

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

TRABAJO FIN DE GRADO EN BIOTECNOLOGÍA



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**“Extractos vegetales de alcachofa derivados de residuos
agroindustriales para la conservación poscosecha de tomate
(*Solanum lycopersicum* L.)”**

Junio-2025

Autora: Paula Mira Ruiz

Nº expediente: 2334

Tutores: Fernando Garrido Auñón

Antonio Fabián Guillén Arco

Departamento de Tecnología Agroalimentaria

Resumen

Se evaluó el uso del extracto de alcachofa (AEA), derivado del escaldado industrial, como tratamiento poscosecha sostenible para tomates (*Solanum lycopersicum* L.) almacenados en condiciones refrigeradas. Se establecieron cuatro grupos experimentales: control (sin AEA), AEA diluido 1:5, AEA diluido 1:10 y AEA sin diluir (puro). Los resultados indicaron que la dilución más eficaz fue la 1:5, al mantener la firmeza del fruto, reducir la pérdida de peso y disminuir el contenido en malonaldehído (MDA) y la fuga de electrolitos, reflejando una mayor integridad de las membranas y menor daño oxidativo. Además, los frutos tratados mostraron una ralentización en el desarrollo del color y una menor acumulación de carotenoides, asociadas a una menor producción de etileno, lo que sugiere un retraso en la maduración. También se observó una mayor acumulación de polifenoles totales, posiblemente relacionados con una respuesta antioxidante frente al estrés y/o al aporte directo compuestos fenólicos del extracto. Estos resultados destacan el potencial del AEA como una estrategia sostenible para preservar la calidad del tomate durante su conservación refrigerada.

Palabras clave: Tomate, Daño por frío, Extracto de alcachofa, Tratamiento poscosecha, Polifenoles.

Abstract

The use of artichoke extract (AE), derived from industrial blanching, as a sustainable postharvest treatment for tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) stored under refrigerated conditions was evaluated. Four experimental groups were established: control (without AE), 1:5 diluted AE, 1:10 diluted AE and undiluted (neat) AE. The results indicated that the most effective dilution was 1:5, maintaining fruit firmness, reducing weight loss and decreasing malonaldehyde (MDA) content and electrolyte leakage, reflecting higher membrane integrity and less oxidative damage. In addition, treated fruit showed slower color development and lower carotenoid accumulation, associated with lower ethylene production, suggesting a delay in ripening. A higher accumulation of total polyphenols was also observed, possibly related to an antioxidant response to stress and/or to the direct contribution of phenolic compounds from the extract. These results highlight the potential of AE as a sustainable strategy to preserve tomato quality during refrigerated storage.

Key words: Tomato, Chilling injury, Artichoke extract, Postharvest treatment, Polyphenols.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL TOMATE	5
1.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS	5
1.1.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL	6
1.1.3. CALIDAD.....	7
1.1.4. VARIEDADES DE TOMATE	8
1.2 PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA.....	9
1.2.1. PRODUCCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL	9
1.2.2. EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN	11
1.3 PROBLEMÁTICAS POST-COSECHA Y DAÑOS POR FRÍO	12
1.4 ECONOMÍA CIRCULAR Y REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS.....	13
1.4.1. CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR.....	13
1.4.2 APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA	14
1.4.3. REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE ALCACHOFA.....	15
1.5 TECNOLOGÍAS POST-COSECHA.....	16
1.5.1. ELICITORES	16
1.5.2. ÁCIDO CLOROGÉNICO	17
1.5.3. OTRAS TECNOLOGÍAS.....	17

2. OBJETIVOS.....18

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....19

3.1 MATERIAL VEGETAL	19
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	19
3.3 DETERMINACIONES ANALÍTICAS.....	20
3.3.1. PÉRDIDA DE PESO.....	20
3.3.2. DETERMINACIÓN DE TASA RESPIRATORIA Y PRODUCCIÓN DE ETILENO.....	20
3.3.3. EVALUACIÓN DEL COLOR.....	22
3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA FIRMEZA	22
3.3.5. EVALUACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)	23

3.3.6. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE (AT)	23
3.3.7. FUGA DE ELECTROLITOS.....	24
3.3.8. DAÑOS POR FRÍO	24
3.3.9. CONTENIDO EN MALONALDEHIDO (MDA).....	25
3.3.10. CONTENIDO EN POLIFENOLES TOTALES	25
3.3.11. CONTENIDO EN CAROTENOIDES TOTALES	26
3.3.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 EFECTO DEL EXTRACTO DE ALCACHOFA SOBRE LAS PÉRDIDAS DE PESO, FIRMEZA, DAÑOS POR FRÍO.....	26
4.2 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SOBRE LA FUGA DE	28
ELECTROLITOS Y EL CONTENIDO DE MALONALDEHIDO	28
4.3 PRODUCCIÓN DE CO₂ Y EMISIÓN DE ETILENO	29
4.4 COLOR.....	31
4.5 EFECTOS SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL TOMATE DURANTE SU ALMACENAMIENTO	32
4.5.1. CAROTENOIDES	32
4.5.2. POLIFENOLES	33
4.6 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SOBRE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST) Y ACIDEZ (AT) DE LOS TOMATES	34
5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS	37
6. BIBLIOGRAFÍA	38
7. ANEXOS.....	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL TOMATE

1.1.1 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), perteneciente a la familia Solanaceae, es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas a nivel mundial. Ocupando la séptima posición en la producción global de cultivos agrícolas, siendo parte fundamental de numerosos patrones dietéticos. (Gerszberg et al., 2015).

Originario del oeste de América del Sur, el tomate fue domesticado en Mesoamérica y posteriormente introducido en Europa en el siglo XVI. Desde entonces, se ha difundido ampliamente y hoy en día se cultiva en todo el mundo. Botánicamente, se trata de una fruta, aunque con un contenido de azúcares significativamente inferior al de otras frutas comunes. Las plantas de tomate se caracterizan por su sistema de brotación simpodial y por ser la única planta modelo con hojas compuestas, lo que la convierte en un organismo clave en estudios de genética vegetal y biotecnología agrícola (Gerszberg et al., 2015).

Numerosas investigaciones han asociado el consumo de tomate con beneficios para la salud humana. Entre sus propiedades se destacan efectos antimicrobianos, antimutagénicos, antiinflamatorios y anticancerígenos. Estos efectos se atribuyen principalmente a su potente actividad antioxidante, particularmente la proporcionada por el licopeno. Este compuesto ha sido vinculado a efectos protectores sobre el sistema cardiovascular y a una reducción del riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer, especialmente cuando se encuentra en altas concentraciones en sangre (Przybylska, 2020).

En este contexto, el uso de extractos vegetales naturales obtenidos a partir de residuos agroindustriales, como los de alcachofa, se presenta como una alternativa innovadora para conservar la calidad del tomate y fomentar modelos más alineados con la economía circular.

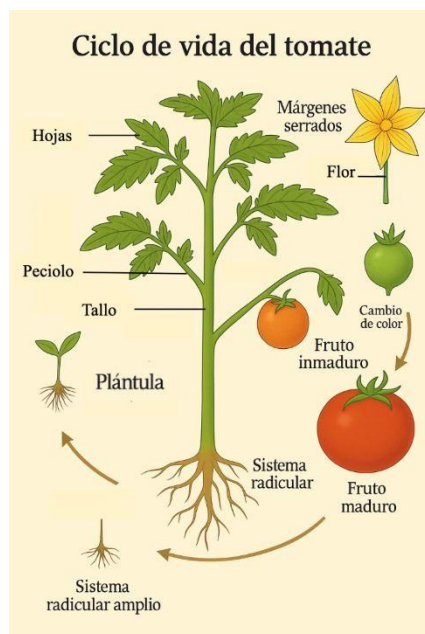


Imagen 1. Ciclo de vida y morfología de *Solanum lycopersicum* L. Representación esquemática de las principales estructuras morfológicas de la planta de tomate, así como las distintas etapas del ciclo de vida.

Fuente: Elaboración propia a partir de Quinet et al., 2019 y Monforte et al., 2014.

1.1.2 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

Los tomates (*Solanum lycopersicum* L.), ampliamente integrados en la dieta mediterránea, destacan no solo por su sabor y versatilidad culinaria, sino también por su rica composición nutricional. Son una fuente de nutrientes esenciales como vitaminas, minerales y azúcares, así como de compuestos bioactivos con beneficios demostrados para la salud humana, y sus subproductos pueden aprovecharse como ingredientes funcionales para combatir deficiencias nutricionales, especialmente de minerales (Ali et al., 2020).

Según la tabla de composición nutricional del tomate fresco (Anexo 1), es un alimento de baja densidad calórica, compuesto en su mayoría por agua, que representa aproximadamente el 94% de su peso fresco. Esta característica le confiere una gran capacidad hidratante y un aporte energético reducido, ideal dentro de dietas equilibradas. Los carbohidratos, fundamentalmente azúcares simples como la glucosa y la fructosa, constituyen su principal fuente de energía y desempeñan un papel relevante en su sabor, textura y estabilidad durante su proceso de elaboración y conservación (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición [AESAN], 2024).

El tomate también contiene una proporción destacada de fibra dietética, especialmente concentrada en su piel, lo que favorece el tránsito intestinal y contribuye al bienestar digestivo (AESAN, 2024; Eslami et al.,

2023). En cuanto a su contenido vitamínico, destaca por su contenido en vitamina C, un potente antioxidante con funciones clave en la síntesis de colágeno y la protección frente al daño celular. Asimismo, aporta provitamina A, esencial para la salud visual, vitamina E, de acción antioxidante, y pequeñas cantidades de vitamina K y del grupo B, implicadas en diversos procesos metabólicos (AESAN, 2024). Además de estos nutrientes, tanto el tomate como sus subproductos son especialmente ricos en compuestos bioactivos como carotenoides y polifenoles, todos ellos con efectos beneficiosos frente al estrés oxidativo y la prevención de enfermedades crónicas (Eslami et al., 2023)

Aunque el contenido graso del tomate es bajo, incluye ácidos grasos esenciales como el linoleico y el linolénico, fundamentales para mantener la integridad de las membranas celulares y prevenir enfermedades crónicas. También destaca el licopeno, su principal carotenoide y responsable de su característico color rojo, ampliamente estudiado por su capacidad antioxidante y su posible papel protector frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y deterioro cognitivo (Ali et al., 2020).

1.1.3. CALIDAD

La calidad del tomate es esencial para su comercialización y aceptación por parte del consumidor. Según el Reglamento de Ejecución (UE) n° 543/2011, los tomates deben cumplir ciertos requisitos mínimos: estar sanos, limpios, exentos de podredumbre, plagas o defectos, y en un estado de maduración adecuado para su manipulación y transporte.

Los tomates se clasifican en tres categorías: “Extra”, que exige frutos sin defectos visibles; Categoría I, que permite ligeras imperfecciones sin afectar la calidad general; y Categoría II, con mayores tolerancias estéticas, siempre que cumplan los requisitos mínimos. El calibrado busca garantizar la homogeneidad dentro de un lote y puede hacerse por diámetro y peso, con ciertos márgenes de diferencia entre frutos, especialmente en categorías superiores. En la categoría II no se exige homogeneidad si se presenta a granel.

Existen tolerancias de calidad dentro de cada categoría: un 5% en la categoría Extra puede no cumplir todos sus requisitos, siempre que alcance los de la categoría I. En la categoría I, se admite un 10% de frutos de calidad inferior, y hasta un 1% que no cumpla ninguna categoría, pero sea comercializable. En la categoría II también se permite un 10% de tolerancia, pero no más de un 2% puede estar en estado de descomposición.

Respecto a la presentación, los envases deben garantizar homogeneidad de origen, variedad y calidad, y proteger adecuadamente el producto. Se exige uniformidad en madurez y color en las categorías superiores. Los materiales del envase deben ser seguros, y las etiquetas legibles deben incluir el nombre del envasador, tipo de producto, país de origen y categoría. Si el contenido no es visible, debe indicarse también la variedad y el calibre. La marca de control oficial es opcional.

1.1.4. VARIEDADES DE TOMATE

El desarrollo de nuevas variedades de tomate surge tanto en respuesta a necesidades agrícolas como a las preferencias del consumidor. Ya sea para mejorar sus cualidades organolépticas, aumentar su rendimiento o adaptarse a condiciones climáticas y tipos de cultivo cambiantes. A continuación, se presentan algunas variedades más relevantes consumidas en España:

- **Tomate Albarado**

Desarrollada por Semillas Fitó, es la empleada en el presente experimento debido a su alta calidad comercial. Es un tomate de tipo asurcado, caracterizado por hombros de color verde oscuro que al madurar alcanzan un rojo intenso. Además, presenta una alta tolerancia a la salinidad, resistencia a enfermedades como el virus del mosaico del tomate (ToMV) y el virus del rizado amarillo (TYLCV), y un sabor equilibrado entre dulzor y acidez (Semillas Fitó, s.f.).

- **Tomate Pera (Tomate italiano)**

Es una de las variedades más grande y alargada, con piel muy fina. Su pulpa es carnosa y ligeramente ácida compensado con un toque dulce, haciéndolo muy sabroso (Mercado de Santa Eugenia, s.f.).

- **Tomate redondo liso**

De tamaño variable, color rojo intenso y una piel tersa. Su pulpa es jugosa, con pocas semillas, y presenta un sabor dulce con ligera acidez (Mercado de Santa Eugenia, s.f.).

- **Tomate Raf**

Su nombre proviene de su resistencia al hongo *Fusarium*. Su morfología es estriada y requiere condiciones que limiten su producción y favorezcan su contenido en azúcar, como suelos salinos y riego controlado, lo que equilibra su acidez (Mercado de Santa Eugenia, s.f.).

- **Tomate Rosa de Barbastro**

Variedad autóctona del Somontano aragonés, de color rosado y gran tamaño. Presenta una piel muy fina y un sabor predominante dulce con leve acidez. Su producción es tardía y concentrada en el tiempo (Asociación del Tomate Rosa de Barbastro, s.f.).

- **Tomate Cherry**

Variedad de pequeño tamaño, con forma redonda y alargada. Destaca por ser muy aromático y una amplia gama de colores, desde rojos y amarillos a negros (Mercado de Santa Eugenia, s.f.).

- **Tomate Corazón de Buey**

Se distingue por su gran tamaño, pudiendo alcanzar el medio kilo. Tiene una piel fina y brillante, pulpa carnosa con pocas semillas y un sabor jugoso y dulce (Mercado de Santa Eugenia, s.f.).

1.2. PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA ECONÓMICA

1.2.1 PRODUCCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL

El tomate es un componente esencial dentro del sector hortícola debido a su peso en el comercio internacional y a su volumen de producción. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 2022 su producción alcanzó aproximadamente 186 millones de toneladas de producción mundial. En este contexto, China lidera la producción representando el 36-37% del total, seguida de India. Lo que representa una distribución desigual de producción muy concentrada en Asia.

Por detrás, se sitúan Turquía, EEUU y la Unión Europea, donde destacan especialmente Italia y España como mayores productores, representando en 2023 un 37.5% y un 25% del total europeo, respectivamente.

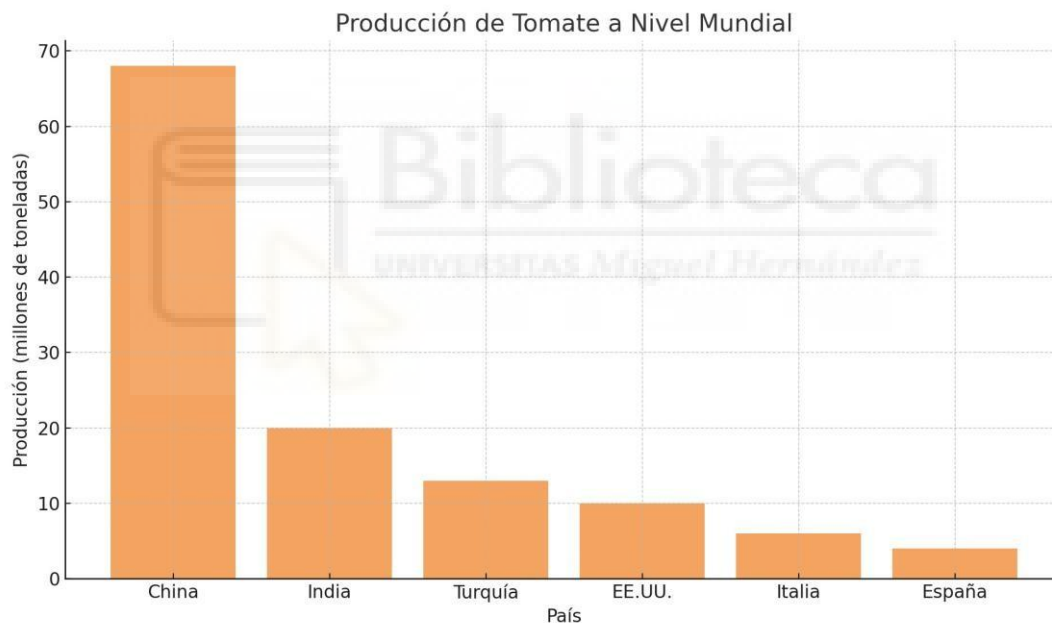


Imagen 2. Producción de tomates a nivel mundial (2022). Fuente: FAOSTAT (FAO, 2025), datos correspondientes a 2022.

En cuanto a España, según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023), su mayor pico productivo tuvo lugar en 2016 (5,2 millones de toneladas) debido a factores climatológicos favorables y al aumento significativo de la superficie cultivada. A parte de este año, la producción sufrió un ligero descenso influido por la competencia exterior y a la reducción progresiva de superficie cultivada. La caída más

notable, se dio en 2020 (4,3 millones de toneladas) como consecuencia directa a la pandemia, que provocó limitaciones laborales como la disponibilidad de mano de obra.

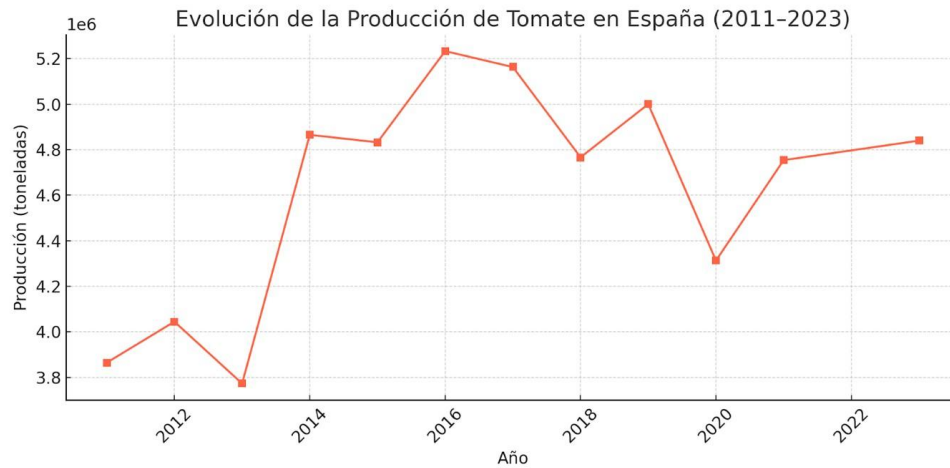


Imagen 3. Evolución de la producción de tomate en España (2011–2023). Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2023).

A pesar de que la superficie cultivada continuó descendiendo en los años posteriores, la producción consiguió mantenerse e incluso repuntar. Este comportamiento se explica por una mayor rentabilidad por hectárea cultivada, gracias a mejoras en tecnologías y la selección de variedades más productivas entre otras.

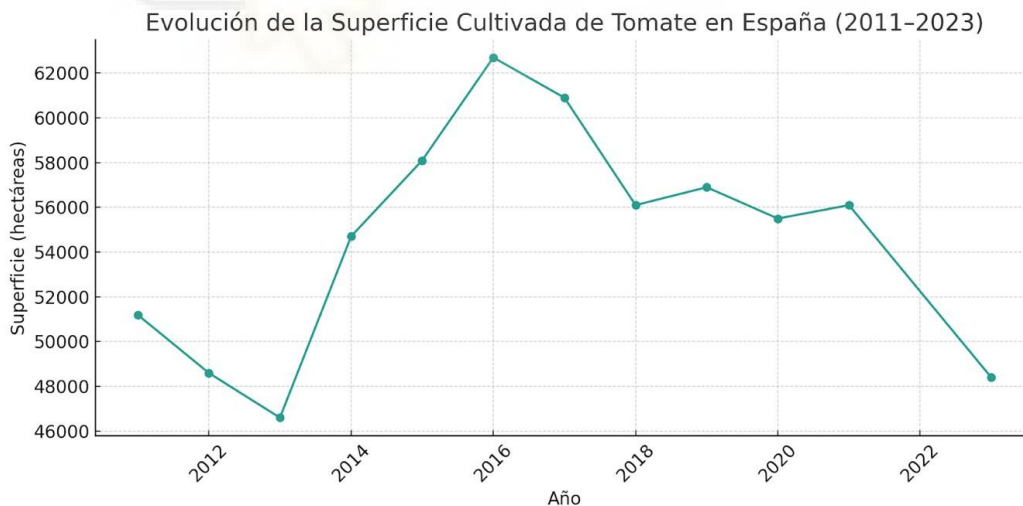


Imagen 4. Evolución de la superficie cultivada de tomate en España (2011–2023). Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2023).

1.2.2. EXPORTACIÓN E IMPORTACIÓN

Según datos de la FAOSTAT, a lo largo de estos años, México se mantiene como el principal exportador mundial, superando los 1,8 millones de toneladas anuales en los últimos años. Le siguen los Países Bajos, España y Marruecos, aunque con volúmenes notablemente menores. Cabe destacar la tendencia ascendente de Marruecos a partir del 2020, que refleja su creciente peso en el comercio internacional, llegando al tercer puesto que solía ocupar España. Por otro lado, Irán presenta una evolución más irregular, con una caída puntual en 2019, atribuible a factores económicos y climáticos adversos. No obstante, España mantiene una posición destacada en valor comercial gracias a la calidad y seguridad alimentaria de su producto, permitiendo así obtener precios por kilo superiores a pesar de exportar menos volumen (FAO, 2025).

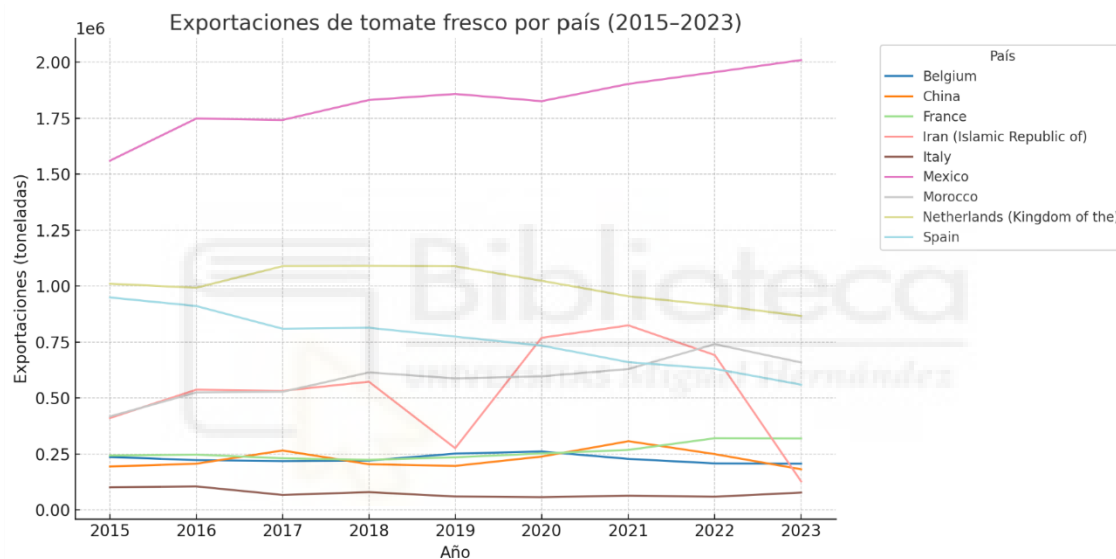


Imagen 5. Principales exportadores de tomates en el comercio mundial (2015-2023). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT (FAO, 2025)

En cuanto a las importaciones, Estados Unidos, aumentando anualmente sus importaciones, lidera este sector debido en gran parte a su compra masiva a México. Dentro de la Unión Europea, destacan Alemania y Francia como principales importadores. Por otra parte, España realiza un número reducido de importaciones de tomates, ya que su producción interna es principalmente para su abastecimiento. El motivo de estas compras exteriores sería más por razones de competencias de precios que a necesidades de consumo, aunque se ha observado un ligero aumento en estos últimos años. A nivel global, las importaciones de tomate fresco han aumentado, debido al aumento de su consumo y la mayor dependencia del comercio internacional (FAO, 2025).

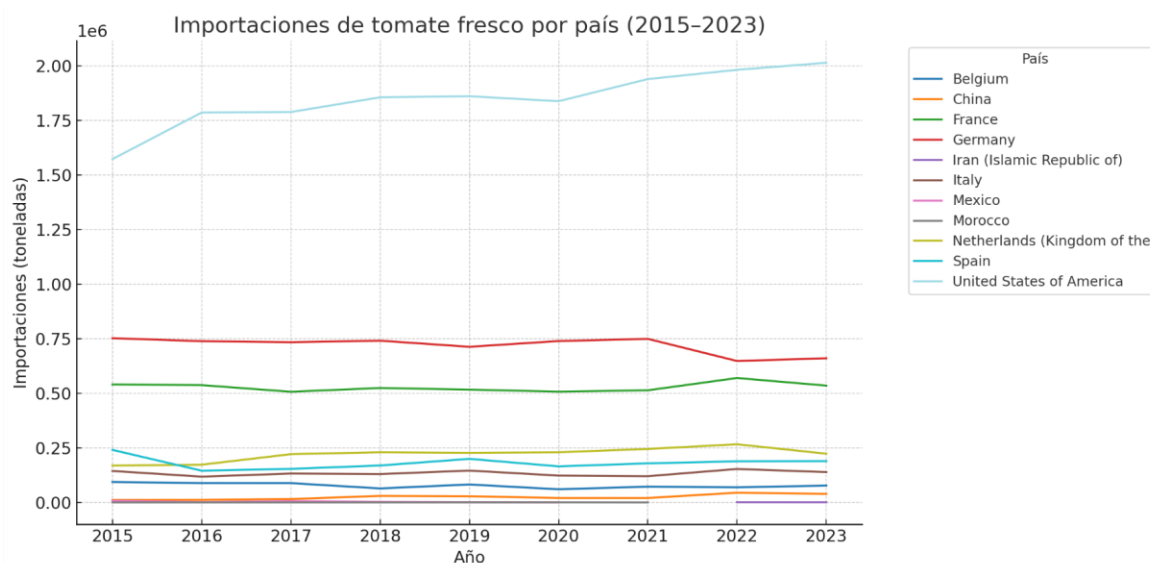


Imagen 6. Principales importadores de tomates en el comercio mundial (2015–2023). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT (FAO, 2025).

1.3. PROBLEMÁTICAS POST-COSECHA Y DAÑOS POR FRÍO

Una vez recolectado, el tomate continúa siendo un tejido vivo y metabólicamente activo, por lo que es susceptible a diversos procesos fisiológicos indeseables. Está compuesto mayoritariamente por agua, pero tras la recolección pierde la capacidad de reponerla, por lo que a altas temperaturas y baja humedad relativa se favorece su deshidratación. Junto con otro de los principales problemas poscosecha, la pérdida de firmeza del fruto provoca una pérdida de peso comercializable, marchitamiento y una reducción de su calidad visual y nutricional. (Esguerra et al., 2018).

El tomate, como fruto climatérico, está sujeto a procesos de senescencia tras la cosecha, los cuales implican una serie de cambios programados que afectan negativamente a su color, textura, sabor y valor nutricional. Si bien algunos de estos cambios, como los asociados a la maduración, pueden ser deseables, otros contribuyen al deterioro del fruto. Estos procesos no pueden detenerse completamente, pero pueden ralentizarse mediante una manipulación poscosecha adecuada (Esguerra et al., 2018).

Las pérdidas poscosecha abarcan tanto la cantidad como la calidad del producto, y pueden producirse por causas como la inmadurez, la sobre maduración, los daños mecánicos, la podredumbre o deficiencias en la cosecha, manipulación, envasado y transporte. A ello se suman las enfermedades poscosecha, como las pudriciones y lesiones superficiales, a menudo causadas por hongos fitopatógenos. Entre ellas destaca la

podrición blanda bacteriana, provocada por *Erwinia* spp., aunque existen tratamientos que pueden inhibir el desarrollo de hongos, su uso comercial no está muy extendido (Cantwell, 2023; Esguerra et al., 2018).

Uno de los problemas poscosecha más relevantes es el relacionado con los daños por frío. A pesar de ello, la refrigeración sigue siendo una de las estrategias más eficaces para conservar la calidad de las hortalizas. La susceptibilidad al frío está estrechamente vinculada al origen tropical de muchas especies hortofrutícolas, estimándose que más del 50% presentan esta vulnerabilidad. En el caso del tomate, el estado de madurez influye considerablemente: los frutos inmaduros desarrollan síntomas más severos que los maduros al daño por frío. Pero debido a su mayor resistencia al daño mecánico y microbiano, es habitual recolectarlos verdes, permitiendo que completen su maduración durante el transporte y lleguen al consumidor en condiciones óptimas (Albornoz, 2021).

Los síntomas típicos del daño por frío incluyen la aparición de manchas, textura harinosa, coloración irregular, pardeamiento interno y una falta de desarrollo en las zonas verdes. En general, solo los síntomas más leves pueden ser parcialmente revertidos si la exposición a bajas temperaturas ha sido breve (Albornoz, 2021).

En este contexto, los consumidores valoran cada vez más la calidad del producto y están dispuestos a pagar un precio superior por aquellos que sean seguros y nutritivos. Por ello, el objetivo principal de las tecnologías poscosecha es preservar al máximo la calidad y seguridad del fruto hasta su llegada al consumidor final, reduciendo pérdidas y prolongando su vida útil (Esguerra et al., 2018).



Imagen 7. Comparación entre un tomate Cherry con daños por frío (izquierda) y un tomate Cherry sano (derecha)

Fuente: Albornoz, 2021

1.4. ECONOMÍA CIRCULAR Y REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS

1.4.1. CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR

La economía circular es un modelo económico sostenible que sustituye al tradicional enfoque lineal de “fin de vida” -basado en producir, consumir y desechar- por uno centrado en la reutilización, restauración y regeneración de recursos. Este concepto fue introducido por Walter R. Stahel en la década de 1970 y

desarrollado posteriormente por la Fundación Ellen MacArthur, que ha sido clave en su difusión global. Este modelo se sustenta en tres principios fundamentales: eliminar residuos y contaminación, mantener productos y materiales en uso durante el mayor tiempo posible, y regenerar los sistemas naturales (Ellen MacArthur Foundation, s.f.; Stahel, 2016).

Frente al modelo originado en la Revolución Industrial, se promueven estrategias como la de las “3R” reducir, reutilizar y reciclar-, consideradas pilares para un sistema de producción más eficiente y sostenible. Este enfoque no solo favorece al medio ambiente, sino que también presenta ventajas económicas: fomenta la creación de empleos locales, impulsa la recuperación económica sostenible y de bajas emisiones de carbono, y mejora el uso de recursos, generando un notable ahorro energético y material (Ellen MacArthur Foundation, s.f.).

1.4.2. APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA

La elevada generación residuos en la industria agroalimentaria ha impulsado a la Unión Europea (UE) a promover políticas orientadas hacia una economía de cero residuos para 2025. Siguiendo este objetivo, la Comisión Europea lanzó en 2019 el Pacto Verde Europeo, una estrategia que transformaría la economía de la UE para alcanzar en 2050 la neutralidad climática, promoviendo un modelo de crecimiento basado en la sostenibilidad ambiental y eficiencia en el empleo de recursos (Rando-Burgos, 2021).

Como parte de esta iniciativa, la Comisión Europea presentó “De la Granja a la Mesa” (2020), cuyo objetivo es construir sistemas alimentarios más justos, saludables y respetuosos con el medio ambiente, reduciendo el desperdicio alimentario y fomentando la economía circular a lo largo de toda la cadena agroalimentaria.

En esta línea, el informe *Circular Economy Action Agenda for Food* (Ellen MacArthur Foundation & PACE, 2021) propone transformar el sector alimentario, mediante la prevención del desperdicio, la regeneración de suelos, el rediseño de cadenas de suministro y la promoción de hábitos de consumo sostenibles. Este modelo también presenta beneficios económicos, al reducir los costes de las materias primas, mitigar riesgos de suministro y disminuir impactos ambientales (Hamam et al., 2021).

Según datos de la FAO (2019) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2021), cerca del 14% de los alimentos a nivel mundial se pierden entre la cosecha y el nivel de venta minorista, y un 17% se desperdicia en comercios y hogares. Estas pérdidas y desperdicios se deben, a limitaciones de infraestructura, condiciones climáticas adversas y estrictos estándares de calidad.

Un ejemplo relevante en la valorización de residuos alimentarios es la industria del tomate, que genera grandes volúmenes de residuos con impactos económicos y ambientales. No obstante, estos subproductos pueden ser revalorizados en el marco de la biorrefinería, para obtener compuestos de interés químicos y energéticos, mejorando la sostenibilidad de la cadena de suministro (Hamam et al., 2021).

1.4.3. REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE ALCACHOFA

La economía circular plantea una alternativa al modo lineal, al promover la revalorización de residuos como nuevos recursos. En la agroindustria, esta estrategia permite aprovechar subproductos alimentarios para obtener compuestos de alto valor, disminuyendo el impacto ambiental y mejorando la eficiencia del sistema productivo (Pagliari et al., 2021).

La alcachofa (*Cynara cardunculus* L.) es una planta herbácea perteneciente a la familia Asteraceae, típica del área mediterránea, donde se cultiva principalmente en regiones cálidas con suelos secos (Pagliari et al., 2021). En su cadena de producción, el 60% de los subproductos se destinan a la industria de conservas y el 40% restante al consumo fresco. Las partes comestibles están constituidas por las cabezas (flores) y los tallos adyacentes, los cuales destacan por su elevado contenido en compuestos bioactivos como fenoles, insulina, fibra y minerales, haciéndoles atractivos para el mercado. Sin embargo, el procesamiento industrial de alcachofas genera una gran cantidad de biomasa residual (80-85%) no apta para el consumo humano, compuesta de brácteas y tallos. Estos residuos, que representan aproximadamente el 70% en peso de la flor de alcachofa, han sido objeto de transformación, revalorización y/o eliminación. (Llidó-Barragán et al., 2024).

Los fenoles y la inulina de la biomasa residual de la alcachofa son excelentes candidatos para el proceso de biorrefinería que tiene muchas propiedades terapéuticas y aplicaciones biotecnológicas que aumentarían su valor económico. Los fenoles de la alcachofa se han identificado desde la antigüedad por sus efectos beneficiosos y acciones terapéuticas, incluida la promoción de la circulación sanguínea, la movilización de las reservas de energía, la inhibición de la biosíntesis del colesterol y la oxidación del colesterol de la lipoproteína de baja densidad (LDL). (Francavilla et al., 2021).

Siguiendo una tendencia general hacia el reciclaje de la biomasa, se han llevado a cabo varios estudios de investigación para encontrar nuevas vías para valorizar los residuos de la alcachofa. En particular, se ha demostrado que las aguas residuales derivadas del procesamiento de vegetales constituyen una fuente relevante de compuestos fenólicos, con elevado potencial de valorización en la industria alimentaria y nutracéutica (Jusoh et al., 2020).

En el caso específico de la alcachofa, el agua residual generada durante su procesamiento, aunque no apta para el consumo humano, constituye una matriz rica en compuesto bioactivos. Diferentes estudios han demostrado su potencial de promoción de la salud, especialmente sus actividades hepatoprotectoras, antioxidantes, anticancerígenas e hipercolesterolémicas.

1.5. TECNOLOGÍAS POST-COSECHA

Las tecnologías poscosecha constan de un conjunto de prácticas y herramientas aplicadas desde la recolección del producto hasta su consumo. Tienen como finalidad preservar la calidad, alargar la vida útil y reducir las pérdidas de calidad de los alimentos durante la cadena agroalimentaria. Los principales factores clave en la poscosecha son el almacenamiento, el transporte, la clasificación y el envasado.

1.5.1. ELICITORES

Los elicitors son compuestos naturalmente presentes en las plantas, que son empleados como estrategias de defensa, induciendo cambios fisiológicos ante la presencia de microorganismos u otros factores de estrés. Estos compuestos actúan en bajas concentraciones y desencadenan una matriz compleja de respuestas bioquímicas durante la interacción planta-patógeno (Thakur & Sohal, 2013).

A pesar de que habitualmente se ha considerado que la resistencia de las plantas frente a enfermedades está determinada por interacciones específicas entre los genes de resistencia (R) de la propia planta y los genes de virulencia (Avr) de los patógenos, se ha comprobado que este no es el único mecanismo. En muchos otros casos, las respuestas defensivas se activan gracias a los elicitors generales, que inducen mecanismos de defensa en distintas variedades, independientemente de la interacción específica de los genes Avr y R (Thakur & Sohal, 2013).

El proceso comienza cuando las células vegetales perciben los estímulos a través de los receptores especializados, que suelen hallarse en la membrana plasmática, como pueden ser las proteínas quinasas, esenciales en la detección de elicitors de origen fúngicos. O en otros casos, estos receptores pueden situarse dentro de la célula, especialmente para la detección de elicitors bacterianos, desencadenando complejas rutas de señalización que permite contener el ataque en el sitio infectado y preparar tejidos lejanos mediante una respuesta sistémica (Baenas et al., 2014).

Estos compuestos no matan a los patógenos, desencadenan mecanismos de defensa de las plantas, uno de los cuales es aumentar los niveles de compuestos fenólicos. Por lo tanto, su aplicación no solo nos permite controlar las enfermedades de las plantas, sino también aumentar el contenido fenólico de los alimentos vegetales (Thakur & Sohal, 2013).

Asimismo, el uso de elicitors naturales representa una alternativa sostenible frente a los fungicidas convencionales, ya que reduce el impacto ambiental y el riesgo de generar cepas patógenas resistentes (McLaughlin et al., 2023).

1.5.2. ÁCIDO CLOROGÉNICO

El ácido clorogénico (ACG) es un compuesto polifenólico presente en altas concentraciones en diversas especies vegetales, destacando especialmente en hortalizas como la alcachofa. Este polifenol no solo cumple funciones clave en la planta, actuando como defensa frente a factores de estrés biótico y abiótico, sino que también ofrece importantes beneficios terapéuticos para la salud humana. En el organismo, el ACG exhibe propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, neuroprotectoras, antipatógenas y antitumorales, así como efectos beneficiosos en enfermedades metabólicas crónicas, trastornos cardiovasculares, hepáticos y renales. Estas acciones se deben a su capacidad para modular la inflamación, el estrés oxidativo y la homeostasis metabólica (Nguyen et al., 2024)

Además, los polifenoles como el ACG desempeñan un papel determinante en las propiedades cualitativas de los vegetales, influenciando el color, sabor y firmeza de los frutos, así como su resistencia poscosecha. En particular, en el caso del tomate, estudios han demostrado que los niveles de ACG disminuyen progresivamente durante la maduración, lo que puede afectar negativamente la capacidad antioxidante del fruto y su resistencia al deterioro durante el almacenamiento. En este contexto, investigaciones recientes (Ilea et al., 2024) han evidenciado que el ACG puede emplearse como tratamiento poscosecha eficaz para reducir daños por frío y prolongar la vida útil del tomate, representando una estrategia sostenible para preservar la calidad del producto.

La alcachofa (*Cynara cardunculus* L.) es una hortaliza rica en polifenoles como el ACG, un metabolito secundario con funciones clave tanto en la defensa vegetal como en la salud humana. Esto lo posiciona como un compuesto de alto valor estratégico, con potencial para ser considerado un elicitor natural eficaz en agricultura (Stiller et al., 2021).

1.5.3. OTRAS TECNOLOGÍAS

Entre las tecnologías poscosecha destacan los recubrimientos comestibles, se trata de capas delgadas de materiales poliméricos reutilizables aplicadas directamente sobre la superficie de productos frescos, con el objetivo de prolongar su vida útil. Estas capas actúan como barreras semipermeables que regulan el intercambio de gases (O_2 y CO_2), humedad y solutos, lo que contribuye a reducir la respiración, la biosíntesis de etileno y, en consecuencia, retrasa la maduración y el deterioro del fruto. Además, sellan estomas disminuyendo así la pérdida de peso y los trastornos fisiológicos durante el almacenamiento. Ya se han desarrollado recubrimientos comerciales específicamente formulados para tomates, como FruitSeal, con resultado positivos (Yadav et al., 2022).

La ultrasonificación es otra tecnología poscosecha prometedora para prolongar la vida útil de frutas y hortalizas. Estudios relacionados en fresas, han demostrado la reducción significativa de bacterias, levaduras

y mohos durante el almacenamiento, a la vez que mantiene la firmeza del fruto y mejora su capacidad antioxidante. Esta cavitación ultrasónica genera alteraciones en enzimas responsables del deterioro, favoreciendo la ralentización de la descomposición. Además, dicho tratamiento ha mostrado la capacidad de preservar compuestos bioactivos como flavonoides, vitamina C y polifenoles, lo cual refuerza la estabilidad del producto durante su conservación. Estas propiedades lo convierten en una herramienta para mejorar la calidad poscosecha y reducir las pérdidas de vegetales frescos (Jiang et al., 2020).

Por otro lado, el empleo de tecnologías como las atmósferas controladas (CA) y las atmósferas modificadas (MAP) ha demostrado ser una estrategia eficaz para prologar la vida útil de frutas y hortalizas frescas, incluido el tomate. Estas técnicas se basan en la reducción de los niveles de oxígeno (O_2) y el aumento del dióxido de carbono (CO_2) en el entorno del producto, lo cual ralentiza el deterioro fisiológico y reduce tanto la producción de etileno como las tasas de respiración del fruto. La principal diferencia entre ambos sistemas radica en el control de la composición gaseosa, mientras que en CA los niveles de gases se mantienen constantes y regulados durante todo el periodo de almacenamiento, en MAP la mezcla de gases se introduce una sola vez en el envase, variando gradualmente con el tiempo (Majidi et al., 2014).

Como concluyen Majidi et al. (2014), combinando estas atmósferas modificadas o controladas con almacenamiento a baja temperatura, se logra retrasar procesos clave como el ablandamiento del fruto y los cambios bioquímicos asociados a la maduración y la senescencia.

2. OBJETIVOS

El objetivo del trabajo ha sido investigar el efecto de un subproducto derivado del agua de escaldado comercial de las alcachofas, como sustancia rica en polifenoles y especialmente en ACG, y que actualmente se considera un residuo o subproducto líquido agroindustrial. En este Trabajo Final de Grado nos hemos propuesto evaluar este producto como tratamiento poscosecha innovador para incrementar la vida útil poscosecha de tomates almacenados en refrigeración para además evaluar si este tratamiento podría reducir el daño por frío en tomates (*Solanum lycopersicum* L.). Para este fin, se plantean los siguientes objetivos parciales:

- Examinar el efecto del agua de escaldado de las alcachofas (AEA) sobre distintos parámetros de calidad del tomate tras la cosecha, tales como firmeza, pérdida de peso, así como otras determinaciones relacionadas con el metabolismo y maduración de este fruto.
- Además, se someterán los tomates a refrigeración para evaluar si el AEA es capaz de reducir los daños por frío asociados a la conservación de este producto vegetal a bajas temperaturas.
- Identificar la concentración de aplicación del AEA con el objetivo de optimizar la concentración de aplicación de este subproducto.

- Valorar la viabilidad del uso de este efluente agroindustrial rico en polifenoles y por tanto de origen natural como una estrategia eficaz de conservación poscosecha.

Con el cumplimiento de estos objetivos tratamos de estimular el aprovechamiento de residuos agroindustriales, potenciando la economía circular, aportando soluciones que favorezcan la sostenibilidad del sistema agroalimentario y reduzcan a su vez el desperdicio poscosecha por la rápida maduración de los tomates.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

El material vegetal empleado en este estudio son tomates (*Solanum lycopersicum* L.) de la variedad “Albarado” recolectados en una finca comercial de Almería. Los frutos fueron recolectados manualmente y seleccionados en el laboratorio. Se seleccionaron tomates en estado verde maduro, es decir, con coloración verde pero con un leve color rojizo en la zona apical, lo cual indica que la maduración ha comenzado habiendo liberado el etileno justo para que la maduración de este continúe tras la cosecha. Tras la selección de los tomates se realizaron distintos lotes con uniformidad en tamaño, color y sin desperfectos a simple vista. El AEA se recogió el día anterior y era el resultado de una jornada completa de escaldado de alcachofas en la empresa proveedora.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para este experimento se seleccionaron 300 tomates. En primer lugar, para la desinfección de la superficie de nuestros tomates, sin causar daños en la piel, se empleó una solución sanitizante de 10 ppm con hipoclorito sódico durante 3 minutos con el objetivo de eliminar efectos poscosecha relacionados con la carga microbiana de campo. Luego se sacaron y se dejaron secar organizados en 4 grupos, cada uno por tratamiento, y estos a su vez se dividieron en grupos de 15 frutos correspondientes a los 5 muestreos. A su vez, se dividieron los 15 tomates en 3 réplicas de 5 tomates cada una ya que todas las determinaciones se realizaron por triplicado ($n=3$).

Una vez desinfectados, secos y en sus correspondientes grupos, se procedió con los tratamientos de inmersiones durante 10 minutos. Para ello, se utilizaron cuatro soluciones preparadas con Tween 20 al 0,05% como agente dispersante: agua (control), AEA diluido 1:5, AEA diluido 1:10 y AEA sin diluir (puro).

Después de la aplicación, los tomates se dejaron secar al aire a 20 °C durante media 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 analizar la disminución de peso a lo largo del periodo de conservación, se pesaron todos los tomates de forma individual en cada réplica de cada tratamiento al inicio del experimento (Día 0). Continuando las mediciones en los correspondientes días de muestreo, obteniendo la evolución de este valor para cada tratamiento. 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.

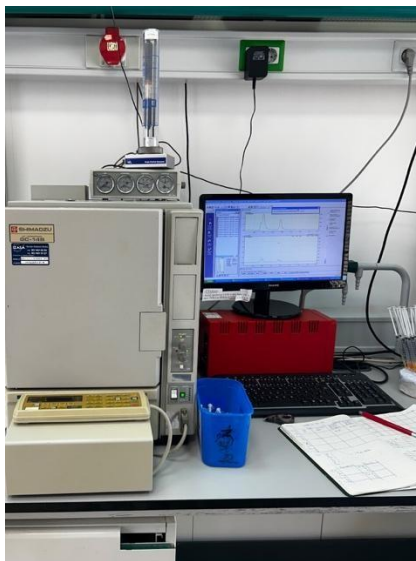
3.3.2. DETERMINACIÓN DE TASA RESPIRATORIA Y PRODUCCIÓN DE ETILENO

Durante los procesos respiratorios, los tejidos vegetales consumen oxígeno (O_2) y liberan dióxido de carbono (CO_2), lo cual tiene efecto directo sobre el metabolismo del fruto y su comportamiento poscosecha. Mediante la medición de CO_2 producido se determina la tasa de respiración, mientras que la producción de etileno es el indicador del grado de madurez y senescencia del tomate.

Para evaluar ambos parámetros, se empleó un sistema estático, siguiendo las condiciones descritas por Martínez-Romero (2002). Cada R, compuesta de 5 tomates enteros, se colocó en un recipiente hermético de 3,7 L de capacidad, equipado con una válvula de elastómero que permitía la extracción de gases. Los frutos permanecieron en estos contenedores durante 60 minutos a temperatura ambiente, tras lo cual se extrajeron seis muestras de 1 mL del aire contenido en el espacio de cabeza, utilizando jeringas para gases.

La concentración de CO_2 en las muestras se calculó mediante la comparación del área del pico cromatográfico de la muestra con la correspondiente a patrones de concentración conocidos. Los resultados obtenidos para la tasa de respiración se expresaron como media $\pm$ error estándar (ES) y se indicaron en $mg\ CO_2\ kg^{-1}\ h^{-1}$.

Para el análisis de los gases, las muestras fueron inyectadas en un cromatógrafo de gases Shimadzu 14B, utilizando las condiciones de operación previamente establecidas, detalladas en el Anexo 2.



Fotografía 1: Cromatógrafo de gases

Para medir la producción de etileno se aprovechó el sistema estático utilizado en la determinación de la actividad respiratoria anterior. Inyectando 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 cromatográficas específicas se detallan en el Anexo 3.



Fotografía 2: Cromatógrafo de etileno.

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

3.3.3. EVALUACIÓN DEL COLOR

La medición del color se realizó de manera individual en cada tomate utilizando el sistema CIELab (L^* , a^* , b^*) con un colorímetro triestímulo Konica Minolta, modelo CR400. Para cada fruto se tomaron tres lecturas, en puntos equidistantes de la zona ecuatorial, por duplicado ($n=30$).

Este sistema es uno de los más utilizados porque se aproxima bastante a cómo percibimos el color a simple vista. Se basa en tres coordenadas principales que permiten valorar dos aspectos fundamentales del color: la luminosidad y la cromaticidad.

A continuación, se describen los tres parámetros de color:

- CIE L^* : Indica la luminosidad del fruto y varía entre 0 (negro) y 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 ($+b^*$).

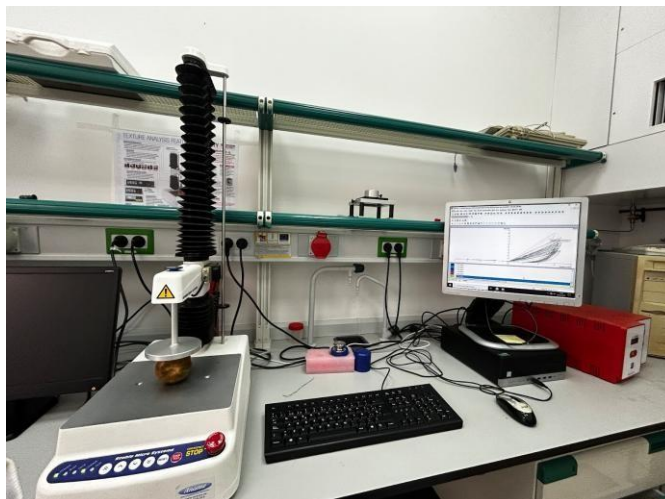
Cada fruta se sitúa en un punto dentro de este espacio tridimensional, definido por los tres valores anteriormente explicados. En este estudio, los parámetros en los que se detectaron mayores diferencias entre tratamientos fueron L^* (luminosidad) y el Cromo*, que refleja la intensidad y saturación del color y se calcula a partir de los valores de a^* y b^* .

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

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

3.3.4. DETERMINACIÓN DE LA FIRMEZA

La firmeza de los tomates se evaluó de forma individual utilizando un texturómetro TA-XT2i (Stable Microsystems, Godalming, Reino Unido). Para ello se aplicó un protocolo estándar para medir la resistencia del fruto frente a la deformación. La medición se realizó mediante una sonda plana en forma de disco, con 100 mm de diámetro, que descendía a 10 mm/s. Esta sonda ejercía presión sobre el lateral del fruto hasta que su deformación ascendía hasta alcanzar un 5% de su diámetro. La fuerza necesaria para alcanzar esta deformación se registró en Newtons mm⁻¹ (N mm⁻¹).



Fotografía 3: Texturómetro

3.3.5. EVALUACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST)

En primer lugar, para la determinación de los sólidos solubles totales (SST), se trocea alrededor de un cuarto de cada tomate (5 por réplica) y se envuelve todo en un paño de algodón, se exprime el zumo con un mortero, obteniéndose un zumo filtrado por cada réplica ($n=3$). Luego se realizan las mediciones, por duplicado en cada réplica, utilizando un refractómetro Atago PR-101 (Atago Co., Ltd., Tokio, Japón) a 20 °C. Los resultados fueron expresados en gramos de sacarosa por 100 g de peso fresco.



Fotografía 4: Refractómetro empleado para medir los grados °Brix (SST).

3.3.6. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE (AT)

Con el mismo zumo obtenido, se evaluó la acidez titulable (AT) en duplicado en cada réplica 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 gramos de ácido cítrico por 100 g de peso fresco.



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

3.3.7. 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 10 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.

3.3.8. 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:

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

3.3.9. CONTENIDO EN MALONALDEHIDO (MDA)

El contenido de MDA en los tomates se analizó la mitad inferior (ecuatorial) de cada tomate que fue pulverizada utilizando nitrógeno líquido siguiendo el método descrito previamente (Zhang et al., 2019). Una muestra de 2,5 g de polvo congelado se homogeneizó con 10 mL de una solución de ácido tricloroacético al 10%. Tras la centrifugación de la mezcla a 4 °C y 10.000× g durante 20 minutos, se recogió el sobrenadante y se mezclaron 2 mL del mismo con 6 mL de ácido tiobarbitúrico al 0,67%, homogeneizándose la mezcla. Las muestras se calentaron a 95 °C durante 20 minutos y, posteriormente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente antes de su evaluación a diferentes longitudes de onda (450, 532 y 600 nm) utilizando un espectrofotómetro (1900 UV/Vis, Shimadzu, Kioto, Japón). Las determinaciones se realizaron por duplicado en cada réplica (n=3) y los resultados se expresaron en $\mu\text{mol kg}^{-1}$.

3.3.10. CONTENIDO EN POLIFENOLES TOTALES

Para determinar el contenido de polifenoles, la mitad inferior (ecuatorial) de cada tomate fue pulverizada utilizando nitrógeno líquido. Posteriormente, se homogeneizaron 2 g del polvo de tomate congelado en 10 mL de una solución de metanol (8:2) que contenía 2 mM de fluoruro sódico, con el fin de controlar la actividad de la polifenol oxidasa y evitar la degradación de los polifenoles. La mezcla se sometió a centrifugación (10.000× g a 4 °C durante 10 minutos). Los sobrenadantes se utilizaron por duplicado en una reacción con el reactivo de Folin–Ciocalteu para evaluar el contenido fenólico total, según lo descrito previamente para tejidos vegetales (Lezoul et al., 2020). Se tomaron dos alícuotas de 200 μL (para análisis por duplicado) de un extracto por réplica (n = 3) para su análisis. Cada alícuota se combinó con 300 μL de una solución tampón fosfato 50 mM, 2,5 mL del reactivo de Folin–Ciocalteu y 2 mL de una solución de Na_2CO_3 1 N. La mezcla se agitó y posteriormente se incubó en un baño maría a 50 °C durante 5 minutos. Se preparó una muestra blanco sustituyendo el extracto por la solución de metanol previamente descrita. La

absorbancia se midió a 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-1700 (Shimadzu). Los resultados se expresaron en mg de equivalentes de ácido gálico (peso fresco), basados en una curva de calibración con ácido gálico.

3.3.11. CONTENIDO EN CAROTENOIDES TOTALES

El contenido de carotenoides totales de la pulpa de tomate se realizó adaptando el protocolo descrito por Knee (1972). Brevemente, se pesaron 2,5 g de polvo de pulpa de tomate previamente pulverizada con nitrógeno líquido. Para la extracción, se emplearon 5 mL de un agente extractante compuesto por 500 mL de Acetona + 500 mL de hexano + 0,1 % de BHT (antioxidante). Esta mezcla, se homogeneizó con un Ultraturrax® g durante 30 segundos y se volcó en un embudo de decantación de 50 mL. Obteniéndose, dos fases: acetona (fase inferior) y hexano (fase superior). Se rescató la fase superior de hexano, y se enrasó a 5 mL en una probeta de cristal. Finalmente, para la medición de carotenoides totales se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-1700 (Shimadzu) a 472 nm, diluyendo las muestras extraídas 1:4 con hexano. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de licopeno.

3.3.12. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EFECTO DEL EXTRACTO DE ALCACHOFA SOBRE LAS PÉRDIDAS DE PESO, FIRMEZA Y DAÑOS POR FRÍO

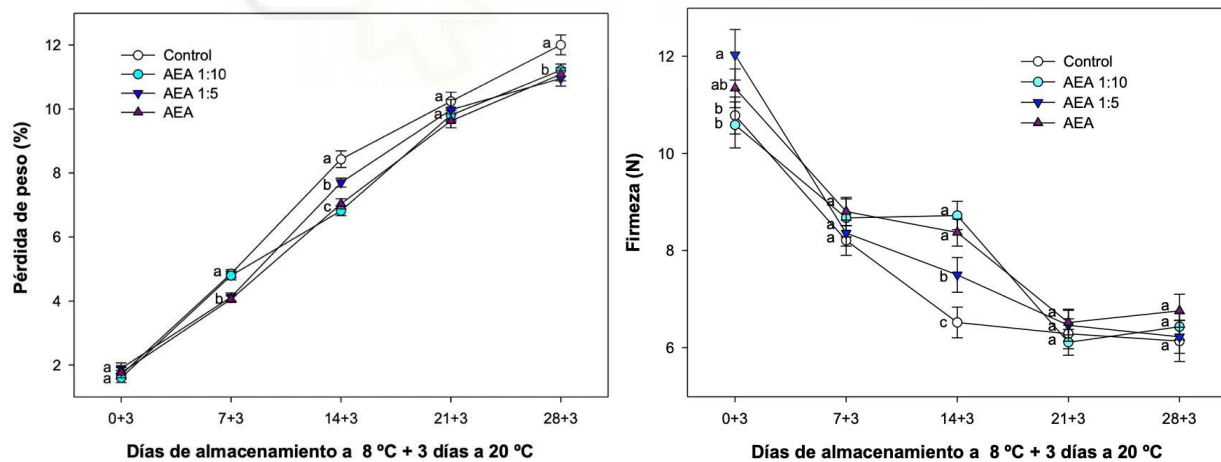
Durante el almacenamiento poscosecha, la pérdida de peso es uno de los principales indicadores de deterioro en frutos climatéricos como el tomate, afectando su valor comercial. Este fenómeno se asocia principalmente al proceso de transpiración, que facilita el movimiento de vapor de agua desde la superficie del fruto hacia el entorno. Dicho proceso se intensifica cuando hay una mayor tasa metabólica, una menor integridad de los tejidos vegetales y un aumento en la respiración, factores que favorecen la pérdida de agua y la contracción del fruto (Alan et al., 2025). En la Figura 1 se aprecia cómo este parámetro aumentó progresivamente a lo largo del almacenamiento en todos los tratamientos, siendo significativamente mayor ($p < 0,05$) en los frutos control a partir del día 14+3. Los tomates tratados con el AEA en todas sus concentraciones presentaron menores pérdidas de peso, lo que evidencia el efecto beneficioso del compuesto.

Este resultado podría estar relacionado con la reducción de la actividad respiratoria y de la producción de etileno, mecanismos que se han asociado con una menor deshidratación y una mayor estabilidad de la fruta

durante el almacenamiento (Ilea et al., 2024). Además, diversos autores han señalado que, durante el almacenamiento, el metabolismo de la fruta se intensifica como consecuencia del aumento en la actividad enzimática y del consumo de oxígeno, lo que acelera el ablandamiento, la maduración y la pérdida de peso (Chang et al., 2025). Así, la inhibición de la biosíntesis de etileno se postula como un mecanismo clave para preservar la firmeza y reducir la tasa metabólica, minimizando la pérdida de agua (Alan et al., 2025).

Respecto a la firmeza, se observó un descenso progresivo en todos los tratamientos a lo largo del almacenamiento. No obstante, los frutos tratados con AEA mantuvieron valores de firmeza significativamente superiores ($p < 0,05$) en algunos puntos en comparación con los frutos control, particularmente en el día 14+3. Estos datos confirman que el tratamiento contribuye al mantenimiento de la estructura celular y a un menor grado de degradación de la pared vegetal.

Este parámetro guarda una estrecha relación con la aparición de daños por frío, ya que la pérdida de firmeza suele reflejar alteraciones estructurales en la membrana plasmática y en la pared celular. De hecho, cuando se pierde la integridad celular, se genera necrosis, colapso del tejido y deterioro metabólico (Soleimani Aghdam, 2013). En este sentido, los síntomas de daño por frío también fueron significativamente menores en los tomates tratados con AEA. Las formulaciones más eficaces para reducir este parámetro fueron AEA 1:5 y AEA sin diluir, lo cual indica que el extracto vegetal pudo actuar como agente protector frente a los efectos negativos del almacenamiento a temperaturas subóptimas. Esto pudo deberse a la mejor integridad de las membranas celulares como estudiaremos a continuación.



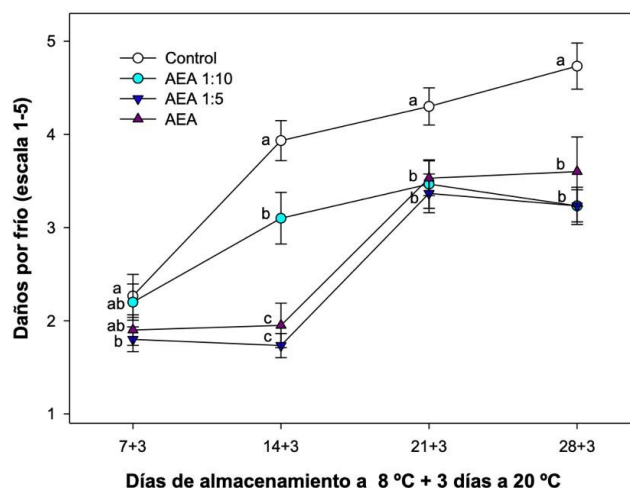


Figura 1. Evolución de la pérdida de peso (%), firmeza (N) y daños por frío (escala 1–5) en tomates tratados con extracto de alcachofa (AEA) en diferentes concentraciones (AEA, AEA 1:5 y AEA 1:10) y en el grupo control durante el almacenamiento a 8 °C más 3 días a 20 °C. Los valores corresponden a la media $\pm$ error estándar ($n = 3$). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en la misma fecha de muestreo ($p < 0,05$).

4.2 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SOBRE LA FUGA DE ELECTROLITOS Y EL CONTENIDO DE MALONALDEHIDO

El contenido de malondialdehído (MDA) y la fuga de electrolitos (EL) son dos indicadores fisiológicos comúnmente utilizados para evaluar el daño oxidativo y la integridad de las membranas celulares en tejidos vegetales almacenados. El MDA es un producto secundario de la peroxidación lipídica y actúa como marcador de la degradación oxidativa de los lípidos de membrana (Ilea et al., 2024). Por su parte, la fuga de electrolitos refleja la pérdida de permeabilidad selectiva de la membrana plasmática, asociada a alteraciones estructurales en los fosfolípidos (Wang et al., 2019). Ambos parámetros están estrechamente vinculados al deterioro fisiológico poscosecha.

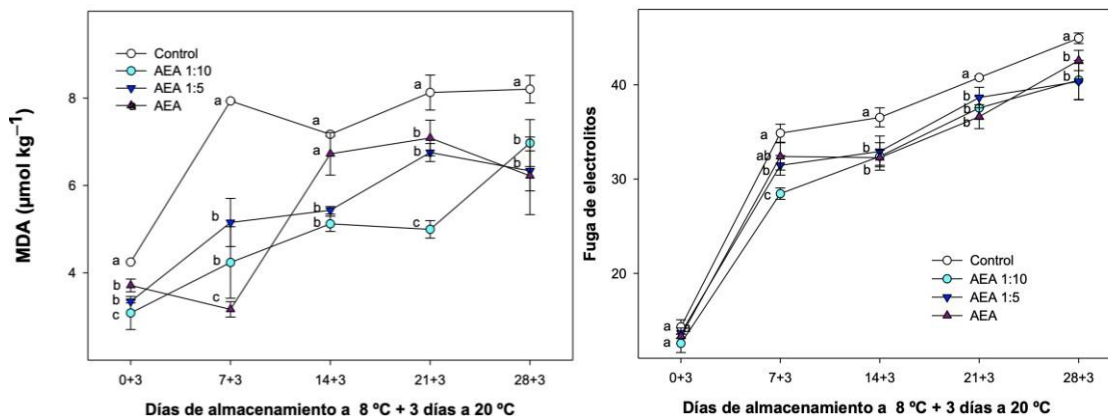


Figura 2. Evolución del contenido en malondialdehído (MDA, $\mu\text{mol kg}^{-1}$) y de la fuga de electrolitos (%) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de extracto de alcachofa (AEA) durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la misma fecha de muestreo. Los datos representan la media $\pm$ error estándar ($n = 3$).

En la Figura 2 se muestran ambas evoluciones. Por un lado, el contenido de MDA aumentó progresivamente a lo largo del almacenamiento en todos los tratamientos, alcanzando valores máximos en los últimos días. Este incremento indica un agravamiento del estrés oxidativo conforme se prolonga la conservación, siendo el grupo control el que presenta sistemáticamente los valores más altos de MDA en todos los puntos evaluados. En cambio, los tomates tratados con extracto de alcachofa (AEA, AEA 1:5 y AEA 1:10) mostraron una acumulación significativamente menor de MDA, especialmente entre los días 0+3 y 7+3, lo que sugiere una menor peroxidación lipídica y una mayor protección frente al daño oxidativo inducido por el almacenamiento refrigerado (Valdenegro et al., 2022).

Respecto a la fuga de electrolitos, se observó también una tendencia creciente con el tiempo, reflejando una pérdida paulatina de integridad en las membranas celulares. Desde el 7+3 se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos: los frutos tratados con extractos de alcachofa presentaron porcentajes de fuga inferiores al control, lo que confirma una menor alteración estructural. Aunque las diferencias se reducen hacia el final, los tratamientos siguen mostrando una mejor conservación de la permeabilidad celular. Estos resultados refuerzan la relación funcional entre la estabilización de lípidos de membrana y la reducción de la fuga iónica (Wang et al., 2019) la cual podría estar relacionada con el efecto antioxidante del principal compuesto bioactivo de los extractos de alcachofa, como es el ACG (Ilea et al., 2024).

En conjunto, los resultados demuestran que los tratamientos con extractos de alcachofa atenuaron el daño oxidativo y estructural en los tomates durante el almacenamiento refrigerado, lo que podría contribuir a prolongar su vida útil poscosecha y conservar su calidad.

4.3 PRODUCCIÓN DE CO₂ Y EMISIÓN DE ETILENO

La respiración y la síntesis de etileno son procesos metabólicos clave en frutos climatéricos como el tomate (Alan et al., 2025). La importancia de estos procesos está directamente relacionada con la maduración, calidad y la vida útil del producto. El aumento simultáneo de respiración y etileno se traduce en una rápida evolución fisiológica que, si no es controlada, conlleva un deterioro acelerado del fruto. (Guadarrama & Peña, 2013).

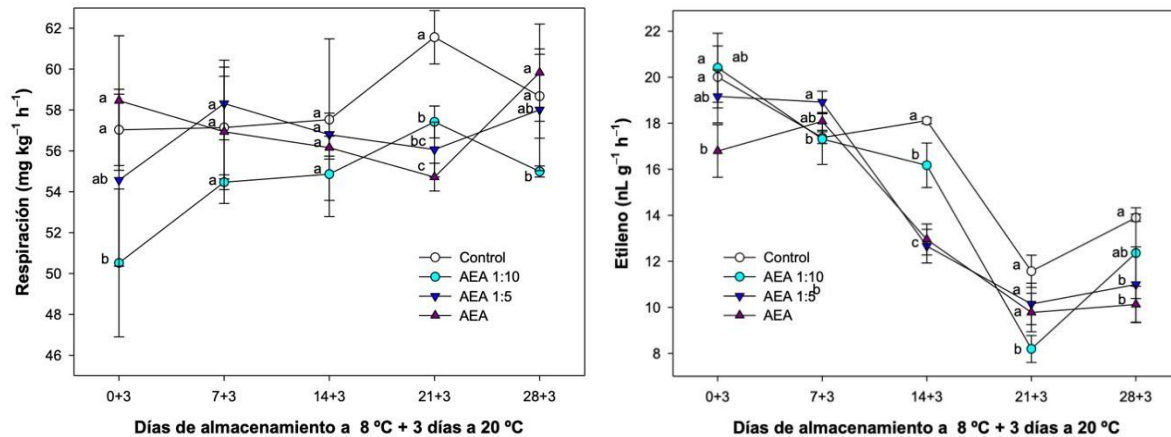


Figura 3. Evolución de la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y de la producción de etileno ($\text{nL g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en tomates tratados con extracto de alcachofa (AEA) en diferentes concentraciones (AEA, AEA 1:5 y AEA 1:10) y en el grupo control durante el almacenamiento a 8°C más 3 días a 20°C . Los valores corresponden a la media $\pm$ error estándar ($n = 3$). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en la misma fecha de muestreo ($p < 0,05$).

De forma general, los frutos mostraron una tendencia oscilante en la tasa de respiración durante el almacenamiento ($8^\circ\text{C} + 3$ días a 20°C). A pesar de estas variaciones, los niveles se mantuvieron en un rango relativamente estrecho, entre 50 y $62 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, con un patrón de ligero incremento. Los frutos tratados con AEA mostraron tasas de respiración más bajas en comparación con los frutos control. De hecho, los valores más bajos se obtuvieron en el tratamiento AEA 1:10 al inicio del almacenamiento, y con la dosis de AEA sin diluir a los 21+3 días, observándose efectos beneficiosos incluso con la concentración más diluida. A pesar de que las diferencias no siempre son significativas ($p > 0.05$), la tendencia general sugiere un efecto positivo del tratamiento con AEA sobre la respiración del fruto.

En cuanto a la producción de etileno, se observó una tendencia general decreciente durante el almacenamiento, con valores iniciales cercanos a $20 \text{ nL g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y mínimos alrededor de $9 \text{ nL g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Al igual que en la respiración, los frutos tratados con AEA mostraron valores de etileno generalmente más bajos que el control, especialmente en el punto 21+3 días, donde el tratamiento con AEA 1:10 presentó la menor producción de etileno, con diferencias significativas respecto al control ($p < 0.05$). Estos resultados sugieren que el tratamiento con AEA podría estar modulando también la síntesis de etileno, contribuyendo así a retrasar la evolución fisiológica del fruto durante el almacenamiento.

4.4 COLOR

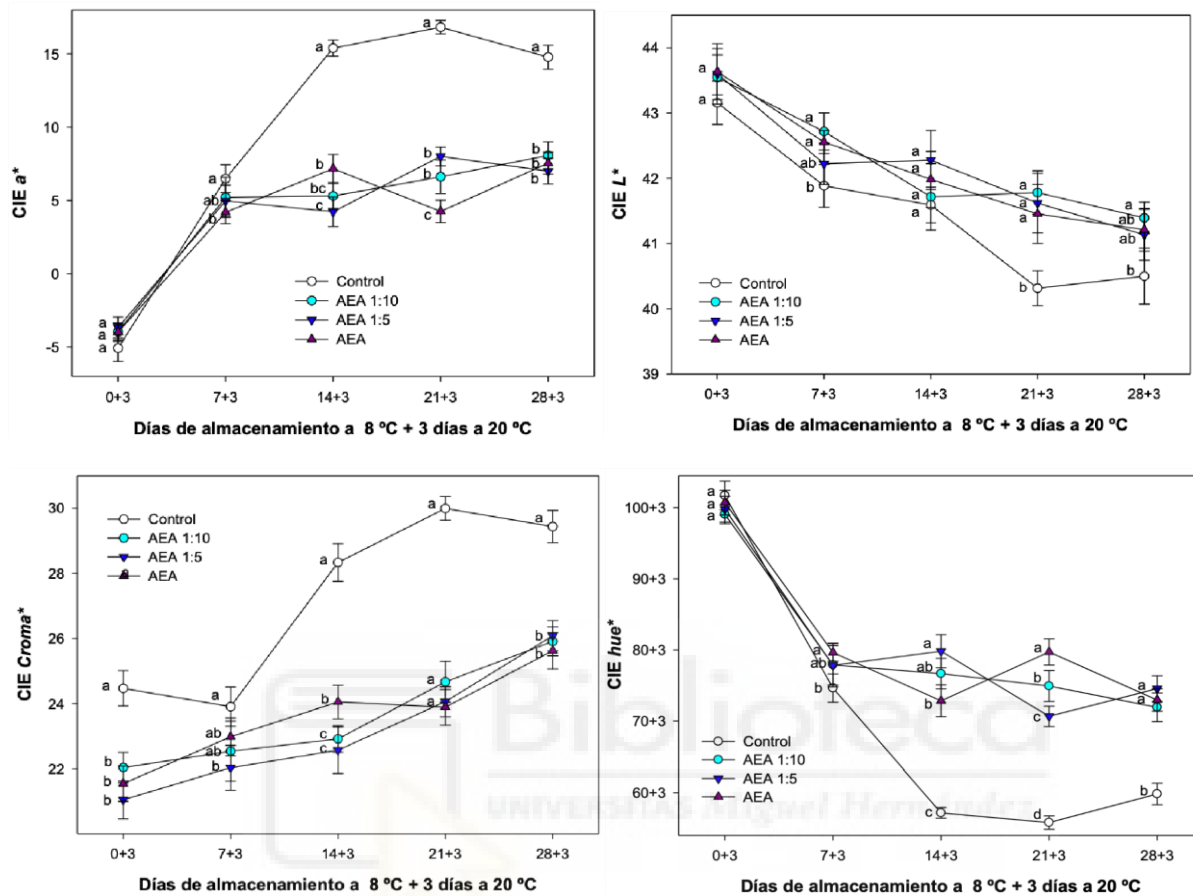


Figura 4. Evolución de los parámetros de color CIELAB: a* (verde-rojo), L* (luminosidad), Croma* (saturación del color) y Hue* (matiz), en tomates tratados con extracto de alcachofa (AEA) en diferentes concentraciones (AEA, AEA 1:5 y AEA 1:10) y en el grupo control, durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Los datos se expresan como media $\pm$ error estándar (n = 3). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en la misma fecha de muestreo (p < 0,05).

El color es uno de los principales atributos sensoriales del tomate, determinante en la aceptación del consumidor y en su valor comercial. En frutas climatéricas como el tomate, el proceso de maduración activa una serie de cambios bioquímicos que incluyen la degradación de clorofila y la acumulación de pigmentos como el licopeno, principal responsable de la coloración roja, y el β -caroteno, en menor proporción (Paolo et al., 2018).

Como se muestra en la Figura 4, el parámetro a^* del sistema CIELAB, que refleja el eje verde-rojo, aumentó progresivamente durante el almacenamiento, especialmente en los frutos control, indicando una maduración más acelerada. En contraste, los tratamientos con AEA, mostraron una evolución más moderada en este parámetro. De forma similar, en el caso del $Croma^*$, indicador de la saturación del color, los frutos control presentaron los mayores valores al final del almacenamiento, mientras que los tratados con AEA mantuvieron una intensidad de evolución del color más estable.

En cuanto al parámetro L^* , que representa la luminosidad del fruto, se observó una tendencia descendente en todos los tratamientos. No obstante, los frutos control presentaron valores significativamente más bajos a partir del día 14+3, lo que refleja un oscurecimiento más pronunciado. Por su parte, los valores de Hue^* , que indican el matiz del color, disminuyeron considerablemente en los tomates control en comparación con los tratados, lo cual suele estar relacionado paralelamente con la degradación de pigmentos como las clorofilas y con el aumento del contenido en carotenoides como observaremos más adelante.

Estos resultados sugieren que los tratamientos con este extracto de alcachofas ricas en ACG retrasan la evolución del color, posiblemente debido a una modulación de los procesos de maduración. De hecho, el compuesto más importante en estos extractos de alcachofa como es el ACG se ha descrito en otros estudios como un compuesto capaz de retrasar el desarrollo del color en frutos como el tomate debido a su capacidad antioxidante además de inhibiendo la biosíntesis de carotenoides, particularmente del licopeno, pigmento responsable del enrojecimiento durante la maduración (Ilea et al., 2024). La menor producción de etileno en los frutos tratados con el AEA podría ser la causa principal del menor desarrollo del color. Lo cual concuerda con lo establecido para frutos climatéricos como el tomate, donde el etileno desempeña un papel clave en la maduración y evolución del color (Guillén et al., 2007).

4.5 EFECTOS SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DEL TOMATE DURANTE SU ALMACENAMIENTO

4.5.1. CAROTENOIDES

Los carotenoides son pigmentos lipofílicos responsables del color rojo del fruto que también contribuyen significativamente a la capacidad antioxidante, especialmente el licopeno, que es el carotenoide predominante en tomates maduros (Baenas et al., 2021; Yoon et al., 2024). Su acumulación se intensifica en las etapas finales del proceso de enrojecimiento, una vez superada la fase inicial de maduración, lo que refuerza su papel como marcador bioquímico del estado de desarrollo del fruto (Jia et al., 2022).

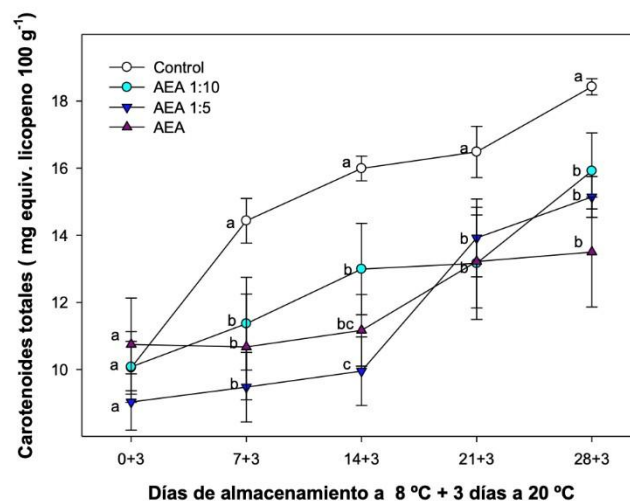


Figura 5. Evolución del contenido en carotenoides totales (mg equivalentes de licopeno por 100g) en tomates control y tratados con extracto de alcachofa (AEA) en distintas concentraciones durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C seguido de 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en una misma fecha de muestreo. Los datos representan la media $\pm$ error estándar ($n = 3$).

En relación con el contenido de carotenoides totales, se observó un aumento progresivo durante el almacenamiento en todos los grupos. El control mostró el incremento más pronunciado, alcanzando valores cercanos a 19 mg equiv. licopeno 100g⁻¹ en el día 28+3, significativamente superiores a los observados en los tomates tratados con extracto de alcachofa (AEA), especialmente en su forma sin diluir.

Este comportamiento podría indicar un retraso en el proceso de maduración en los frutos tratados con AEA, consistente con lo descrito por Shu et al. (2020) e Ilea et al. (2024), quienes asociaron el tratamiento con ACG con una menor producción de etileno, una reducción de la tasa respiratoria y una modulación de las enzimas relacionadas con la maduración, lo que en conjunto contribuye a retardar la senescencia del fruto y explica la menor acumulación de carotenoides observada en los tomates tratados.

Por lo tanto, los resultados sugieren que el extracto de alcachofa, rico en ACG, pueda desempeñar un papel regular en la maduración y senescencia durante su almacenamiento.

4.5.2. POLIFENOLES

Los polifenoles son metabolitos secundarios ampliamente reconocidos por su función antioxidante y su contribución a la calidad funcional del tomate. Actúan como compuestos de defensa frente a condiciones de estrés abiótico como el frío, favoreciendo la acumulación de compuestos fenólicos con capacidad protectora (Koyama et al., 2022). Esta respuesta ha sido relacionada con una mayor tolerancia al estrés oxidativo inducido durante el almacenamiento refrigerado (Nazari et al., 2024). Los compuestos fenólicos, que

constituyen una parte importante de la fracción hidrofílica antioxidante del tomate, se encuentran principalmente en la pulpa y cumplen un papel clave en la protección celular frente a la acción de los radicales libres. Diversos estudios señalan que factores bióticos posteriores a la cosecha, como el manejo, la distribución o el almacenamiento, pueden intensificar el estrés oxidativo y desencadenar reacciones bioquímicas que estimulan la síntesis y acumulación de estos compuestos (Umeohia & Olapade, 2025).

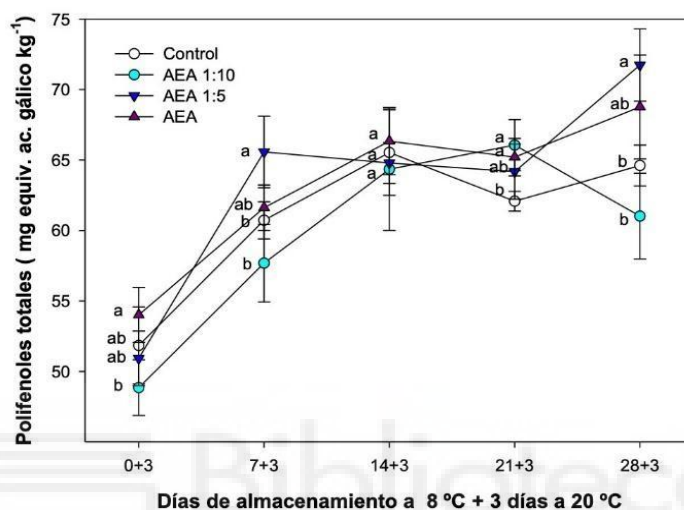


Figura 6. Contenido de polifenoles totales (mg equivalentes de ácido gálico por kg de peso fresco) en tomates control y en tomates tratados con extracto de alcachofa (AEA) en distintas concentraciones durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C seguido de 3 días a 20 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en una misma fecha de muestreo. Los datos representan la media $\pm$ error estándar ($n = 3$).

En la Figura 6 se observó una tendencia general al incremento del contenido de polifenoles durante el almacenamiento en todos los grupos, aunque con diferencias notables entre ellos. Los tomates tratados con extracto de alcachofa (AEA), especialmente AEA 1:5, al final del almacenamiento mostraron los valores más elevados alcanzando los 72 mg equivalentes a ácido gálico kg^{-1} (día 28+3), frente a los 65 mg del control. Esta diferencia sugiere que además del posible efecto del estrés inducido por la refrigeración, el tratamiento con AEA podría haber contribuido directamente al aumento del contenido fenólico, ya sea por su propio aporte en polifenoles o por la activación del sistema de defensa antioxidante en el fruto, como se ha descrito en otros estudios con aplicaciones exógenas de polifenoles (Ilea et al., 2024).

4.6 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS SOBRE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (SST) Y ACIDEZ (AT) DE LOS TOMATES

Entre los principales indicadores de calidad sensorial en frutos como el tomate se encuentran los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT), así como la relación entre ambos, conocida como índice de

madurez (SST/AT). Los SST, representados principalmente por azúcares simples como glucosa y fructosa, están relacionados con la percepción de dulzor, mientras que la AT depende de la concentración de ácidos orgánicos como el cítrico y el málico, que determinan el carácter ácido del fruto. A medida que el tomate madura, se produce una conversión enzimática de carbohidratos complejos en azúcares solubles, aumentando los SST, mientras que los ácidos orgánicos tienden a degradarse, disminuyendo la AT (Umeohia & Olapade, 2025; Alan et al., 2025). La evolución de estos parámetros es clave para evaluar el estado de maduración, la aceptabilidad sensorial y la vida útil poscosecha del fruto (Razali et al., 2021).

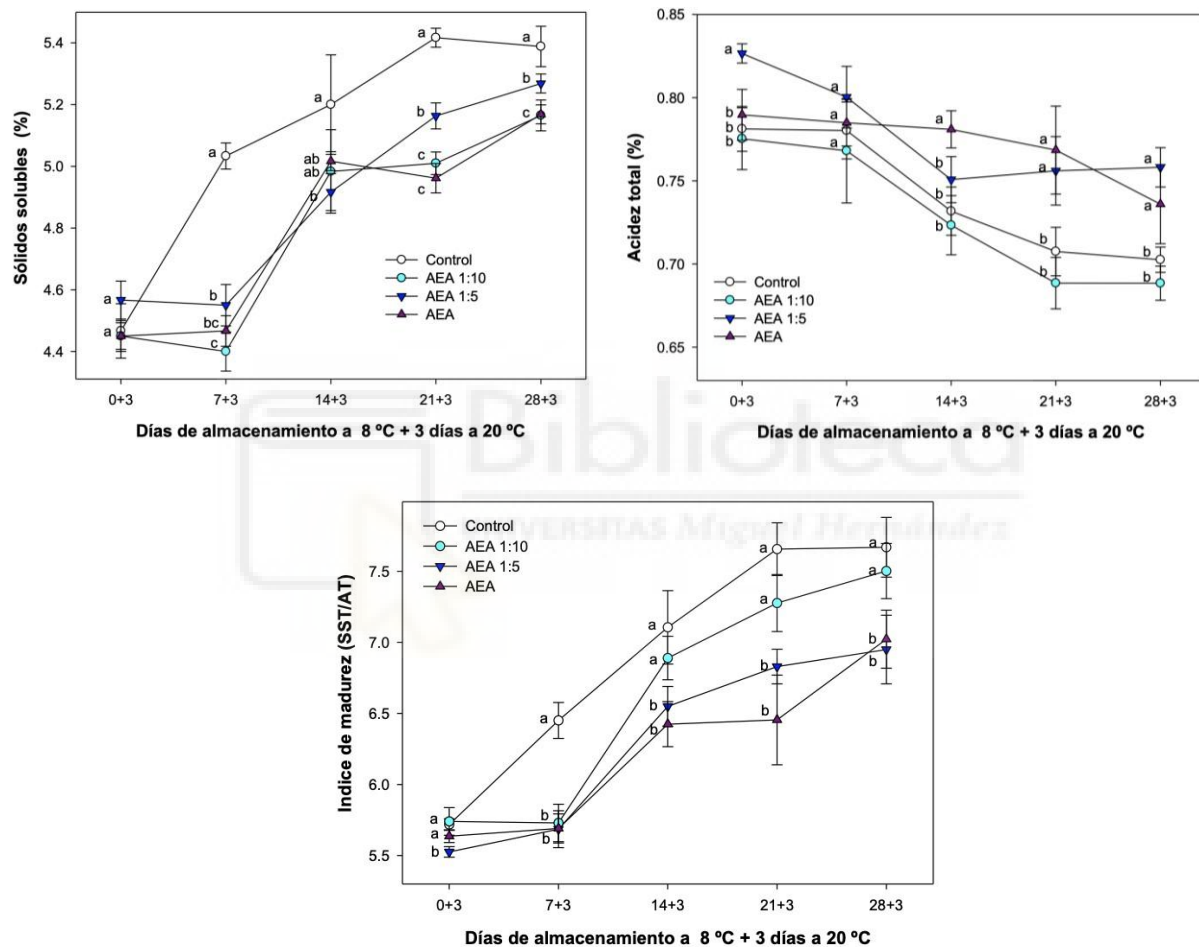


Figura 7. Evolución de los sólidos solubles totales (SST, g 100 g⁻¹), acidez titulable (AT, g 100 g⁻¹) e índice de madurez (SST/AT) en tomates control y en tomates tratados con diferentes concentraciones de extracto de alcachofa (AEA) durante el almacenamiento poscosecha a 8 °C más 3 días a 20 °C. Las 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 ($n = 3$).

Tal como se ha descrito, los SST, la AT y su relación (índice de madurez) son parámetros clave para evaluar el estado de maduración del tomate. En los resultados obtenidos, se observó que el contenido en SST

aumentó progresivamente durante el almacenamiento en todos los grupos, siendo significativamente más alto en el grupo control, alcanzando valores superiores al 5,3% al final de periodo, mientras que los tratamientos con AEA presentaron incrementos menos acentuados. En cuanto a la AT, los frutos tratados, excepto la dilución 1:10 mantuvieron niveles más estables a lo largo del almacenamiento, frente a una disminución más pronunciada en el control que alcanzó el 0,7%.

Como consecuencia, el índice de madurez fue también menor en los tomates tratados, representando una evolución más lenta en el equilibrio entre acidez y dulzor. Estas diferencias sugieren que los tratamientos con AEA podrían estar modulando el metabolismo del fruto, ralentizando procesos como la acumulación de azúcares y la degradación de ácidos orgánicos. Coincidiendo con lo observado en los polifenoles y carotenoides, sería un indicativo de estado de maduración más lento, posiblemente asociado a una menor producción de etileno y menor actividad metabólica (Umeohia & Olapade, 2025; Alan et al., 2025)



5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran el potencial del extracto acuoso de alcachofa (AEA), procedente del escaldado industrial, como estrategia eficaz y sostenible para mitigar el daño por frío y mejorar la calidad de los tomates (*Solanum lycopersicum* L.) durante su almacenamiento refrigerado.

Los tratamientos evaluados -AEA 1:10, AEA 1:5 y AEA puro- mostraron efectos positivos en los parámetros de calidad, sin embargo, fue AEA 1:5 el que se mostró más eficaz. Se observó una mayor preservación de la firmeza y una reducción del contenido de malonaldehído (MDA) y fuga de electrolitos, favoreciendo la integridad estructural del fruto y mejorando el mantenimiento durante la conservación. La ralentización en el desarrollo del color observados en los frutos tratados se corresponde con una menor acumulación de carotenoides, relacionado a su vez con una menor producción de etileno, lo que sugiere un retraso en el proceso de maduración.

En cuanto a su calidad nutricional y funcional, los tomates tratados mostraron una acumulación superior de polifenoles totales, lo cual podría deberse tanto a la activación de mecanismos de defensa frente al estrés oxidativo como al aporte directo de estos compuestos antioxidantes por parte del extracto. Aunque la acidez titulable disminuyó en todos los grupos como parte natural de la maduración, para los tratados, dicha pérdida fue más lenta en los frutos tratados. Esto, junto con una menor acumulación de sólidos solubles, permitió un índice de madurez más equilibrado, favorable desde el punto de vista sensorial.

En cuanto a sus perspectivas futuras, sería necesario evaluar la eficacia del tratamiento con AEA en condiciones reales de comercialización, incluyendo etapas como el transporte, la distribución y la exposición en comercios, donde los frutos son sometidos a cambios de temperatura, manipulación y estrés adicional. Estas pruebas permitirían establecer si los efectos beneficiosos observados en condiciones controladas se mantienen a lo largo de toda la cadena poscosecha. Además, resulta fundamental hacer estudios de análisis sensorial que evalúen el impacto del tratamiento en el sabor, la textura, el aroma y la apariencia, con el fin de garantizar su aceptación por parte del consumidor.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alan, O., Gundogdu, M., Sen, F., & Aglar, E. (2025). Influence of postharvest putrescine application on respiration rate and physicochemical properties of tomato. *BMC Plant Biology*, 25(1), 561. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06613-8>
- Albornoz, K. (2021). Daño por frío en hortalizas y su impacto para los consumidores. *Extensión en Español*. <https://extensionesp.umd.edu/2021/07/15/dano-por-frio-en-hortalizas-y-su-impacto-para-losconsumidores/>
- Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.3390/foods10010045>
- Baenas, N., García-Viguera, C., & Moreno, D. (2014). Elicitation: A tool for enriching the bioactive composition of foods. *Molecules*, 19(9), 13541-13563. <https://doi.org/10.3390/molecules190913541>
- Chang, C.-K., Adi, P., Mulyani, R., Lin, C.-F., Listyaningrum, R. S., Santoso, S. P., Gavahian, M., & Hsieh, C.W. (2025). Optimizing non-thermal magnetic field to minimize weight loss and tissue degradation: Identifying possible enzyme inhibition mechanisms. *Foods*, 14(2), 166.
- Ellen MacArthur Foundation. (s. f.). *Circular economy introduction*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Eslami, E., Carpentieri, S., Pataro, G., & Ferrari, G. (2022). A comprehensive overview of tomato processing byproduct valorization by conventional methods versus emerging technologies. *Foods*, 12(1), 166. <https://doi.org/10.3390/foods12010166>
- Francavilla, M., Marone, M., Marasco, P., Contillo, F., & Monteleone, M. (2021). Artichoke biorefinery: From food to advanced technological applications. *Foods*, 10(1), 112. <https://doi.org/10.3390/foods10010112>
- Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T., & Kononowicz, A. K. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120(3), 881-902. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0664-4>
- Guadarrama, Á., & Peña, Y. (2013). Actividad respiratoria vs. Variaciones físicas Y químicas en la maduración de frutos de Naranja china (*Citrus x microcarpa* Bunge). *Bioagro*, 25(1), 57-63. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S131633612013000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Guillén, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Martínez-Romero, D., Serrano, M., & Valero, D. (2007). Efficacy of 1MCP 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.2006.07.004>

- Hamam, M., Chinnici, G., Di Vita, G., Pappalardo, G., Pecorino, B., Maesano, G., & D'Amico, M. (2021). Circular Economy Models in Agro-Food Systems: A Review. *Sustainability*, 13(6), 3453. <https://doi.org/10.3390/su13063453>
- Ilea, M. I. M., Zapata, P. J., Fernández-Picazo, C., Díaz-Mula, H. M., Castillo, S., & Guillén, F. (2024). Chlorogenic acid as a promising tool for mitigating chilling injury: Cold tolerance and the ripening effect on tomato fruit(*Solanum lycopersicum* L.). *Plants*, 13(15), 2055. <https://doi.org/10.3390/plants13152055>
- Jiang, Q., Zhang, M., & Xu, B. (2020). Application of ultrasonic technology in postharvested fruits and vegetables storage: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 69, 105261. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105261>
- Jusoh, N., Rosly, M. B., Othman, N., Raja Sulaiman, R. N., Mohamed Noah, N. F., & Kamarudin, K. S. N. (2020). Valorization of palm oil mill sterilization condensate via synergistic green reactive extraction of bioactive compounds. *Food and Bioprocess Processing*, 122, 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.05.006>
- Kardas, M., Rakula, M., Kołodziejczyk, A., & Staśkiewicz-Bartecka, W. (2024). Consumer preferences, sensory evaluation, and color analysis of beetroot and tomato juices: Implications for product development and marketing in health-promoting beverages. *Foods*, 13(24), 4059. <https://doi.org/10.3390/foods13244059>
- Knee, M. (1972). Anthocyanin, carotenoid, and chlorophyll changes in the peel of cox's orange pippin apples during ripening on and off the tree. *Journal of Experimental Botany*, 23(1), 184-196. <https://doi.org/10.1093/jxb/23.1.184>
- Koyama, R., Ishibashi, M., Fukuda, I., Okino, A., Osawa, R., & Uno, Y. (2022). Pre- and post-harvest conditions affect polyphenol content in strawberry(*Fragaria × ananassa*). *Plants*, 11(17), 2220. <https://doi.org/10.3390/plants11172220>
- La economía circular: Un modelo económico que lleva al crecimiento y al empleo sin comprometer el medio ambiente* | Noticias ONU. (2021). <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490082>
- Lezoul, N. E. H., Belkadi, M., Habibi, F., & Guillén, F. (2020). Extraction processes with several solvents on total bioactive compounds in different organs of three medicinal plants. *Molecules*, 25(20), 4672. <https://doi.org/10.3390/molecules25204672>
- Llidó-Barragán, A., Calle Salas, A. D. L., Parres García, F., & Crespo Amorós, J. E. (2024). Valorization of cellulosic waste from artichoke for incorporation into biodegradable polylactic acid matrices. *Polymers*, 16(19), 2778. <https://doi.org/10.3390/polym16192778>
- 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), 2155-2161. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0721-0>
- Márquez-Zambrano, B. E., Prado-Carpio, E., Garzón Montealegre, V. J., & Carvajal Romero, H. (2023). Sistema de producción sustentable de tomates cherry (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme): Riego permanente

y cultivo alternativo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 9832-9847.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5093

McLaughlin, M. S., Roy, M., Abbasi, P. A., Carisse, O., Yurgel, S. N., & Ali, S. (2023). Why do we need alternative methods for fungal disease management in plants? *Plants*, 12(22), 3822.

<https://doi.org/10.3390/plants12223822>

Nazari, J., Nabigol, A., Rasouli, M., & Aghdam, M. S. (2024). Exogenous dopamine ameliorates chilling injury of banana fruits during cold storage. *Scientific Reports*, 14, 25802. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77358-x>

Nguyen, V., Taine, E. G., Meng, D., Cui, T., & Tan, W. (2024). Chlorogenic acid: A systematic review on the biological functions, mechanistic actions, and therapeutic potentials. *Nutrients*, 16(7), 924.

<https://doi.org/10.3390/nu16070924>

Pagliari, S., Cannavacciuolo, C., Celano, R., Carabetta, S., Russo, M., Labra, M., & Campone, L. (2022). Valorisation, green extraction development, and metabolomic analysis of wild artichoke by-product using pressurised liquid extraction uplc–hrms and multivariate data analysis. *Molecules*, 27(21), 7157.

<https://doi.org/10.3390/molecules27217157>

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), 1934578X1801300927.

<https://doi.org/10.1177/1934578X1801300927>

Przybylska, S. (2020). Lycopene – a bioactive carotenoid offering multiple health benefits: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 11-32. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14260>

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, 1554.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>

Rando-Burgos, E. (2021). El pacto verde europeo como antesala de la ley europea del clima. *Bioderecho.es*, 12.

<https://doi.org/10.6018/bioderecho.460611>

Raza, B., Hameed, A., & Saleem, M. Y. (2022). Fruit nutritional composition, antioxidant and biochemical profiling of diverse tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genetic resource. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1035163. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1035163>

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(17), 2919.

<https://doi.org/10.3390/polym13172919>

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.2019.110997>

- Soleimani Aghdam, M. (2013). Mitigation of postharvest chilling injury in tomato fruit by prohexadione calcium. *Journal of Food Science and Technology*, 50(5), 1029-1033. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0994-y>
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435-438. <https://doi.org/10.1038/531435a>
- Stiller, A., Garrison, K., Gurdyumov, K., Kenner, J., Yasmin, F., Yates, P., & Song, B.-H. (2021). From fighting critters to saving lives: Polyphenols in plant defense and human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8995. <https://doi.org/10.3390/ijms22168995>
- Thakur, M., & Sohal, B. S. (2013). Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: A review. *ISRN Biochemistry*, 2013, 762412. <https://doi.org/10.1155/2013/762412>
- Umeohia, U. E., & Olapade, A. A. (2025). Influence of tomato peel fiber and moringa leaf extract bioactive coatings on the quality, shelf life, and sensory properties of fresh tomatoes. *Food Chemistry: X*, 27, 102396. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102396>
- Valdenegro, M., Fuentes, L., Bernal, 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.771094>
- Wang, Y., Ji, S., Dai, H., Kong, X., Hao, J., Wang, S., Zhou, X., Zhao, Y., Wei, B., Cheng, S., & Zhou, Q. (2019). Changes in membrane lipid metabolism accompany pitting in blueberry during refrigeration and subsequent storage at room temperature. *Frontiers in Plant Science*, 10, 829. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00829>
- Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Sethi, S., & Singh, A. (2022). Edible coating as postharvest management strategy for shelf-life extension of fresh tomato (*solanum lycopersicum* L.): An overview. *Journal of Food Science*, 87(6), 2256-2290. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16145>
- Yoon, K., Yoon, Y., Hong, H., Yeom, S., Park, J., Song, B., Eun, J., & Kim, J. (2024). Improving storage duration of tomatoes (*solanum lycopersicum*) through electron beam technology. *Journal of Food Science*, 89(11), 7928-7943. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17446>
- 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>
- 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.2019.01.058>

6.1 WEBS CONSULTADAS

543/2011/UE: Reglamento de Ejecución (Ue) n ° 543/2011 de la Comisión, de 7 de junio de 2011 , por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (Ce) n ° 1234/2007 del Consejo en los sectores de las frutas y hortalizas y de las frutas y hortalizas transformadas, 157 OJ L (2011).

http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2011/543/oj/spa

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2023). *Análisis campaña 2022/23 de hortalizas*. Gobierno de España. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es>

Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN). *Base de Datos Española de Composición de Alimentos (BEDCA)*. <https://www.bedca.net>

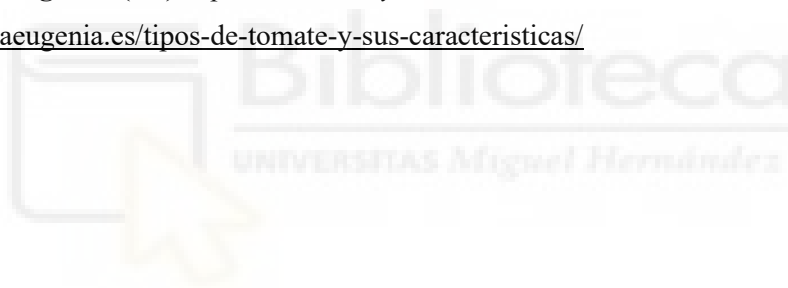
Asociación del Tomate Rosa de Barbastro. (s.f.). *Tomate Rosa de Barbastro*. Recuperado de: <https://tomaterosabarbastro.es>

Semillas Fitó. (s.f.). *Albarado*.

<https://www.semillasfito.es/eses/productos/hort%C3%ADcolas/tomate/asurcado/albarado/>

Mercado de Santa Eugenia. (s.f.). *Tipos de tomate y sus características*.

<https://mercadosantaeugenia.es/tipos-de-tomate-y-sus-caracteristicas/>



7. ANEXOS

ANEXO 1. Tabla 1. Aporte nutricional del tomate crudo.

NUTRIENTE	USDA (por 100g)	BEDCA (por 100g)	INFOODS (FAO) (por 100g)
Energía (kcal)	18	21	20
Agua (g)	94.52	94	93.9
Proteínas (g)	0.88	0.9	0.9
Grasas totales (g)	0.2	0.2	0.3
Carbohidratos (g)	3.89	3.5	4
Azúcares (g)	2.63	2.4	2.6
Fibra (g)	1.2	1.4	1.3
Calcio (mg)	10	11	12
Hierro (mg)	0.27	0.2	0.3
Magnesio (mg)	11	10	11
Fósforo (mg)	24	23	24
Potasio (mg)	237	290	240
Sodio (mg)	5	3	4
Vitamina C (mg)	13.7	14	14
Vitamina A (µg)	42	53	45
Vitamina K (µg)	7.9	7	8
Folato (µg)	15	11	13
Licopeno (µg)	2573	2500	-
Ácidos grasos saturados (g)	0.03	0.03	0.04
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	0.03	0.03	0.03

Ácidos grasos poliinsaturados (g)	0.08	0.08	0.08
Tiamina (B1) (mg)	0.037	0.04	0.04
Riboflavina (B2) (mg)	0.019	0.02	0.02
Niacina (B3) (mg)	0.594	0.6	0.6
Vitamina B6 (mg)	0.08	0.09	0.09
Vitamina E (mg)	0.54	0.5	0.53
Selenio (µg)	0.4	0.5	0.5

Fuente: USDA (2024), BEDCA y FAO.

ANEXO 2. Condiciones del 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 %) **ANEXO**

3. Condiciones del cromatógrafo de etileno.

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