la regulación de la actividad enzimática ligada a la senescencia, un aumento en la actividad antioxidante y una mejora en la resistencia de los frutos. En este sentido, diferentes estudios han constatado que el uso de estos compuestos en manzana y lichi, respectivamente, favoreció la estabilidad estructural del tejido vegetal, lo que resultó en una mayor integridad de las membranas celulares y, en consecuencia, en una menor transpiración del fruto (Shu et al., 2020; Su et al. 2019). Estos hallazgos apoyan la hipótesis de que el ACG puede desempeñar un papel clave en la conservación poscosecha de los tomates, minimizando su deshidratación y prolongando su vida útil.

4.2. FIRMEZA

Las pérdidas de firmeza además de determinar la apariencia y aceptación de los tomates por el consumidor también influyen negativamente en la conservación del tomate ya que lo hace más sensible a sufrir daños mecánicos que eventualmente pueden dar lugar a roturas de tejidos y a un incremento en la incidencia de podredumbres. Como era de esperar, la firmeza fue reduciéndose a lo largo del almacenamiento (Figura 2).

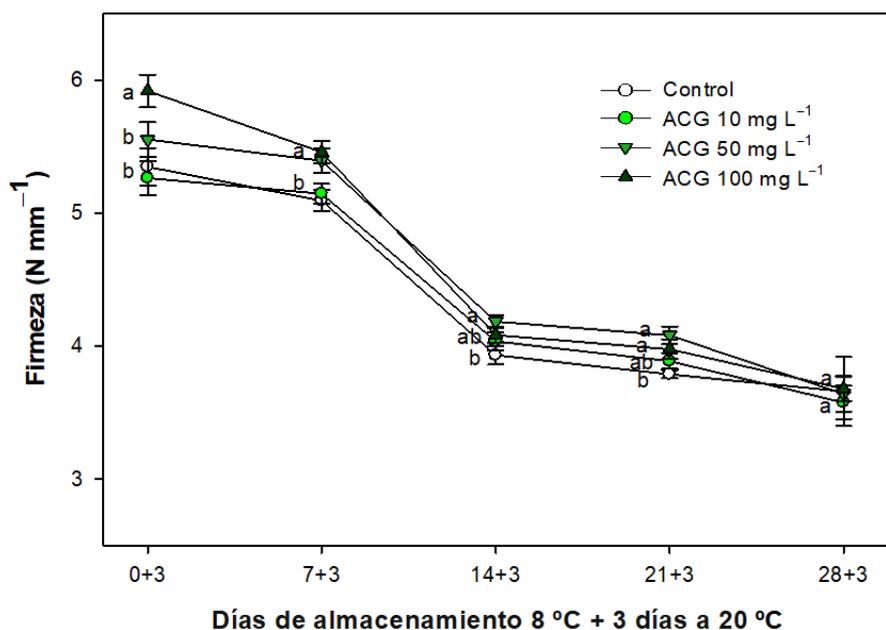


Figura 2. Evolución de la firmeza ($N\text{ mm}^{-1}$) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ más 3 días a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

Los tomates tratados con ACG mantuvieron valores de firmeza significativamente ($p < 0,05$) superiores con respecto a los frutos control a lo largo del todo el almacenamiento especialmente a las concentraciones más altas aplicadas (50 y 100 mg L^{-1}). Estas diferencias fueron particularmente mayores entre los frutos tratados con ACG y los frutos controles en el primer periodo de conservación durante los primeros 7 días de almacenamiento refrigerado más 3 días más a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El ablandamiento progresivo de los frutos es una de las principales consecuencias de la pérdida de peso durante el almacenamiento poscosecha (Baninaiem et al., 2023). En este sentido, diversas investigaciones han evidenciado que los tratamientos con ACG pueden ayudar a retrasar este deterioro al minimizar la deshidratación y mantener la firmeza del fruto. Por ejemplo, su aplicación en forma de recubrimiento comestible ha demostrado ser eficaz en lichi y albaricoques, mostrando un efecto dependiente de la dosis (Bai et al., 2022; Li et al., 2022). En el caso del lichi, la mejor concentración identificada fue de 50 mg L^{-1} , mientras que en manzanas se ha determinado que 100 mg L^{-1} es la dosis más adecuada para conservar su firmeza (Shu et al., 2020). Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan lo descrito por otros autores (Su et al., 2019), quienes sugieren que el ACG desempeña un papel clave en la protección de la integridad celular de los tejidos vegetales, reduciendo así la transpiración y la pérdida de agua. Este efecto se

relaciona con la modulación de enzimas implicadas en la senescencia y con un adecuado equilibrio antioxidante en las células del fruto. Como resultado, se previene la oxidación y el colapso de las membranas celulares, favoreciendo una mayor estabilidad estructural durante el almacenamiento (Shu et al., 2020; Du y He, 2024).

4.3. DAÑOS POR FRÍO

Las pérdidas de firmeza observadas anteriormente están directamente relacionadas con los daños por frío ya que la pérdida de integridad celular provoca necrosis de las células y el colapso de la actividad metabólica (Aghdam, 2013). En este sentido y tras evaluar este parámetro mediante evaluaciones visuales, pudimos comprobar como al igual que los parámetros descritos anteriormente las aplicaciones con ACG fueron eficaces en retrasar la evolución de los daños por frío. Aunque todas las concentraciones fueron efectivas en todas las evaluaciones realizadas, fueron las concentraciones mayores las que mejor controlaron los daños que causa en los tomates el almacenamiento a temperaturas subóptimas (Figura 3).

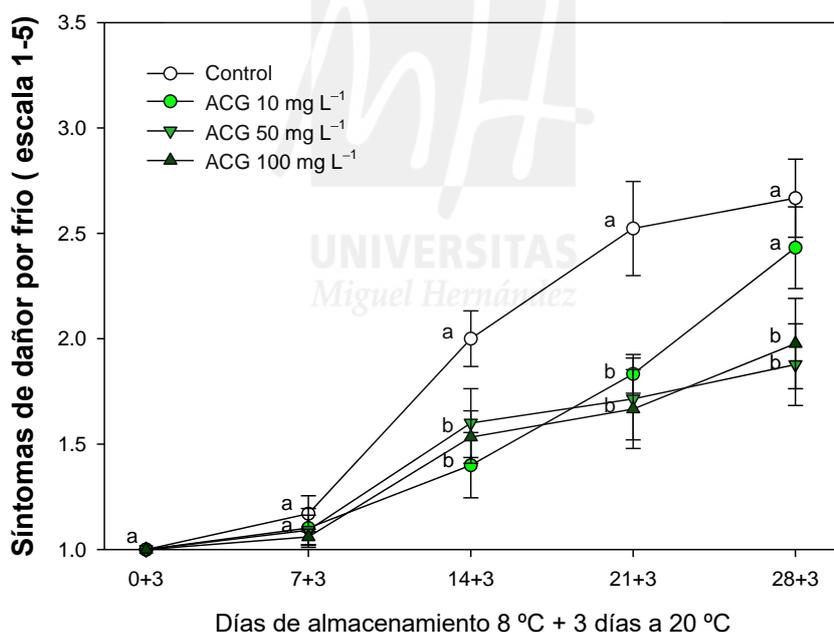


Figura 3. Evolución de los daños por frío (escala 1-5) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 20$).

Así, al final del experimento los valores de daños por frío alcanzaron valores de $2,66 \pm 0,18$ en los frutos controles mientras que los frutos tratados con 10, 50 y 100 mg L⁻¹ retrasaron este parámetro con valores de $2,43 \pm 0,19$, $1,87 \pm 0,18$ y $1,97 \pm 0,21$ respectivamente en dicho muestreo.

No existen estudios previos publicados en revistas científicas que hayan evaluado el ACG como una estrategia poscosecha para mejorar la tolerancia al frío durante el almacenamiento en frutas. Sin embargo, algunas investigaciones han demostrado que el uso de extractos de polifenoles y compuestos fenólicos puede ser eficaz en la reducción del pardeamiento en frutos como el lichi y el pomelo (Bai et al., 2022; Zhang et al., 2023) gracias a su capacidad para mitigar los procesos de oxidación. Por otro lado, se ha observado que los recubrimientos aplicados en tomates Cherry con extractos ricos en compuestos fenólicos favorecen un mayor contenido de polifenoles, lo que se ha vinculado con una menor incidencia de daño por frío, una disminución en la pérdida de peso y un ablandamiento más lento del fruto (Razali et al., 2021; Liu et al., 2023). Por todo ello, es posible que estos mecanismos contribuyan a explicar el efecto protector del ACG frente al estrés por frío en tomates, prolongando su calidad durante el almacenamiento.

4.4. RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO DEL FRUTO

Tras el almacenamiento en frío, tanto la producción de etileno como la respiración de los tomates mostraron una tendencia decreciente en todos los lotes evaluados (Figura 4). No obstante, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los frutos tratados con las concentraciones más altas de ACG y los frutos control, siendo estos últimos los que registraron los valores medios más elevados para estos parámetros metabólicos. En particular, la aplicación de concentraciones elevadas de ACG fueron las que lograron reducir en mayor medida tanto la respiración como la producción de etileno.

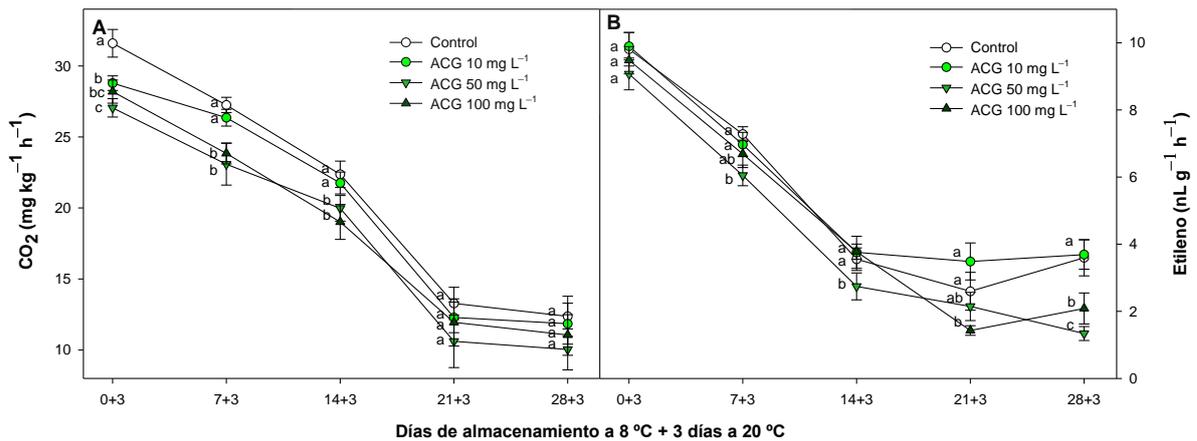


Figura 4. Evolución de la respiración ($\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) (A) y la producción de etileno ($\text{nL g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (B) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ más 3 días a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

La disminución en la respiración y en la síntesis de etileno está relacionada con una menor pérdida de peso y una mayor firmeza del fruto, aspectos clave en la calidad poscosecha. La reducción del etileno retrasa el proceso de maduración y senescencia, lo que se traduce en una mayor tolerancia al daño por frío en frutos tanto climatéricos como no climatéricos (Vittani et al., 2023; Medina-Santamarina et al., 2022), en línea con los resultados generales descritos previamente en este estudio. Una menor producción de etileno se asocia con una reducción del metabolismo y de las reacciones catabólicas. En este sentido, distintos autores demostraron en manzanas que la enzima responsable de la conversión de malato a piruvato y NADPH, sustratos fundamentales para la respiración en tomates y otros frutos, fue inhibida por una concentración de 50 mg L⁻¹ de ACG (Xi et al., 2017). Este efecto podría explicar la reducción en el metabolismo observada tras la aplicación de ACG, respaldando los hallazgos de Shu et al. (2020), quienes describieron un aumento en el balance energético celular en manzanas tratadas con ACG. En este contexto, diversas tecnologías innovadoras para reducir los daños por frío en tomate, tales como la aplicación poscosecha de jasmonato de metilo, han demostrado que mejorar el balance energético es un factor clave para controlar los daños por frío (Zhou et al., 2021).

4.5. EVOLUCIÓN DEL COLOR

El color del tomate es un atributo clave que influye tanto en los estándares comerciales como en la preferencia de los consumidores, por lo que su preservación es una prioridad para productores y distribuidores. En la poscosecha comercial, mantener el color es fundamental, ya que afecta directamente la percepción de calidad y demanda del producto. En este estudio, se analizaron distintos parámetros de color en los tomates, aunque solo se presentan aquellos que fueron modificados significativamente tras la aplicación de ACG. En términos de luminosidad (CIE L^*), los tratamientos con ACG retrasaron la evolución de este parámetro durante los tres primeros días a temperatura ambiente tras el almacenamiento refrigerado (Figura 5A). Sin embargo, estas diferencias desaparecieron con el tiempo, observándose únicamente en la concentración de 50 mg L⁻¹ al final del almacenamiento, tras 21 días de refrigeración y 3 días a 20 °C. En cuanto a la coordenada CIE b^* , que representa la tendencia hacia los tonos amarillos, también se observó un retraso en su evolución en comparación con los frutos control, especialmente en la fase inicial del experimento, aunque sin diferencias marcadas entre las concentraciones de ACG aplicadas (Figura 5B). Por otro lado, la intensidad o cromaticidad color CIE $Croma^*$ se vieron significativamente afectadas ($p < 0,05$) por los tratamientos con ACG, mostrando una evolución más lenta en las concentraciones más altas a lo largo del almacenamiento (Figura 5C).

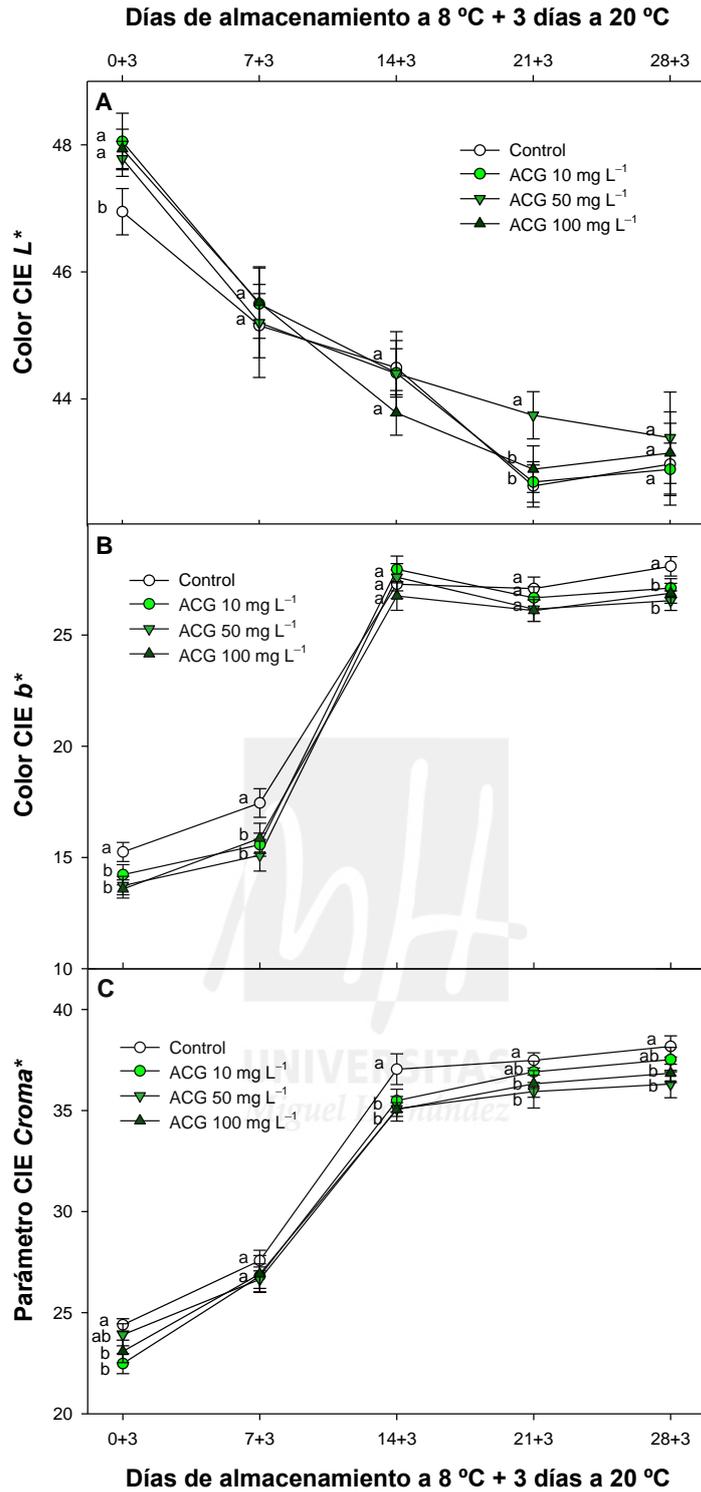


Figura 5. Evolución de los parámetros de color CIE L* (A) CIE b) (B) y CIE Chroma* (C) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

Estos resultados pueden estar relacionados con una menor producción de etileno, como se ha descrito previamente en este estudio en los frutos tratados con ACG. Dado que la detección de etileno es clave para la progresión de la maduración del tomate (Guillén et al., 2007), la evolución

más pausada de los valores del parámetro de color CIE L^* podría estar vinculada a una reducción en la pérdida de peso y a un ritmo de maduración más lento durante la poscosecha (Nunes y Emond, 2007). Si bien los tomates son ricos en polifenoles, su concentración es menor en comparación con la de los carotenoides, predominando flavonoides y ácidos fenólicos, entre los cuales el ACG es uno de los más abundantes (Martí et al., 2016). Estas moléculas no solo aportan beneficios nutricionales y funcionales, sino que también influyen en las propiedades sensoriales del tomate, incluida la estabilidad del color gracias a su acción antioxidante durante la maduración (Martí et al., 2016; Paolo et al., 2018). En este sentido, la aplicación de ACG en nectarinas como tratamiento poscosecha permitió retrasar todos los parámetros de color evaluados en concentraciones de 25 y 50 mg L⁻¹, siendo más evidente este efecto con la dosis más alta (Xi et al., 2017) lo que coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

4.6. EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN SÓLIDOS SOLUBLES Y

ACIDEZ

El contenido en sólidos solubles (principalmente azúcares solubles) y la acidez (contenido en ácidos orgánicos presentes) de las frutas afecta directamente a la organolepsia del producto vegetal y por tanto a la aceptación del consumidor siendo uno de los atributos más importantes a evaluar durante el almacenamiento de frutas y hortalizas. En este sentido, la evolución de los SST y la AT, que actúan como sustratos metabólicos, mostró un comportamiento característico durante el experimento mediado por un aumento del contenido en SST y un descenso de la AT (Figura 6).

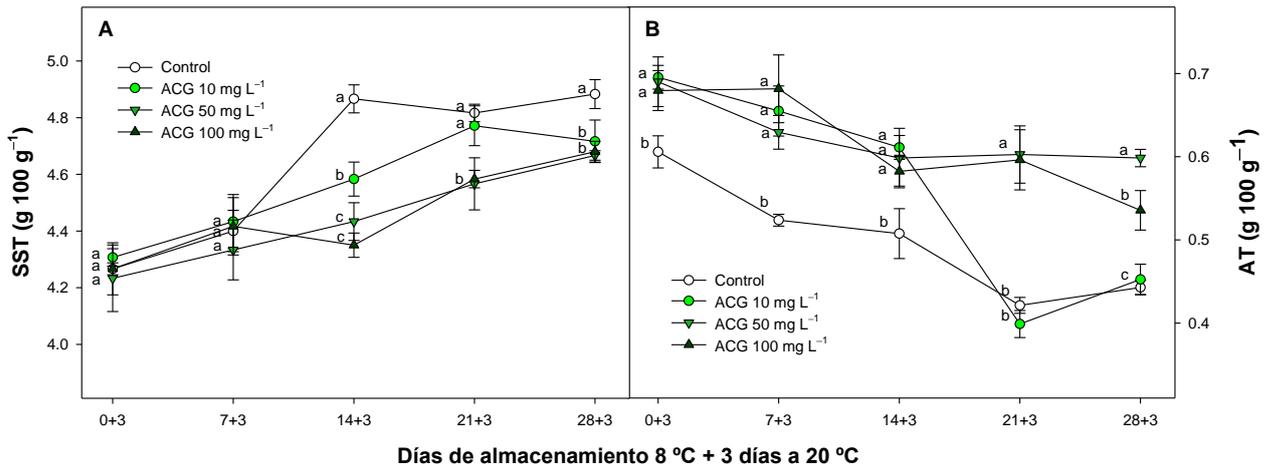


Figura 6. Evolución de los sólidos solubles totales (SST, g 100 g⁻¹) (A) y de la acidez titulable (AT, g 100 g⁻¹) (B) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

Sin embargo, los tratamientos poscosecha con ACG lograron retrasar significativamente ($p < 0,05$) tanto la acumulación de SST como el catabolismo de los ácidos orgánicos. Este efecto estaría relacionado con un proceso de maduración más lento, lo cual podría deberse a la menor tasa de respiración y producción de etileno tal y como hemos observado en nuestros anteriores resultados. Estos cambios metabólicos son característicos del proceso natural de maduración en esta especie, como se ha documentado anteriormente (Beckles, 2012).

El ACG podría estar implicado en la optimización del balance energético celular, un fenómeno previamente demostrado en manzanas (Shu et al., 2020), ya que contribuye a reducir la degradación acelerada de sustratos metabólicos (Xi et al., 2016). En este contexto, se ha observado que el mantenimiento de mayores niveles de SST y AT en diferentes especies frutales tras la aplicación de tratamientos poscosecha se asocia con una menor incidencia de daño por frío. Este efecto podría estar relacionado con la concentración de azúcares y ácidos orgánicos, como el ácido ascórbico y el ácido cítrico, ya que concentraciones más elevadas de estos compuestos han mostrado un efecto crioprotector en los tejidos vegetales (Wang et al., 2019; Boonyaritthongchai et al., 2017). Así, los mayores niveles observados de AT en los frutos tratados con ACG podrían estar influyendo en el retraso de la evolución de los daños por frío que se ha descrito anteriormente en este estudio.

4.7. CONTENIDO EN MDA Y FUGA DE ELECTROLITOS

El MDA es un marcador clave de la peroxidación lipídica, empleado como indicador del deterioro metabólico en los tejidos vegetales. Una mayor peroxidación lipídica de las membranas afectaría negativamente a la integridad celular incrementando la salida de electrolitos en los tejidos del tomate.

En el presente estudio, se evaluó la evolución del contenido de MDA a lo largo del almacenamiento, observándose una reducción significativa en los frutos tratados con ACG en comparación con los lotes control, especialmente a partir del séptimo día de almacenamiento y tras un período adicional de tres días a 20 °C (Figura 7A).

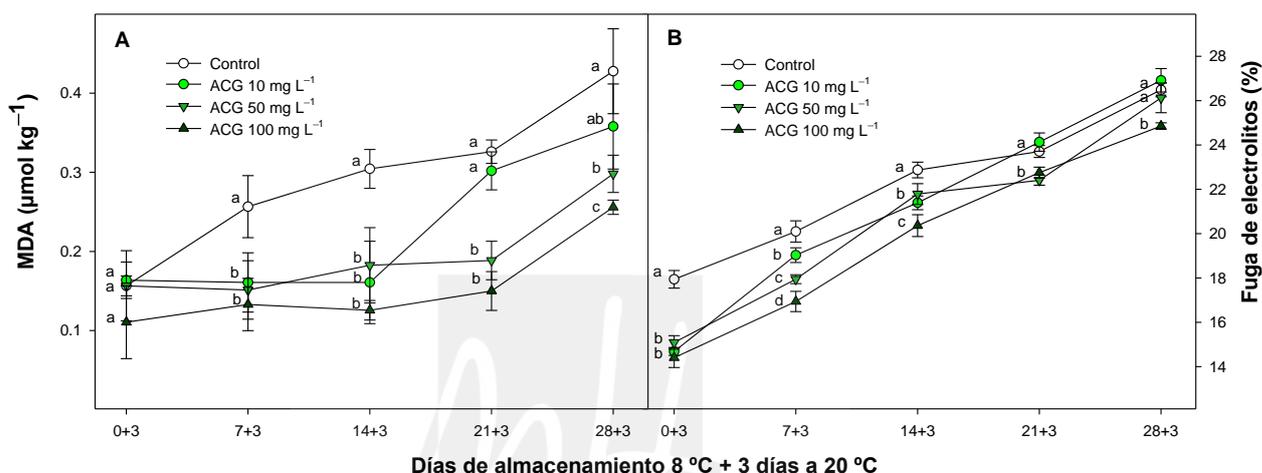


Figura 7. Evolución del contenido en malondialdehído (MDA, $\mu\text{mol kg}^{-1}$) (A) y de la fuga de electrolitos (%) (B) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

Es importante destacar que la eficacia del ACG en la reducción del MDA mostró una relación dependiente de la dosis, siendo más evidente después de dos semanas de almacenamiento en frío. Los frutos tratados con concentraciones más elevadas de ACG presentaron menores niveles de MDA, lo que sugiere una mayor estabilidad de la membrana celular y una menor susceptibilidad al daño oxidativo inducido por especies reactivas de oxígeno (ROS). Al final del estudio los valores observados de MDA en los frutos controles fueron de $0,42 \pm 0,05 \mu\text{mol kg}^{-1}$, los cuales fueron superiores a los observados en los frutos tratados con ACG donde se alcanzaron valores de $0,35 \pm 0,05$, $0,29 \pm 0,02$ y $0,25 \pm 0,01 \mu\text{mol kg}^{-1}$ para los lotes tratados con 10, 50 y 100 mg L⁻¹ respectivamente.

Estudios previos han descrito efectos similares en otros frutos. Fan et al. (2018) observaron que la aplicación de ACG en pitaya permitió mantener su calidad, reduciendo la oxidación gracias a la preservación de su actividad antioxidante. Por otro lado, la reducción en los ácidos grasos insaturados ha sido vinculada con alteraciones en los lípidos de membrana, afectando

negativamente la tolerancia al frío en diversas especies frutales (Cao et al., 2011; Jin et al., 2014). En este sentido, los cambios en la composición lipídica durante el almacenamiento refrigerado a temperaturas subóptimas pueden generar descompartimentalización celular y aumento de la fuga de electrolitos (Valdenegro et al., 2022) tal como se describe a continuación.

La evolución de la salida de electrolitos a lo largo del almacenamiento en los tomates siguió un patrón dosis-dependiente, evidenciando que las concentraciones más elevadas de ACG fueron más efectivas en la reducción de este parámetro a lo largo del estudio (Figura 7B). Los frutos control experimentaron un mayor flujo de iones, mostrando valores significativamente superiores en comparación con los frutos tratados con ACG, particularmente durante las dos primeras semanas de almacenamiento. La menor salida de electrolitos registrada en los frutos tratados con ACG podría explicar la reducción en la severidad del daño por frío observada previamente. En estudios anteriores, diversos autores han asociado una menor fuga de electrolitos con mayores niveles de compuestos fenólicos en los tejidos vegetales (Concellón et al., 2012; López-López et al., 2018) razón por la que estos compuestos bioactivos fueron evaluados en los tomates tratados y controles de este estudio.

4.8. CONTENIDO EN POLIFENOLES TOTALES

Durante el primer periodo de almacenamiento de los tomates, los niveles de polifenoles totales presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) siendo superiores en los frutos tratados con ACG que los observados en los frutos controles (Figura 8).

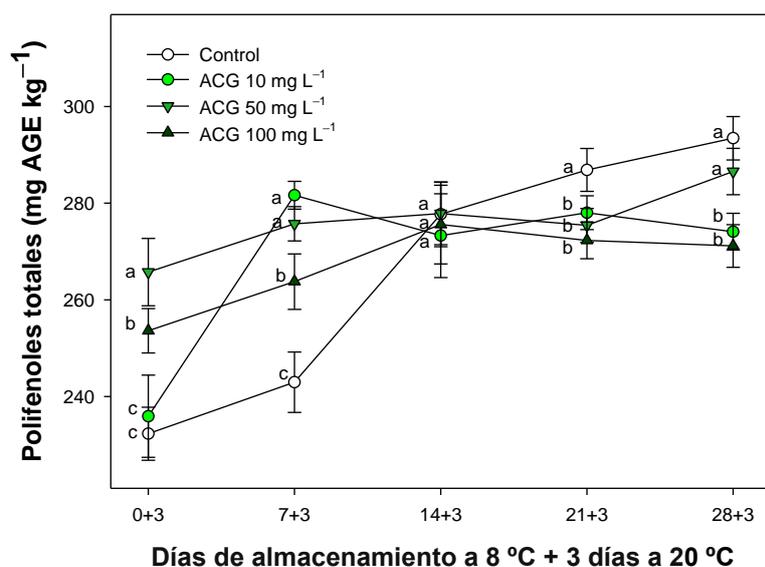


Figura 8. Contenido en polifenoles totales (mg equivalentes de ácido gálico kg⁻¹) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de ácido clorogénico durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

A medida que avanzó el almacenamiento, los niveles de polifenoles totales en todas las muestras tratadas con ACG mostraron un retraso en dicha evolución con respecto a los frutos control. Al concluir el estudio, se observó que tanto los frutos control como aquellos tratados con ACG (50 mg L⁻¹) alcanzaron los valores más altos de ($293,44 \pm 4,50$ mg GAE kg⁻¹ y $274,09 \pm 3,81$ mg GAE kg⁻¹, respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos ($p > 0,05$). No obstante, los frutos tratados con ACG a 10 y 100 mg L⁻¹ mostraron menores concentraciones de polifenoles totales en comparación con los frutos control al final del almacenamiento.

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con investigaciones previas, donde se ha observado un incremento del contenido en polifenoles totales durante la maduración en tomates (Slimestad et al., 2005; Anton et al., 2017). Así, se ha descrito que niveles elevados de estos compuestos bioactivos en tomate están relacionados con una menor incidencia de daño por frío después de tratamientos poscosecha como iluminación LED, radiación UV y tratamientos de choque con agua caliente (Martínez-Zamora et al., 2023; Liu et al., 2018; Delgado-Vargas et al., 2022). En otras especies frutales, un aumento en la concentración de polifenoles se ha asociado con una mayor resistencia al daño por frío debido a su capacidad para proteger las membranas celulares del estrés oxidativo (Populín et al., 2023). Para entender mejor los cambios observados a lo largo de la conservación de los tomates sobre los polifenoles, a continuación, se muestran y

discuten los niveles de los principales polifenoles individuales observados en nuestras muestras de tomate.

4.9. CONTENIDO EN POLIFENOLES INDIVIDUALES

El análisis de polifenoles individuales en los tomates tratados con ACG mostró que los compuestos mayoritarios fueron los isómeros de ácido cafeoilquínico (ACQ), siendo el ACG (3-O-ACQ) el más abundante, seguido por el ácido neoclorogénico (5-O-ACQ) y el ácido criptoclorogénico (4-O-ACQ). Entre los ácidos fenólicos, también se detectaron el ácido cafeico, ácido ferúlico y ácido *p*-cumárico, con el ácido *p*-cumárico presentando la menor concentración relativa (Figuras 9A-9F).

En cuanto a los flavonoides, el contenido en rutina fue el más representativo, con valores superiores a los observados para la quercetina, que mostró una concentración menor entre todos los compuestos fenólicos evaluados (Figuras 9G-9H).



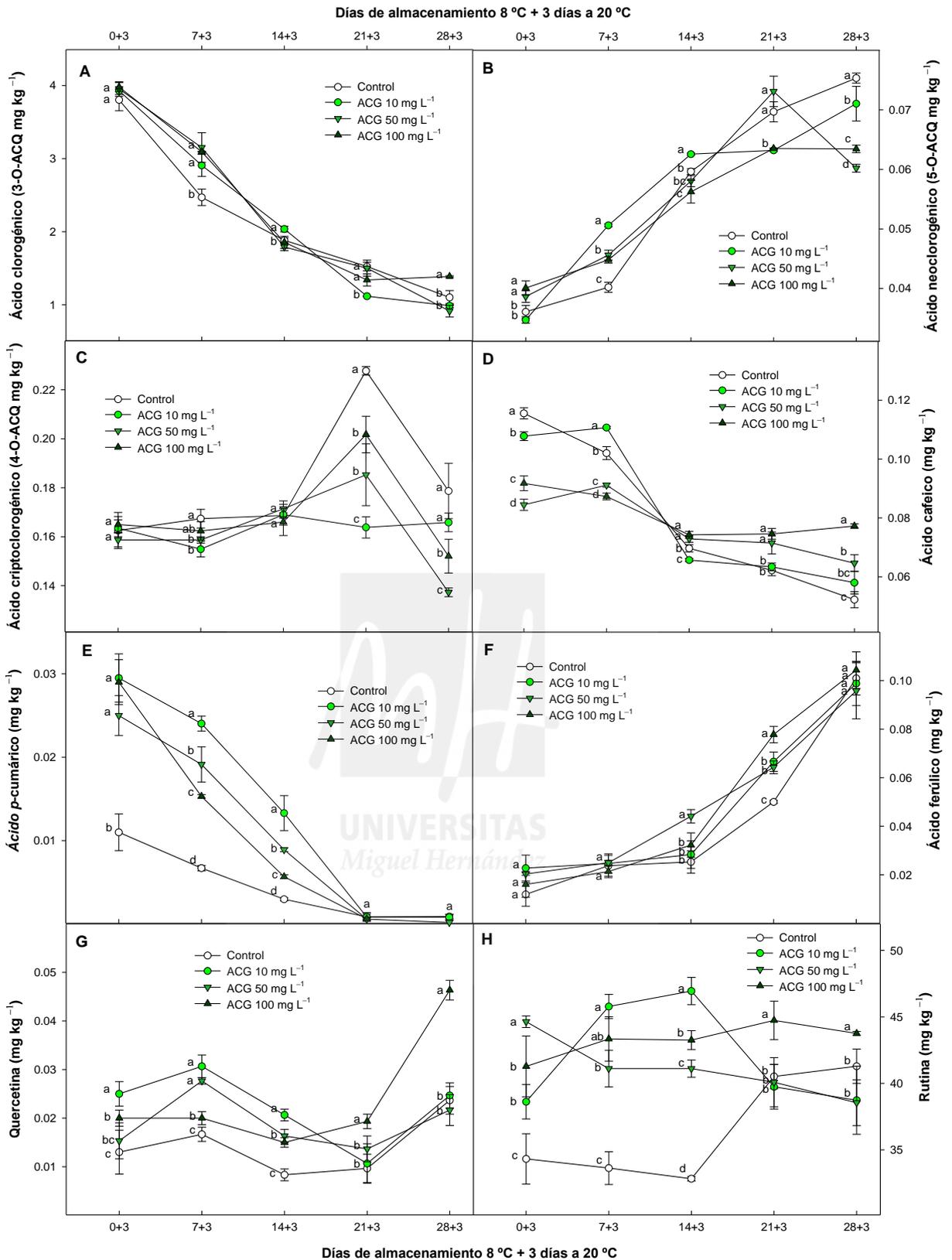


Figura 9. Contenido de compuestos fenólicos individuales (mg kg⁻¹) ácido clorogénico (A), ácido neoclorogénico (B), ácido criptoclorogénico (C), ácido cafeico (D), ácido p-cumárico (E), ácido ferúlico (F), quercetina (G) y rutina (H), evaluados en tomates control y tomates tratados con ácido clorogénico a diferentes concentraciones, almacenados a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media \pm error estándar ($n = 3$).

Se observó que los niveles de estos compuestos bioactivos variaron a lo largo del almacenamiento, con una tendencia dependiente de la dosis en relación con la aplicación de ACG. En particular, los frutos tratados con 50 mg L⁻¹ de ACG mantuvieron concentraciones elevadas de ácidos fenólicos y flavonoides a lo largo del período de almacenamiento, mientras que los frutos control y los tratados con concentraciones más bajas presentaron una mayor variabilidad en la evolución de sus niveles.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con investigaciones previas que han confirmado la presencia y evolución de polifenoles individuales en tomate durante la maduración y almacenamiento (Piccolo et al., 2024). Diversos estudios han indicado que el ACG y sus isómeros tienden a disminuir conforme avanza la maduración del fruto, lo cual está en línea con los patrones observados) en esta investigación (Gude et al., 2020). El efecto del ACG en la regulación de los compuestos fenólicos individuales puede estar relacionado con su papel en la modulación del metabolismo antioxidante. Se ha sugerido que la aplicación de ACG estimula la expresión de enzimas antioxidantes, lo que podría contribuir a un incremento en la biosíntesis de ciertos polifenoles y a una reducción en su degradación (Kalogeropoulos et al., 2012). En este contexto, la disminución de los niveles de ácidos cafeico, *p*-cumárico y ferúlico en los tomates control podría atribuirse a una mayor oxidación en ausencia del tratamiento con ACG (Liu et al., 2020).

Por otro lado, el incremento en la concentración de ciertos flavonoides, como la rutina, en los frutos tratados con ACG, sugiere un posible efecto protector del tratamiento, similar a lo reportado en estudios previos sobre otras especies frutales (Palumbo et al., 2024). Este fenómeno podría estar relacionado con la reducción del estrés oxidativo y del daño por frío ya que la acumulación de flavonoides ha sido asociada con una mayor resistencia al daño celular en condiciones de almacenamiento en frío (Populín et al., 2023). En general, los hallazgos de este estudio sugieren que la aplicación de ACG como tratamiento poscosecha en tomate tiene un impacto significativo en la composición fenólica del fruto, favoreciendo la estabilidad de ciertos compuestos con propiedades antioxidantes y contribuyendo a una mejor conservación de la calidad durante el almacenamiento.

5. CONCLUSIONES

Una vez evaluados los resultados de este estudio podemos concluir de forma general que el tratamiento poscosecha con ácido clorogénico es una estrategia prometedora para mitigar el daño por frío en tomates almacenados a bajas temperaturas, contribuyendo a mejorar su calidad y vida útil. Se observó que la aplicación de este polifenol de forma aislada redujo significativamente la pérdida de peso y el ablandamiento del fruto, con una eficacia más notable a una concentración de 50 mg L⁻¹, sin que dosis más altas proporcionaran beneficios adicionales en general.

Los tomates tratados con ácido clorogénico presentaron menores niveles de malondialdehído y de fuga de electrolitos lo que indica una mejor integridad de la membrana y una reducción del daño oxidativo. Estos hallazgos sugieren que este polifenol desempeña un papel clave en la regulación del metabolismo celular, mejorando la capacidad antioxidante del fruto y reduciendo la incidencia del daño por frío.

Con respecto al contenido de compuestos bioactivos, los frutos tratados con ácido clorogénico mostraron una mayor estabilidad en el contenido total de polifenoles y en ciertos polifenoles individuales, como la rutina y los isómeros del ácido clorogénico, lo que sugiere un efecto positivo del tratamiento en la preservación de los compuestos bioactivos del tomate.

Esta es la primera vez que se ha evaluado el impacto del ácido clorogénico como tecnología poscosecha para mejorar la tolerancia al frío en tomates, resaltando su potencial como una alternativa natural y sostenible para el control de los desórdenes fisiológicos y la prolongación del almacenamiento en frío. El uso de este polifenol como tratamiento poscosecha podría representar una alternativa sostenible que podría reducir la dependencia de productos de origen artificial en la conservación de frutas y hortalizas, contribuyendo a una cadena de suministro más eficiente y con menor impacto ambiental.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Aghdam, S. M. (2013). Mitigation of postharvest chilling injury in tomato fruit by prohexadione calcium. *Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1029–1033.
- Ahmed, F. A., Arif, M., & Alvarez, A. M. (2017). Antibacterial effect of potassium tetraborate tetrahydrate against soft rot disease agent *Pectobacterium carotovorum* in tomato. *Frontiers in Microbiology*, 8(SEP). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01728>
- Alberts, A., Moldoveanu, E. T., Niculescu, A. G., & Grumezescu, A. M. (2025). Vitamin C: A comprehensive review of its role in health, disease prevention, and therapeutic potential. *Molecules*, 30(3), 748. <https://doi.org/10.3390/molecules30030748>
- Amr, A., & Raie, W. (2022). Tomato Components and Quality Parameters. A Review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 18(3). <https://doi.org/10.35516/jjas.v18i3.444>
- Anton, D., Bender, I., Kaart, T., Roasto, M., Heinonen, M., Luik, A., & Püssa, T. (2017). Changes in polyphenols contents and antioxidant capacities of organically and conventionally cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits during ripening. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 2367453. <https://doi.org/10.1155/2017/2367453>
- Ayob, O., Hussain, P. R., Suradkar, P., & Naqash, F. (2021). Gamma irradiation and storage effects on quality and safety of Himalayan paprika (*Waer*). *LWT - Food Science and Technology*, 147, 111667. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111667>
- Baek, M. W., Choi, H. R., Lee, H. C., Lee, J. H., Lee, O. H., Hong, J. S., Jeong, C. S., & Tilahun, S. (2023). Preharvest methyl jasmonate and salicylic acid treatments improve the nutritional qualities and postharvest storability of tomato. *Scientia Horticulturae*, 321, 112332. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2023.112332>
- Bai, X. Y., Yang, Z. M., Shen, W. J., Shao, Y. Z., Zeng, J. K., & Li, W. (2022). Polyphenol treatment delays the browning of litchi pericarps and promotes the total antioxidant capacity of litchi fruit. *Scientia Horticulturae*, 291, 110563. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110563>
- Bailén, G., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D., & Martínez-Romero, D. (2006). Use of activated carbon inside modified atmosphere packages to maintain tomato fruit quality during cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(6). <https://doi.org/10.1021/jf0528761>
- Baninaiem, E., & Dastjerdi, A. M. (2023). Enhancement of storage life and maintenance of quality in tomato fruits by preharvest salicylic acid treatment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1180243. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1180243>

- Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest biology and technology*, 63(1), 129-140.
- Bergougnot, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170–189. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2013.11.003>
- Bidawid, S., Farber, J. M., & Sattar, S. A. (2000). Inactivation of hepatitis A virus (HAV) in fruits and vegetables by gamma irradiation. *International Journal of Food Microbiology*, 57(1–2), 91–97. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00235-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00235-X)
- Boonyaritthongchai, P., & Supapvanich, S. (2017). Effects of methyl jasmonate on physicochemical qualities and internal browning of ‘queen’ pineapple fruit during cold storage. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 58, 479–487. <https://doi.org/10.1007/s13580-017-0009-6>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.017>
- Cao, X., Islam, M. N., Chitrakar, B., Duan, Z., Xu, W., & Zhong, S. (2020). Effect of combined chlorogenic acid and chitosan coating on antioxidant, antimicrobial, and sensory properties of snakehead fish in cold storage. *Food Science and Nutrition*, 8(2). <https://doi.org/10.1002/fsn3.1378>
- Causse, M., Friguet, C., Coiret, C., LéPicier, M., Navez, B., Lee, M., Holthuysen, N., Sinesio, F., Moneta, E., & Grandillo, S. (2010). Consumer Preferences for Fresh Tomato at the European Scale: A Common Segmentation on Taste and Firmness. *Journal of Food Science*, 75(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01841.x>
- Cocetta, G., & Natalini, A. (2022). Ethylene: Management and breeding for postharvest quality in vegetable crops. A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 968315. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.968315>
- Collins, E. J., Bowyer, C., Tsouza, A., & Chopra, M. (2022). Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. *Biology*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/biology11020239>
- Concellón, A., Zaro, M. J., Chaves, A. R., & Vicente, A. R. (2012). Changes in quality and phenolic antioxidants in dark purple American eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Lucía) as affected by storage at 0 °C and 10 °C. *Postharvest Biology and Technology*, 66, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.11.008>
- Delgado-Vargas, F., Vega-Álvarez, M., Landeros Sánchez, A., López-Angulo, G., Salazar-Salas, N. Y., Quintero-Soto, M. F., Pineda-Hidalgo, K. V., & López-Valenzuela, J. A. (2022). Metabolic

- changes associated with chilling injury tolerance in tomato fruit with hot water pretreatment. *Journal of Food Biochemistry*, 46(2), e14056. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14056>
- Domínguez, I., del Río, J. L., Ortiz-Somovilla, V., & Cantos-Villar, E. (2025). Technological innovations for reducing tomato loss in the agri-food industry. *Food Research International*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115798>
- Domínguez, I., Lafuente, M. T., Hernández-Muñoz, P., & Gavara, R. (2016). Influence of modified atmosphere and ethylene levels on quality attributes of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Food Chemistry*, 209, 211–219. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.04.049>
- Du, H., & He, L. (2024). Synergistic improvement of antioxidant and antibacterial properties of carbon quantum complexes with zinc doping and chlorogenic acid for longan preservation. *Food Chemistry*, 439, 138169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138169>
- Duguma, H. T. (2022). Potential applications and limitations of edible coatings for maintaining tomato quality and shelf life. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 1353–1366. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15407>
- El Oirdi, M., El Rahman, T. A., Rigano, L., El Hadrami, A., Rodriguez, M. C., Daayf, F., & Bouarab, K. (2011). Botrytis cinerea manipulates the antagonistic effects between immune pathways to promote disease development in tomato. *The Plant Cell*, 23(6), 2405–2421. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.087104>
- Eslami, E., Carpentieri, S., Pataro, G., & Ferrari, G. (2023). A comprehensive overview of tomato processing by-product valorization by conventional methods versus emerging technologies. *Foods*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/foods12010166>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.098>
- Garcia, M. M. L. (2013). Impact of Microwave Processing on Quality of High Value Shelf Stable Fruit Products. *Open Access Theses, Paper 48*.
- Gil, M. I., Conesa, M. A., & Artés, F. (2002). Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 25(2), 199–207. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00166-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00166-1)
- Gude, K. M., Rajashekar, C. B., Cunningham, B., Kang, Q., Wang, W., Lee, M., Rivard, C. L., & Pliakoni, E. D. (2020). Effect of high tunnel coverings on antioxidants of breaker and light red tomatoes at harvest and during ripening. *Agronomy*, 10(11), 1639. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111639>

- Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Martínez-Romero, D., Serrano, M., & Valero, D. (2007). Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit. 1. Duration and concentration of 1-MCP treatment to gain an effective delay of postharvest ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 43(1), 23–27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.07.003>
- Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Martínez-Romero, D., Valero, D., & Serrano, M. (2006). Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit: 2. Effect of cultivar and ripening stage at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 42(3), 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.07.005>
- Hidalgo, C., Ruiz-Moyano, S., Serradilla, M. J., Galván, A. I., & Rodríguez, A. (2024). Elicitors: impact on the fungal pathogenicity and colonization in fruits. *Current Opinion in Food Science*, 60, 101233. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2024.101233>
- Jaramillo Noreña, J. E., Rodríguez, V. P., Aguilar Aguilar, P. A., Restrepo, J. F., Guzmán Arroyave, M., & Zapata Cuartas, M. A. (2012). *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. ISBN 978-958-740-120-2.
- Jeong, H. Y., Nguyen, H. P., Eom, S. H., & Lee, C. (2018). Integrative analysis of pectin methylesterase (PME) and PME inhibitors in tomato (*Solanum lycopersicum*): Identification, tissue-specific expression, and biochemical characterization. *Plant physiology and biochemistry*, 132, 557–565.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.070>
- Kalogeropoulos, N., Chiou, A., Pyriochou, V., Peristeraki, A., & Karathanos, V. T. (2012). Bioactive phytochemicals in industrial tomatoes and their processing byproducts. *LWT - Food Science and Technology*, 49(1), 213–216. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.013>
- Khaliq, G., Ali, S., Gapper, N., & Nicola, S. (2023). Editorial: Recent advances and approaches in the application of elicitors to enhance resistance mechanisms in fresh produce. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 6). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1061079>
- Knee, & Oria. (2008). *Bases biológicas de la calidad de la fruta*. Acribia.
- Kumar, M., Tomar, M., Bhuyan, D. J., Punia, S., Grasso, S., Sá, A. G. A., Carciofi, B. A. M., Arrutia, F., Changan, S., Radha, Singh, S., Dhumal, S., Senapathy, M., Satankar, V., Anitha, T., Sharma, A., Pandiselvam, R., Amarowicz, R., & Mekhemar, M. (2021). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seed: A review on bioactives and biomedical activities. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 142, 112018. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112018>

- 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*, 4672. <https://doi.org/10.3390/molecules25194672>
- Li, F., Yan, Y., Gu, C., Sun, J., Han, Y., Huangfu, Z., Song, F., & Chen, J. (2022). Preparation and characterization of phenolic acid-chitosan derivatives as an edible coating for enhanced preservation of Saimaiti apricots. *Foods*, *11*, 3548. <https://doi.org/10.3390/foods11113548>
- Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of postharvest UV-C irradiation on phenolic acids, flavonoids, and key phenylpropanoid pathway genes in tomato fruit. *Scientia Horticulturae*, *241*, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.020>
- Liu, G., Chen, B., Liu, H., Wang, X., Zhang, Y., Wang, C., Liu, C., Zhong, Y., & Qiao, Y. (2023). Effects of hydroxyethyl cellulose and sulfated rice bran polysaccharide coating on quality maintenance of cherry tomatoes during cold storage. *Foods*, *12*, 3156. <https://doi.org/10.3390/foods12103156>
- Liu, X., Ji, D., Cui, X., Zhang, Z., Li, B., Xu, Y., Chen, T., & Tian, S. (2020). p-Coumaric acid induces antioxidant capacity and defense responses of sweet cherry fruit to fungal pathogens. *Frontiers in Plant Science*, *169*, 111297. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.111297>
- López-López, M. E., López-Valenzuela, J. A., Delgado-Vargas, F., López-Angulo, G., Carrillo-López, A., Ayón-Reyna, L. E., & Vega-García, M. O. (2018). A treatment combining hot water with calcium lactate improves the chilling injury tolerance of mango fruit. *HortScience*, *53*(2), 217–223. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12833-17>
- Majidi, H., Minaei, S., Almassi, M., & Mostofi, Y. (2014). Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9). <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0721-0>
- Marchiosi, R., dos Santos, W. D., Constantin, R. P., de Lima, R. B., Soares, A. R., Finger-Teixeira, A., Mota, T. R., de Oliveira, D. M., Foletto-Felipe, M. P., Abrahão, J., Abrahão, J., & Ferrarese-Filho, O. (2020). Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants. *Phytochemistry Reviews*, *19*(4), 865–906. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09689-2>
- Maringgal, B., Hashim, N., Mohamed Amin Tawakkal, I. S., & Muda Mohamed, M. T. (2020). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends in Food Science and Technology*, *96*, 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024>
- Martí, R., Roselló, S., & Cebolla-Cornejo, J. (2016). Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. *Cancers*, *8*(2), 58. <https://doi.org/10.3390/cancers8020058>
- Martínez-Romero, D., Bailén, G., Serrano, M., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P., Castillo, S., & Valero, D. (2007). Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition

of ethylene action: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(6).
<https://doi.org/10.1080/10408390600846390>

Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Valero, D., & Serrano, M. (2009). Effect of ethylene concentration on quality parameters of fresh tomatoes stored using a carbon-heat hybrid ethylene scrubber. *Postharvest Biology and Technology*, 51(2), 206–211.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2008.07.011>

Martínez-Romero, D., Serrano, M., Carbonell, A., Burgos, L., Riquelme, F., & Valero, D. (2002). Effects of postharvest putrescine treatment on extending shelf life and reducing mechanical damage in apricot. *Food Chemistry and Toxicology*, 67, 1706–1712. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00043-6](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00043-6)

Martínez-Zamora, L., Castillejo, N., & Artés-Hernández, F. (2023). Effect of postharvest visible spectrum LED lighting on quality and bioactive compounds of tomatoes during shelf life. *LWT - Food Science and Technology*, 174, 114420. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114420>

Medina-Santamarina, J., Serrano, M., Ruiz-Aracil, M. C., Ilea, M. I. M., Martínez-Romero, D., & 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, 2784. <https://doi.org/10.3390/foods11182784>

Min, D., Li, Z., Ai, W., Li, J., Zhou, J., Zhang, X., Mu, D., Li, F., Li, X., & Guo, Y. (2020). The Co-regulation of Ethylene Biosynthesis and Ascorbate-Glutathione Cycle by Methyl Jasmonate Contributes to Aroma Formation of Tomato Fruit during Postharvest Ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(39). <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04519>

Monforte, A. J., Diaz, A., Caño-Delgado, A., & van der Knaap, E. (2014). The genetic basis of fruit morphology in horticultural crops: Lessons from tomato and melon. *Journal of Experimental Botany*, 65(16). <https://doi.org/10.1093/jxb/eru017>

Naureen, Z., Dhuli, K., Donato, K., Aquilanti, B., Velluti, V., Matera, G., Iaconelli, A., & Bertelli, M. (2022). Foods of the Mediterranean diet: tomato, olives, chili pepper, wheat flour and wheat germ. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 63(2). <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2740>

Nunes, C. N., & Emond, J. P. (2007). Relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 120, 235–245.

Palumbo, M., Cefola, M., Pace, B., Ricci, I., Siano, F., Amato, G., Stocchero, M., & Cozzolino, R. (2024). Volatile metabolites to assess the onset of chilling injury in fresh-cut nectarines. *Foods*, 13(6), 1047. <https://doi.org/10.3390/foods13061047>

- Paolo, D., Bianchi, G., Scalzo, R. L., Morelli, C. F., Rabuffetti, M., & Speranza, G. (2018). The chemistry behind tomato quality. *Natural Product Communications*, *13*(9), 1225–1232. <https://doi.org/10.1177/1934578X1801300927>
- Paul, V., & Pandey, R. (2013). Delaying tomato fruit ripening by using 1-methylcyclopropene (1-MCP) for better postharvest management: Current status and prospects in India. *Indian Journal of Plant Physiology*, *18*(3), 195–207. <https://doi.org/10.1007/s40502-013-0039-6>
- Piccolo, V., Maisto, M., Schiano, E., Iannuzzo, F., Keivani, N., Rigano, M. M., Santini, A., Novellino, E., Tenore, G. C., & Summa, V. (2024). Phytochemical investigation and antioxidant properties of unripe tomato cultivars (*Solanum lycopersicum* L.). *Food Chemistry*, *438*, 137863. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137863>
- Populin, F., Vittani, L., Zanella, A., Stuerz, S., Folie, I., Khomenko, I., Biasioli, F., Scholz, M., Masuero, D., & Vrhovsek, U. (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>
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P., & Lutts, S. (2019). Tomato fruit development and metabolism. *Frontiers in Plant Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>
- Rai, A., Kumari, K., & Vashistha, P. (2022). Umbrella review on chilling injuries: Post-harvest issue, cause, and treatment in tomato. *Scientia Horticulturae*, *293*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110710>
- Razali, Z., Somasundram, C., Nurulain, S. Z., Kunasekaran, W., & Alias, M. R. (2021). Postharvest quality of cherry tomatoes coated with mucilage from dragon fruit and irradiated with UV-C. *Polymers*, *13*(11), 2919. <https://doi.org/10.3390/polym13112919>
- Ruiz-Aracil, M. C., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., & Valverde, J. M. (2024). The Application of 1-MCP in Combination with GABA Reduces Chilling Injury and Extends the Shelf Life in Tomato (Cv. Conquista). *Agriculture*, *14*(11), 2040.
- 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*, 110997. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.110997>

- Shu, Z. W., Wang, S. M., Xu, W. W., Wang, N., Pan, Z. Q., Xu, Y. D., & Wu, N. N. (2024). Research progress of ultrasound technology and its combined application in fruit and vegetable storage. *Acta Alimentaria*, 53(4), 513–536.
- Slimestad, R., & Verheul, M. J. (2005). Content of chalconaringenin and chlorogenic acid in cherry tomatoes is strongly reduced during postharvest ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(18), 7251–7256. <https://doi.org/10.1021/jf050737d>
- 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, 110976. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110976>
- Tufail, T., Bader Ul Ain, H., Noreen, S., Ikram, A., Arshad, M., & Abdullahi, M. (2024). Nutritional Benefits of Lycopene and Beta-Carotene: A Comprehensive Overview. *Food Science and Nutrition*, 12(11), 8715–8741. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4502>
- Valdenegro, M., Fuentes, L., Bernales, M., Huidobro, C., Monsalve, L., Hernández, I., Schelle, M., & Simpson, R. (2022). Antioxidant and fatty acid changes in pomegranate peel with induced chilling injury and browning by ethylene during long storage times. *Frontiers in Plant Science*, 13, 771094. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.771094>
- Vittani, L., Populin, F., Stuerz, S., Buehlmann, A., Khomenko, I., Biasioli, F., Bühlmann-Schütz, S., Vrhovsek, U., Masuero, D., & Zanella, A. (2023). Comparative transcriptome and metabolite survey reveal key pathways involved in the control of the chilling injury disorder superficial scald in two apple cultivars, ‘Granny Smith’ and ‘Ladina’. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1150046. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1150046>
- Wang, L., Shan, T., Xie, B., Ling, C., Shao, S., Jin, P., & Zheng, Y. (2019). Glycine betaine reduces chilling injury in peach fruit by enhancing phenolic and sugar metabolisms. *Food Chemistry*, 272, 530–538. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.045>
- Wasim, S. M., & Singh, J. P. (2015). Compositional alterations in tomato products during storage. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 19(2), 82–87.
- Xi, Y., Cheng, D., Zeng, X., Cao, J., & Jiang, W. (2016). Evidence for chlorogenic acid—a major endogenous polyphenol involved in regulation of ripening and senescence of apple fruit. *PLOS ONE*, 11(1), e0146940. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146940>
- Xi, Y., Fan, X., Zhao, H., Li, X., Cao, J., & Jiang, W. (2017). Postharvest fruit quality and antioxidants of nectarine fruit as influenced by chlorogenic acid. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.030>

- 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*(9), e0182494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182494>
- Yahia, E. M., Fonseca, J. M., & Kitinoja, L. (2019). Postharvest losses and waste. In *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities* (pp. 1–35). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815507-5.00001-3>
- Yuan, F., Wang, C., Yi, P., Li, L., Wu, G., Huang, F., Huang, M., & Gan, T. (2023). The effects of combined 1-methylcyclopropene and melatonin treatment on the quality characteristics and active oxygen metabolism of mango fruit during storage. *Foods*, *12*, 1979. <https://doi.org/10.3390/foods12121979>
- Zapata, P. J., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Serrano, M. (2008). Use of alginate or zein as edible coatings to delay postharvest ripening process and to maintain tomato (*Solanum lycopersicon* Mill) quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(7). <https://doi.org/10.1002/jsfa.3220>
- Zhang, M., Liu, W., Li, C., Shao, T., Jiang, X., Zhao, H., & Ai, W. (2019). Postharvest hot water dipping and hot water forced convection treatments alleviate chilling injury for zucchini fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, *249*, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.039>
- Zhang, Y. J., Huang, Q., Li, A. R., Gan, Z. Y., Zeng, J. K., Kai, W. B., Chen, C. Y., & Chen, J. Y. (2023). Apple polyphenols delay postharvest senescence and quality deterioration of ‘Jinshayou’ pummelo fruit during storage. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1117106. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1117106>
- Zhang, Z., Huber, D. J., Qu, H., Yun, Z., Wang, H., Huang, Z., Huang, H., & Jiang, Y. (2015). Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols. *Food Chemistry*, *171*, 191–199. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.09.001>
- Zhou, J., Min, D., Li, Z., Fu, X., Zhao, X., Wang, J., Zhang, X., Li, F., & Li, X. (2021). Effects of chilling acclimation and methyl jasmonate on sugar metabolism in tomato fruits during cold storage. *Scientia Horticulturae*, *289*, 110495. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110495>

Web Consultadas

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023). *Análisis campaña 2022/23 de hortalizas*. Gobierno de España. Recuperado de comercio.gob.es
- Unión Europea. (2021). *Norma de comercialización para los tomates*. Diario Oficial de la Unión Europea. Recuperado de comercio.gob.es

www.mapa.gob.es Visitada en Enero 2025

bedca.net. Visitada en Enero 2025

myfooddata.com. Visitada en Enero 2025

