

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS. PLAN 2020



**UTILIZACION DE ACEITES ESENCIALES EXTRAÍDOS DE ZUMO Y CORTEZA DE
LIMÓN COMO HERRAMIENTA POSCOSECHA PARA ALARGAR LA VIDA UTIL DEL
LIMÓN ECOLÓGICO**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2025



Autor/a: Noelia Company Pla

Tutor/a: Pedro Javier Zapata Coll

Co-tutor/a: María José Giménez Torres



UTILIZACION DE ACEITES ESENCIALES EXTRAÍDOS DE ZUMO Y CORTEZA DE LIMÓN COMO
HERRAMIENTA POSCOSECHA PARA ALARGAR LA VIDA UTIL DEL LIMÓN ECOLÓGICO

RESUMEN

Los limones son susceptibles a las enfermedades fúngicas postcosecha, siendo las más importantes las causadas por *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* y *Geotrichum citri-aurantii*. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación postcosecha de aceites esenciales obtenidos del zumo (AEZ) y de corteza de limón (AEC) para prolongar la vida útil del limón. Se trataron limones ecológicos de la variedad 'Fino' con aceite esencial obtenido a partir de AEC y AEZ a tres concentraciones (100, 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$) y se compararon con limones control. Se evaluaron parámetros físico-químicos y la incidencia de podredumbres durante 28 días de almacenamiento en frío. Los resultados mostraron que los limones tratados con AEC a 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$ mostraron una mayor reducción del porcentaje de podredumbre acumulada tras 28 días de almacenamiento sin afectar al resto de parámetros de calidad del limón evaluados.

Palabras clave: Citrus limon, aceites esenciales, conservación, podredumbre, calidad.

USE OF ESSENTIAL OILS EXTRACTED FROM LEMON JUICE AND PEEL AS A POSTHARVEST TOOL
TO EXTEND THE SHELF LIFE OF ORGANIC LEMONS

ABSTRACT

Lemons are susceptible to postharvest fungal diseases, the most important being those caused by *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* and *Geotrichum citri-aurantii*. The aim of this study was to evaluate the effect of postharvest application of essential oils obtained from lemon juice (AEZ) and lemon peel (AEC) to prolong the shelf-life of lemons. Organic lemons of the 'Fino' variety were treated with essential oil obtained from AEC and AEZ at three concentrations (100, 500 and 1000 $\mu\text{L/L}$) and compared with control lemons. Physico-chemical parameters and the fungal decay incidence were evaluated during 28 days of cold storage. The results showed that lemons treated with AEC at 500 and 1000 $\mu\text{L/L}$ showed a greater reduction in the percentage of accumulated fungal decay incidence after 28 days of storage without affecting the rest of the lemon quality parameters evaluated.

Key words: Citrus limon, essential oils, storage, rot, quality.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Origen e Historia	5
1.2. Importancia Económica	6
1.3. Limonero: Morfología y Variedades Comerciales	10
1.4. Parámetros de Calidad del Limón	12
1.5. Alteraciones y Pérdidas de Calidad Postcosecha en Limón	14
1.6. Tratamientos Postcosecha.	16
1.7. Uso de Aceites Esenciales.....	19
2. OBJETIVOS	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Material Vegetal y Diseño Experimental	20
3.2. Determinaciones Analíticas	21
3.3. Análisis estadístico.....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
5. CONCLUSIONES.....	30
6. BIBLIOGRAFÍA	31

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Origen e Historia

El limón es el fruto procedente del limonero (*Citrus limon* (L.) Burm. F), planta perennifolia perteneciente al género *Citrus* dentro de la familia de las Rutáceas. Su cultivo se produce, principalmente, en países de las regiones tropicales y subtropicales (Serna-Escolano et al., 2021). A nivel global, el limón ocupa la tercera posición en importancia económica entre las especies de cítricos cultivadas, siendo superado únicamente por el naranjo (*Citrus sinensis*) y el mandarino (*Citrus reticulata*) (Morton, 1987).

Aunque no se tiene certeza absoluta sobre el origen exacto del limonero, se acepta generalmente que proviene del sudeste asiático, particularmente de las regiones orientales del Himalaya, como la India, donde también se originó el cidro (*Citrus medica*). Según el estudio genético de Nicolosi et al. (2000), el limón es el resultado de un cruce híbrido entre el cidro y el naranjo amargo (*Citrus aurantium*), este último a su vez híbrido de mandarina y pomelo. Esta hibridación explica la compleja estructura genética del limonero. Se presume que su cultivo se expandió hacia China durante la dinastía Sung (760-1297 d.C.) y fue introducido en la cuenca mediterránea por los árabes entre los siglos X y XII, donde se desarrolló una gran diversidad de variedades. Las evidencias de ADN cloroplástico y marcadores moleculares confirman además que el cidro fue progenitor masculino, mientras que el naranjo amargo aportó el material genético femenino en el origen del limón.

Gracias a la expansión árabe en la península ibérica, el limón comenzó a cultivarse en la región Mediterránea favorecido por el clima propicio de la zona. A principios de la Edad Moderna, su cultivo ya era significativo en áreas como Levante y Andalucía. Aunque en un principio se utilizaban como árboles decorativos, en esta época comenzó a valorarse más su fruto. En Murcia, hay registros del cultivo de limoneros desde el siglo XV, especialmente en la Vega del río Segura, cuyas condiciones climáticas resultaron ideales para su desarrollo (Acosta Motos et al., 2022).

La producción comercial del limón ha ido creciendo de forma constante a lo largo del tiempo. En el siglo XIX, con el avance de las comunicaciones y el transporte, el limón producido en España pudo exportarse a mercados lejanos, lo cual impulsó aún más su cultivo y promovió el cambio de tierras de secano a tierras de regadío.

La distribución de la producción de limón en España por comunidades autónomas (Figura 1) pone de manifiesto que la Región de Murcia lidera con un 61% de la producción nacional, seguida de la Comunidad Valenciana con un 28% y de Andalucía con un 10% (Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca de la R. de Murcia, 2023).

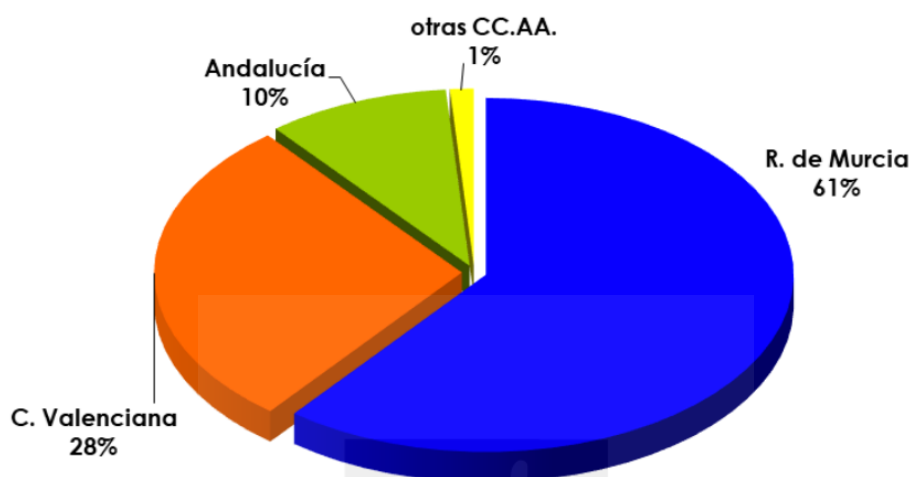


Figura 1. Distribución de la producción de limón en España Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca de la R. de Murcia (2023).

1.2. Importancia Económica

El sector citrícola presenta una gran importancia en el sector agroalimentario en su conjunto, e incide de manera directa en las economías rurales de producción considerándose un sector estratégico. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, expone que España ocupa el puesto número 6 en cuanto a la producción de limones, con más de 1 millón de toneladas de media al año, lo que supone el 5,1% del total de la producción mundial. España, junto con México, es el principal comercializador de limones en fresco del mundo, con más de 600.000 t al año (20,5% del total) (MAPA 2024).

En 2022, el cultivo de limón en España ocupaba 52.119 hectáreas, lo que representa el 17,5% de la superficie total dedicada a cítricos. Su valor económico rondaba los 450 millones de euros, equivalente al 18,2% del valor total del sector citrícola. En los últimos años, la superficie destinada al cultivo del limón ha experimentado un notable crecimiento. Después de un periodo de estabilidad, e incluso de descenso hasta alcanzar su punto más bajo en 2014, la tendencia cambió, registrándose un aumento del 39% hasta el año 2022 (MAPA 2024).

Atendiendo a las comunidades autónomas con mayor producción de limón, cabe destacar que, en la Comunidad Valenciana, Alicante supone cerca del 96% en superficie y el 98% en producción del total dentro de la comunidad (Tabla 1).

Tabla 1. Superficie y producción de limón en la Comunidad Valenciana (Fuente: Informe del Sector Agrario Valenciano, 2025. Elaboración propia).

VARIEDAD	SUPERFICIE (ha)							
	ALICANTE		CASTELLÓN		VALENCIA		CV	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
FINO	8.952	8.968	70	58	255	255	9.274	9.281
VERNA	7.564	7.182	17	16	52	45	7.633	7.243
TOTAL	16.516	16.150	87	74	304	300	16.907	16.524
VARIEDAD	PRODUCCIÓN (t)							
	ALICANTE		CASTELLÓN		VALENCIA		CV	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
FINO	189.640	176.023	635	638	2.314	2.550	192.589	138.631
VERNA	158.834	123.178	135	148	415	457	159.384	156.784
TOTAL	348.474	299.200	770	791	2.729	3.007	351.973	302.998

Dentro de la provincia de Alicante, en la comarca del Baix Segura el limonero es el cultivo principal, ocupando alrededor del 90% de la superficie de cultivo de la provincia. Le siguen, a distancia, la comarca del Baix Vinalopó, y la Marina Baixa.

El valor de la producción del limón de la Comunidad Valenciana representa el 24,7% del valor de España. La producción del limón supone, en la Comunidad Valenciana el 9,5% del valor de los cítricos y el 3,5% del valor de la producción vegetal. Si nos ceñimos a la provincia de Alicante la producción del limón supone el 43,2% del valor de la producción de cítricos y el 12,1% del valor del total de la producción vegetal de la provincia (Tabla 2) (GVA Agricultura, 2025).

Tabla 2. Valor de la producción (miles de €) en el año 2022 (Fuente: MAPA. Cuentas Económicas de la Agricultura. Elaboración propia).

ÁMBITO	VALOR DE LA PRODUCCIÓN		
	LIMÓN	CÍTRICOS	PRODUCCIÓN VEGETAL
ESPAÑA	401.353	2.229.828	37.703.109
COMUNITAT VALENCIANA	99.137	1.044.789	2.809.961
ALICANTE	98.356	227.726	812.685

La Región de Murcia es la comunidad Autónoma con mayor producción de limón a nivel nacional, tal y como se ha detallado anteriormente. De las 44.000 ha de superficie dedicadas al cultivo de este cítrico, 22.013 se concentran en esta región, siendo el 57% de la superficie cultivada total de esta especie. Las principales zonas productoras de limón dentro de la Región de Murcia se expanden por toda la Vega del Segura, abarcando los términos municipales de Murcia, Alcantarilla, Beniel, Fortuna, Abanilla, Santomera, etc. (Figura 2) (Acosta-Motos et al., 2020).



Figura 2. Zonas productoras de limón en la Región de Murcia (Fuente: Acosta-Motos et al., 2020).

Atendiendo al análisis de la campaña de cítricos de 2022/2023 elaborada por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), se observa que las exportaciones españolas de cítricos alcanzaron los 2,34 millones de toneladas, lo que representó una caída del 3% con respecto a la campaña anterior y un descenso del 17,8% en comparación con la media de las cinco campañas previas. Sin embargo, en términos de valor, las exportaciones generaron alrededor de 2.661,94 millones de euros, lo que supuso un incremento del 1,6% respecto a la campaña 2022/23 y un 2,6% por encima de la media de los últimos cinco años (Tabla 3) (MAPA, 2023).

En cuanto a las importaciones, el volumen en dicha campaña ascendió a 168.130 toneladas, un 0,4% más que la campaña anterior y un 16,6% por encima del promedio de las cinco campañas anteriores (Tabla 3). El valor de esas importaciones fue de 152,98 millones de euros, lo que representa un aumento del 14,95% frente a la campaña pasada y un 30,85% más que la media quinquenal.

Tabla 3. Situación global exportaciones e importaciones de cítricos (Fuente: EUROSTAT, MAPA 2023
Elaboración propia).

VOLUMEN (t)	2022/2023	2023/2024	Media 5	Variaciones 2023/2024	
				Vs 2022/2023	Vs Media 5
Exportaciones	2.416.883	2.342.298	2.847.824	-3,09%	-17,75%
Importaciones	167.489	168.130	144.241	0,38%	16,56%
VALOR (miles €)	2022/2023	2023/2024	Media 5	Variaciones 2023/2024	
				Vs 2022/2023	Vs Media 5
Exportaciones	2.620.552	2.661.936	2.593.874	1,58%	2,62%
Importaciones	133.082	152.984	116.914	14,95%	30,85%
Balance	2.487.470	2.508.953	2.476.961	0,86%	1,29%
Tasa de Cobertura	1969%	1740%	2219%	-	-

En relación con dicha campaña, el volumen de limones exportados fue de 454.739 toneladas, un 2,8% superior a 2022/23 y un 5,7% inferior a la media de las últimas 5 campañas (Figura 3). En valor se observó un descenso del 2,6% respecto a 2022/23 pero similar a la media, con una cifra de 532,8 millones de euros (Figura 4).

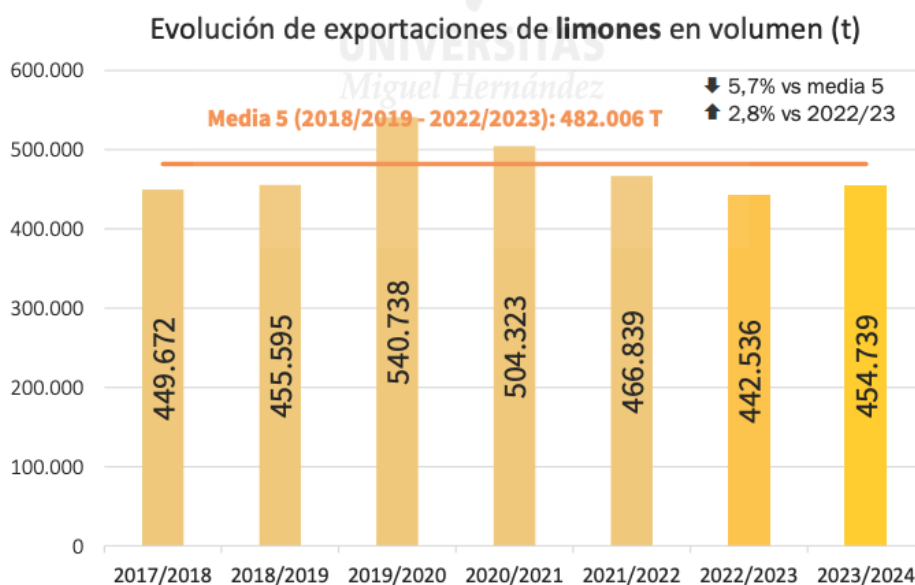


Figura 3. Evolución de exportaciones de limones en Volumen (t) campaña 2023/2024 (Fuente: EUROSTAT, MAPA).

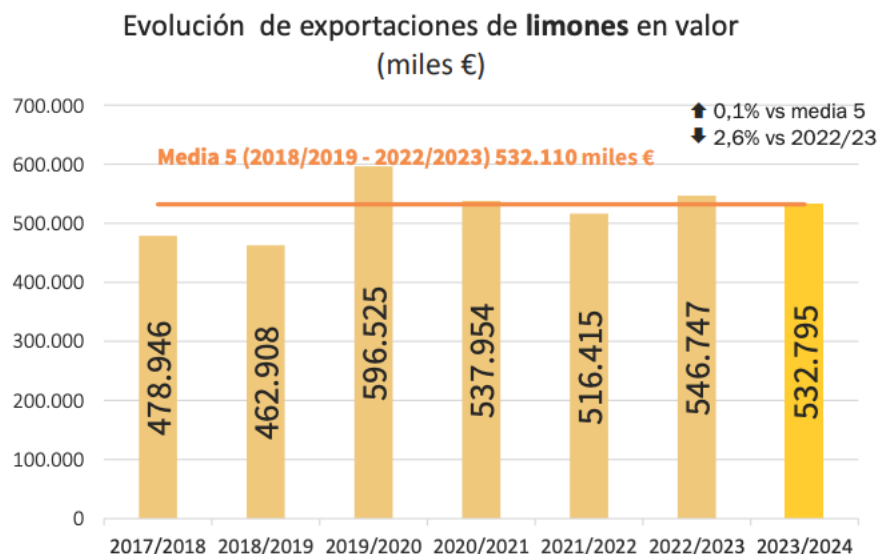


Figura 4. Evolución de exportaciones de limones en Valor (miles €) campaña 2023/2024 (Fuente: EUROSTAT, MAPA 2023).

El 83,3% del volumen total de exportaciones se dirigió a los países de la UE27, lo cual supuso un aumento del 0,6% en comparación con la campaña anterior, aunque todavía un 5,4% por debajo del promedio de los últimos cinco años. Alemania lideró el principal destino, concentrando el 32% de las exportaciones, y manteniendo cifras similares a la media histórica. Por otro lado, países como Bélgica, la República Checa y Suecia mostraron incrementos en sus importaciones de cítricos españoles.

En cuanto a los países extracomunitarios, se observó una recuperación del 15% con respecto a la campaña anterior, con aumentos en los envíos a prácticamente todos los destinos. Destacó especialmente el Reino Unido, con un crecimiento del 7%, Canadá, con un notable incremento del 138%, y el grupo formado por Liechtenstein, Noruega y Suiza, con un 9% más. Sin embargo, en conjunto, las exportaciones a terceros países se situaron un 7% por debajo de la media de los últimos cinco años (EUROSTAT, MAPA, 2023).

1.3. Limonero: Morfología y Variedades Comerciales

El limonero, es un cítrico robusto, con grandes hojas alargadas de color verde claro, pecíolo corto y con márgenes ligeramente serrados o dentados. Las hojas nuevas, al crecer, presentan un tono morado, y el limbo oculta glándulas que contienen aceites esenciales.

Las flores del limonero crecen agrupadas en racimos, y sus capullos se presentan con un tono morado. El limón, su fruto, tiene una forma ovalada que termina en una pequeña protuberancia característica. La piel está formada por dos capas: la externa, también conocida como “flavedo”, varía en color desde verde hasta un amarillo intenso dependiendo del grado de madurez, y contiene glándulas con aceites esenciales que actúan como defensa natural frente a insectos y microorganismos. La capa interna, conocida como “albedo”, es blanca, esponjosa y rica en pectinas y azúcares. Su grosor varía según la variedad del limón y su estado de madurez (Acosta Motos et al., 2022).

En España, se cultivan principalmente dos variedades diferenciadas, entre varios aspectos, por el tiempo de recolección. La variedad recolectada en otoño-invierno, es la reconocida como variedad ‘Primofiori’ o ‘Fino’, es un limón de forma esférica u ovalada, con una pequeña protuberancia en la zona apical. La pulpa presenta alto contenido en zumo y contiene pocas semillas. El árbol es vigoroso, productivo y posee muchas espinas. Por otro lado, la variedad recolectada en primavera-verano es la conocida como variedad ‘Verna’. Esta variedad se caracteriza por ser frutos de tamaño medio o grande, con una protuberancia apical bien desarrollada. La corteza es gruesa, rugosa e irregular, pero la pulpa es tierna y su jugo tiene una adecuada acidez (Acosta Motos et al., 2022).

A)



B)



Figura 5. A) Frutos de la variedad ‘Primofiori’ o ‘Fino’ y B) Frutos de la variedad ‘Verna’ (Acosta Motos et al., 2022).

En la Figura 6, se muestra el calendario de recolección de las distintas variedades de lima, limones y pomelos según el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) donde se observa que las variedades de limón como el ‘Verna’ y el ‘Fino’ presentan una larga ventana de recolección.

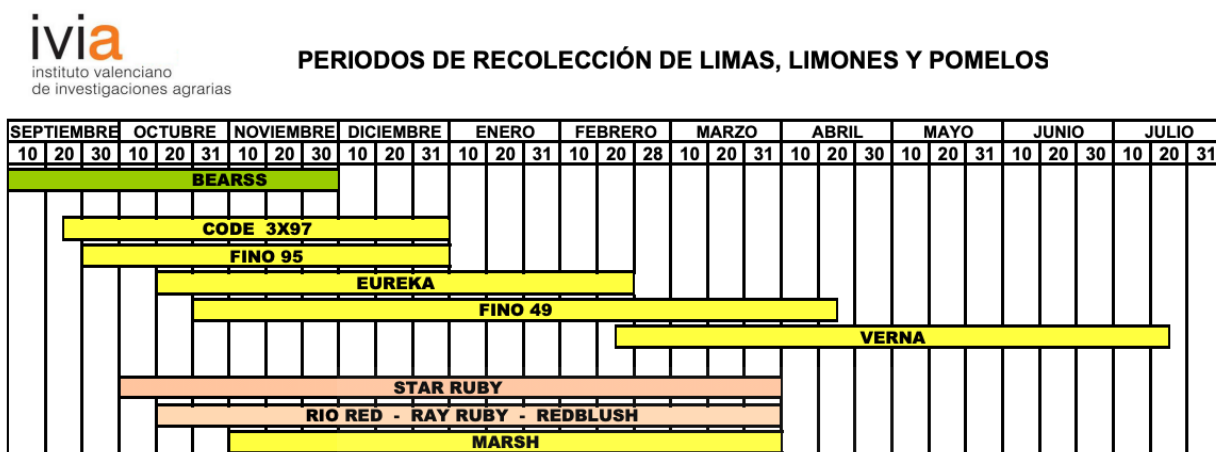


Figura 6. Calendario de recolección de limas, limones y pomelos. (Fuente: IVIA (Pardo y Buj, 2019).

1.4. Parámetros de Calidad del Limón

Los parámetros de calidad del limón se exponen en el **REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2019/428 DE LA COMISIÓN** de 12 de julio de 2018 que modifica el Reglamento de Ejecución (UE) n.º 543/2011 en lo que atañe a las normas de comercialización en el sector de las frutas y hortalizas. En la Parte 2 de la PARTE B del ANEXO 1 del siguiente reglamento, se expone la norma de comercialización para los cítricos cuyas variedades se entreguen en estado fresco al consumidor.

En primer lugar, en cuanto a las disposiciones de calidad, cabe destacar que en todas las categorías, los cítricos deben de permanecer intactos, exentos de heridas y/o magulladuras cicatrizadas de importancia, sanos (exentos de podredumbres u otras alteraciones que los hagan impropios para el consumo), limpios, exentos de plagas, daños causados por plagas que afecten a la pulpa, señales de desecación o deshidratación, daños causados por bajas temperaturas o heladas, humedad exterior anormal y de olores y/o sabores extraños. Además, deben hallarse en un estado y fase del desarrollo que les permitan soportar su transporte y manipulación y llegar en condiciones satisfactorias a su destino.

Atendiendo a los requisitos de madurez, deben de haber alcanzado un estado de desarrollo y maduración adecuado. El estado de madurez de los cítricos se determina en base a los siguientes parámetros específicos para cada especie:

- Contenido mínimo de zumo

- Relación mínima azúcar/ácido
- Coloración

El grado de coloración deberá ser tal que, al término de su proceso normal de desarrollo, los cítricos alcancen en el lugar de destino el color típico de la variedad a la que pertenezcan.

Los limones deben tener un contenido mínimo de zumo del 20%. Deben presentar una coloración típica de la variedad, aunque se admitirán los frutos de coloración verde (no oscura), siempre que respeten el contenido mínimo de zumo. Los frutos que cumplan con esto podrán ser “desverdizados”. Este tratamiento solo se permitirá si no se ven modificadas las demás características organolépticas naturales del cítrico.

Todos los cítricos, se clasifican en una de las siguientes categorías (Figura 7).

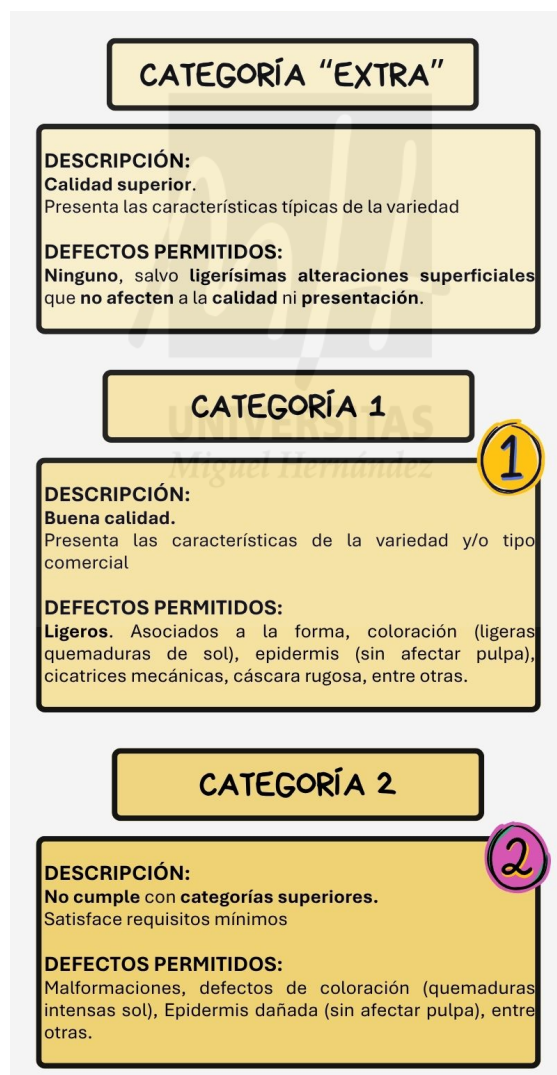


Figura 7. Categorías comerciales de los cítricos (Fuente: BOE, REGLAMENTO DELEGADO 2019/428. Elaboración propia).

Atendiendo a las disposiciones relativas a la presentación, en base a la homogeneidad, cabe destacar que el contenido de cada envase deberá ser homogéneo y contener únicamente cítricos del mismo origen, variedad o tipo comercial, calidad y calibre y en los que pueda apreciarse el mismo grado de madurez y desarrollo. Además, en la categoría “Extra”, se exigirá también la homogeneidad de coloración. La parte visible del contenido del envase debe ser representativa del conjunto.

En cuanto al envasado, los cítricos deben envasarse de forma que su protección quede garantizada convenientemente. Los materiales utilizados en el interior del envase deben estar limpios y ser de una calidad tal que eviten causar cualquier alteración externa o interna al producto. Los envases deben estar exentos de materias extrañas. No obstante, se permitirá que los cítricos lleven adherida una rama corta, no leñosa, provista de algunas hojas verdes.

Por último, en lo relativo a las disposiciones de mercado, cada envase llevará agrupadas en uno de los lados y con caracteres legibles, indelebles y visibles desde el exterior, las indicaciones siguientes:

- Identificación
- Naturaleza del producto
- Origen del producto
- Características comerciales
- Marca oficial de control (facultativa)

La apariencia visual, la frescura y la firmeza son factores clave que definen la calidad externa del limón, mientras que los atributos de calidad interna son el sabor, el gusto y la capacidad antioxidante del fruto, todos ellos contribuyendo a la aceptación y decisión de compra del consumidor. El sabor del limón depende de la concentración de azúcares y ácidos orgánicos, y especialmente de la relación entre ambos niveles (Asencio et al., 2018; Lado et al., 2018). Además, el limón es rico en compuestos bioactivos, como el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos, principalmente flavonoides, que, junto con los aceites esenciales y los carotenoides, son responsables de los efectos beneficiosos para la salud de su consumo (González-Molina et al., 2010; Klimek-Szczykutowicz et al., 2020; Oboh et al., 2015).

1.5. Alteraciones y Pérdidas de Calidad Postcosecha en Limón

El limón, es un fruto no climatérico, que presenta tasas de respiración y producción de etileno bajas durante la maduración (Pérez-Alfonso et al., 2012; Valero y Serrano, 2010). Sin embargo, es susceptible a trastornos fisiológicos, bioquímicos y patológicos que provocan pérdidas de calidad durante el almacenamiento y el

transporte, lo que causa importantes pérdidas de ingresos comerciales y afecta a la competitividad española con otros países (Ma et al., 2019).

Tras la recolección, las condiciones y duración del almacenamiento afectan significativamente la calidad postcosecha de los limones, generando alteraciones como pérdidas de peso por deshidratación y aumento de la permeabilidad celular (Eaks, 1961; Cohen et al., 1994), cambios de color asociados a desequilibrios en los pigmentos (Cohen y Schiffmann-Nadel, 1978), y variaciones en los sólidos solubles totales (SST), relacionado con el contenido de azúcares (Kaur et al., 2014). Además, se produce una disminución en la acidez titulable (TA) y el contenido de ácido cítrico, debido al metabolismo respiratorio del fruto (Tsantili et al., 2002; Cohen y Schiffmann-Nadel, 1978), así como una degradación del ácido ascórbico o vitamina C durante el almacenamiento (Eask, 1961; Burdurlu et al., 2006).

Por otro lado, después de ser recolectados, los frutos son susceptibles a alteraciones fisiológicas y patológicas que limitan su vida útil. La mayoría de los agentes patógenos causantes de enfermedades postcosecha en cítricos son hongos filamentosos y la sintomatología que producen en los frutos son las podredumbres, término que se utiliza para nombrar las propias enfermedades (Pássaro C., 2012).

Las pérdidas ocasionadas por enfermedades son variables y dependen de factores como la región productora, la especie y variedad del cultivo, la edad y estado de los árboles, el clima a lo largo de la temporada, el momento y método de recolección, el manejo postcosecha, las condiciones de almacenamiento y el mercado al que se destina la fruta. A nivel mundial, destacan las pérdidas provocadas por hongos que infectan a través de heridas como *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum*, responsables de las podredumbres verde y azul, respectivamente (Palou, 2024). Ambas enfermedades son muy comunes y representan más del 80% de las pérdidas por descomposición, por lo que son el principal objetivo de las estrategias de control postcosecha en cítricos. La podredumbre ácida causada por *Geotrichum citri-aurantii* es otra enfermedad postcosecha, que en ocasiones produce pérdidas importantes (Regnier et al., 2014). Estos patógenos requieren de heridas o lesiones en la piel del limón para desarrollarse (Gutiérrez-Pozo et al., 2023).

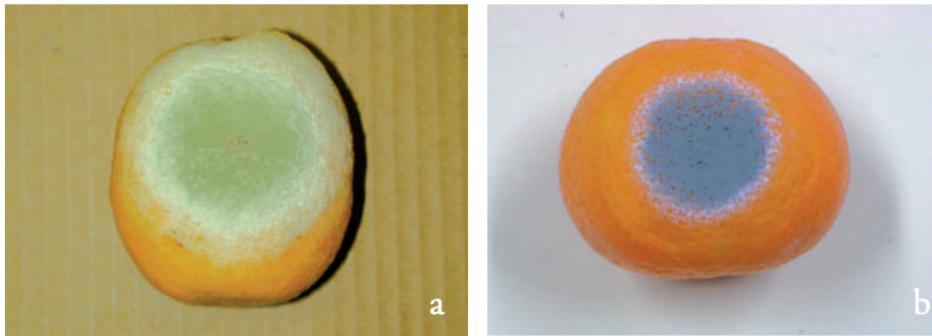


Figura 8. Podredumbre verde y podredumbre azul causada por *P. digitatum* y *P. italicum*, respectivamente, en naranja (Fuente: Catarina et al., 2012).

Además, también existen enfermedades que infectan el fruto antes de la cosecha, pero permanecen latentes y se manifiestan durante la postcosecha, como la podredumbre negra (*Alternaria*), la gris (*Botrytis cinerea*), la marrón (*Phytophthora citrophthora*), las pedunculares (*Diplodia natalensis* y *Phomopsis citri*), la antracnosis (*Colletotrichum gleosporioides*), entre otras, las cuales tienen menor presencia y solo causan daños significativos en ciertas campañas, regiones o condiciones específicas (Regnier et al., 2014).

El control de las enfermedades que afectan a los cítricos después de la cosecha se realiza principalmente en las centrales hortofrutícolas, mediante el uso de fungicidas químicos de síntesis. Estos tratamientos son generalmente de bajo costo, sencillos de aplicar, tienen una acción duradera y son efectivos tanto para curar infecciones fúngicas ya presentes como para prevenir nuevas infecciones que puedan ocurrir luego de la aplicación. Además, muchos de estos productos también evitan la formación de esporas. Entre los fungicidas más utilizados en postcosecha de cítricos se encuentra el imazalil, el tiabendazol y el ortofenilfenato (Catarina et al., 2012). Sin embargo, la aparición de resistencias a imazalil junto con los efectos perjudiciales para la salud y el medioambiente derivado del uso de productos químicos hace necesaria la búsqueda de nuevas alternativas con compuestos naturales para ser utilizados como fungicidas y reducir las podredumbres durante la postcosecha de cítricos.

1.6. Tratamientos Postcosecha.

Una proporción considerable de frutas se desperdicia al final de la cadena de suministro y distribución, estimándose que entre un 15% y un 30% son desechadas por los propios consumidores. Esta pérdida representa no solo un impacto económico importante, sino también un problema medioambiental y de seguridad alimentaria. Entre las causas principales del deterioro se encuentran las

infecciones por hongos fitopatógenos, los cuales proliferan fácilmente en la superficie de los frutos debido a su alto contenido de agua, pH bajo y a la disminución de las defensas naturales tras la cosecha. Para evitar estas pérdidas, tradicionalmente se han aplicado fungicidas sintéticos tanto durante el cultivo como en la etapa postcosecha con el fin de controlar la presencia de microorganismos en la superficie del fruto (FAO, 2003). Sin embargo, el uso continuado de estos productos ha favorecido la aparición de cepas resistentes, ha reducido la disponibilidad de nuevos principios activos, y ha suscitado una creciente preocupación social por sus posibles efectos sobre la salud humana y el medio ambiente.

La fase de postcosecha es especialmente crítica, ya que la fruta continúa realizando procesos metabólicos como la respiración y la producción de etileno, lo cual acelera la maduración y favorece el desarrollo de patógenos si no se mantienen condiciones adecuadas de almacenamiento. Es por ello que se aplican medidas complementarias como el control de temperatura y humedad, la desinfección con ozono, el lavado con soluciones cloradas, el uso de peróxido de hidrógeno acidificado, tratamientos térmicos, modificaciones de pH y recubrimientos con agentes conservantes (Bonilla Martín, 2019). Sin embargo, la necesidad de reducir la dependencia de tratamientos químicos ha impulsado la investigación en métodos alternativos, destacando entre ellos la utilización de sales orgánicas e inorgánicas y agentes de biocontrol.

Las principales alternativas químicas de baja toxicidad para el control de podredumbres en cítricos son los aditivos alimentarios (Palou et al., 2002), las sales inorgánicas (Youssef et al., 2012; Palou et al., 2002; Deliopoulos et al., 2010; Cerioni et al., 2013a; 2023b), y fitoquímicos (Hao et al., 2010). Diversas investigaciones han demostrado que varias sales, sustancias clasificadas como GRAS (generalmente reconocidas como seguras), controlan la podredumbre verde y azul de los cítricos causadas por *Penicillium digitatum* y *Penicillium italicum*, respectivamente. Entre estas sales se incluyen bicarbonato de sodio, carbonato de sodio (Smilanick et al., 1999; Palou et al., 2001), sorbato de potasio (Montesinos-Herrero et al., 2009; Smilanick et al., 2008; Youssef y Hussien, 2020), silicato de potasio (Moscoso-Ramírez y Palou, 2014), benzoato de sodio (Montesinos-Herrero et al., 2016; Palou et al., 2002), entre otros. En general, las soluciones acuosas de estas sales han proporcionado una actividad antifúngica significativa, y son compatibles o incluso sinérgicas con otros métodos de control alternativos, como la aplicación de calor o los agentes de control biológico, que permiten su uso como tecnologías de obstáculos en programas de gestión integrada de enfermedades postcosecha (Palou et al., 2016; Wisniewski et al., 2016).

El biocontrol en postcosecha se basa en el uso de microorganismos antagonistas (principalmente bacterias, hongos filamentosos y levaduras) capaces de inhibir el

desarrollo de fitopatógenos a través de diversos mecanismos de acción. Estos mecanismos incluyen la competencia por espacio y nutrientes, la producción de sideróforos que limitan la disponibilidad de hierro para los patógenos, la secreción de enzimas hidrolíticas que degradan sus paredes celulares, la generación de compuestos antifúngicos volátiles y la capacidad para reducir las defensas del hospedante mediante la activación de proteínas PE, fitoalexinas y respuestas antioxidantes (Bonilla Martín, 2019; Liu et al., 2013). A estos mecanismos se suma la formación de biopelículas, que refuerzan la adhesión del antagonista a la superficie del fruto y dificultan el establecimiento del patógeno.

Las levaduras antagonistas han cobrado un interés particular en los últimos años debido a su capacidad para colonizar rápidamente nichos ecológicos, su tolerancia a condiciones ambientales adversas y su bajo riesgo para la salud humana. Especies como *Candida oleophila*, *Pichia guilliermondii*, *Cryptococcus laurentii*, *Rhodotorula glutinis* y *Metschnikowia fructicola* han demostrado eficacia frente a patógenos comunes como *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea* o *Alternaria alternata* en frutos como manzana, pera uva y cítricos (Liu et al., 2013). Estas levaduras no solo inhiben directamente los patógenos, sino que también inducen cambios en la expresión génica del fruto hospedante, activando rutas de defensa que fortalecen su resistencia a la infección. Además, algunas cepas han mostrado capacidad para tolerar el estrés oxidativo que se genera tras el daño por manipulación y la exposición a condiciones de almacenamiento (Liu et al., 2013).

Pese a sus ventajas, la implementación comercial de estos agentes de biocontrol todavía enfrenta desafíos importantes. Entre ellos se incluyen la variabilidad en su eficacia bajo condiciones reales, la necesidad de desarrollar formulaciones estables y de fácil aplicación, la compatibilidad con otros tratamientos postcosecha, y los altos costes asociados al desarrollo, regulación y comercialización de estos productos. Asimismo, los antagonistas deben demostrar una viabilidad prolongada en condiciones comerciales, lo que ha llevado a explorar estrategias como la preadaptación al estrés, el uso de protectores como trehalosa o ácido ascórbico, y la combinación con otros compuestos naturales como el quitosano o sales inorgánicas (Bonilla Martín, 2019; Liu et al., 2013).

Por todo ello, el futuro del control biológico en postcosecha depende en gran medida de un mayor entendimiento de la ecología y fisiología de los microorganismos antagonistas, de sus interacciones tritróficas con el patógeno y el fruto hospedante, y del desarrollo de tecnologías de formulación y aplicación que aseguren su eficacia y seguridad a escala comercial.

1.7. Uso de Aceites Esenciales.

El uso de aceites esenciales ha cobrado especial atención en la industria alimentaria, ya que han sido sustancias generalmente reconocidos como seguros (GRAS) por la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU (FDA, 2016; Espina et al., 2011), y algunos estudios muestran que ciertos alimentos toleran su presencia (Fisher y Phillips, 2008). Los aceites esenciales han mostrado ser efectivos inhibiendo una amplia gama de microorganismos responsables del deterioro de los alimentos aplicados solos (Tajkarimi et al., 2010) o en combinación con el envasado en atmósfera modificada (Serrano et al., 2008). Entre estos aceites esenciales, timol y carvacrol, los principales componentes activos de tomillo y orégano, respectivamente, han demostrado ser efectivos reduciendo los recuentos microbianos en cereza dulce (Serrano et al., 2005) y uva de mesa (Guillén et al., 2007; Valero et al., 2006; Valverde et al., 2005), mostrando un efecto adicional en el mantenimiento de la calidad general de la fruta durante el almacenamiento, incluyendo sus propiedades organolépticas, nutritivas y funcionales.

El uso de aceites esenciales timol y carvacrol aplicados en líneas de procesamiento de cítricos en combinación con cera comercial fue efectivo reduciendo el deterioro microbiano, las podredumbres y las pérdidas de calidad de limón durante el almacenamiento postcosecha, en comparación con el control (agua), cera y cera + imazalil como control positivo. Los resultados mostraron que el tratamiento con cera + aceites esenciales produjo una reducción de los recuentos de aerobios totales, mohos y levaduras en la superficie de limones, así como una reducción de limones podridos tras 8 semanas de almacenamiento, siendo la eficacia similar a la obtenida con el tratamiento de cera + imazalil. Además, los limones recubiertos con aceites esenciales o imazalil mostraron atributos de calidad similares (pérdida de peso, ablandamiento y color) retención en comparación con frutos de control o encerados (Castillo et al., 2014).

2. OBJETIVOS

El **objetivo general** de este proyecto es el aprovechamiento de aceites esenciales obtenidos de subproductos de la empresa citrícola como tratamiento postcosecha para la mejora de la calidad y vida útil y la reducción de podredumbres en limón ecológico.

Para ello, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la efectividad de estos tratamientos postcosecha sobre la calidad del limón durante el periodo de conservación. Para ello, se realizarán

diferentes análisis físico-químicos durante su periodo de almacenamiento refrigerado, para evaluar la calidad de los limones tratados con los diferentes extractos de aceites y concentraciones con respecto a los controles.

- Evaluar la efectividad de los tratamientos postcosecha sobre el control de podredumbres durante el periodo postcosecha. Evaluar la aparición de podredumbres durante el periodo de almacenamiento refrigerado en los diferentes tratamientos con respecto a los limones control.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material Vegetal y Diseño Experimental

Los aceites esenciales, extraídos del zumo y corteza de limón, fueron proporcionados por una empresa de procesamiento de frutas ubicada en Albal (Valencia) cuya caracterización se incluye en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización de los aceites obtenidos a nivel industrial.

Parámetro	Aceite de zumo limón	Aceite de corteza de limón
Color	Incoloro	Limón
Aspecto	Brillante	Brillante
Punto de ebullición	176 °C	
Punto de inflamación	46-50 °	
Densidad	0,840-0,850 Kg/L	0,85 ± 0,01 Kg/L
Índice de refracción	1.470 – 1.476 n_{20D}	1.473 – 1.477 n_{20D}
Rotación óptica	65-90° 10cmd _{20°C}	60-75° 10cmd _{20°C}
Composición	d-limoneno > 95 %	R-(+)-Limoneno > 58% Aldehídos- Citral > 2,1 %

Para realizar los ensayos se utilizaron limones ecológicos de la variedad ‘Fino’ recolectados de una finca comercial ubicada en Fortuna (Murcia). Los limones fueron trasladados a los laboratorios de la Universidad Miguel Hernández donde se realizaron los tratamientos postcosecha. Se seleccionaron limones sin defectos visuales y se aplicaron los tratamientos: control (agua), aceite esencial de corteza

(AEC) y aceite esencial de zumo (AEZ) a 3 concentraciones diferentes (100 µL/L, 500 µL/L y 1000 µL/L) mediante pulverización durante un minuto.

Se realizó una evaluación del efecto de los tratamientos postcosecha con aceites esenciales (zumos y corteza) sobre la calidad de los limones tratados con respecto a los controles (solo agua) durante el periodo de conservación postcosecha.

Para ello, los limones se distribuyeron en lotes de 5 limones x 3 réplicas por tratamiento y día de muestreo y se almacenaron a 8 °C y humedad relativa del 85% para evitar la aparición de daños por frío cuando se almacenan a temperaturas inferiores. Los limones se almacenaron durante 28 días y se realizaron muestreos semanalmente.

Para cada día de muestreo se seleccionarán 3 lotes de 5 limones por tratamiento y se evaluarán los siguientes parámetros: pérdidas de peso, tasa de respiración, producción de etileno, firmeza, color, sólidos solubles totales, acidez titulable y fenoles totales.

3.2. Determinaciones Analíticas

→ **Peso.** Las pérdidas de peso se determinaron mediante una balanza (Radwag Wagi Elektroniczne) con 2 cifras decimales y se expresaron en gramos. Todos los limones se pesaron el día de la recolección (día 0) y cada día de muestreo. Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso inicial.

→ **Tasa de respiración.** La tasa de respiración se midió a temperatura ambiente colocando los limones de forma individual en botes de vidrio de 0,5 L durante 60 min. Transcurrido este tiempo, se tomó 1 mL de la atmósfera y se cuantificó el CO₂ en un cromatógrafo de gases (Shimadzu 14B-GC) acoplado a un detector de conductividad térmica (Serna-Escolano et al., 2021). La tasa de respiración se expresó en mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

→ **Firmeza.** La firmeza se midió de forma individual utilizando un texturómetro TX-XT2i (Stable Microsystems, Godalming, Reino Unido) acoplado a una placa de acero, aplicando una fuerza que provoca una deformación del 5% del diámetro del fruto y los resultados se expresaron como N mm⁻¹ y son la media ± error estándar (ES).

→ **Color.** El color se midió de forma individual en tres puntos del perímetro ecuatorial utilizando un colorímetro Minolta (CRC200; Minolta, Osaka, Japón). Los resultados se expresaron como tono o ángulo hue y son la media ± ES.

→ **Sólidos Solubles Totales y Acidez Titulable.** Se tomaron muestras de zumo de forma individual de cada limón y se determinaron los Sólidos Solubles Totales (SST)

utilizando un refractómetro digital (Hanna Instruments, Rhode Island, EE. UU.) y la acidez titulable (AT) por titulación de 0,5 mL de zumo con NaOH 0,1 mM hasta pH 8.1 utilizando un titulador automático (785 DMP Titrimo; Metrohm, Herisau, Suiza) y los resultados (media $\pm$ ES) se expresaron como g 100 mL⁻¹ (Serna-Escolano et al., 2021).

→ **Fenoles Totales.** La extracción de fenoles del flavedo se realizó homogeneizando 2 g de piel o flavedo con 15 ml de agua: metanol (2:8, v/v) que contiene FaN 2 mM (para inactivar la actividad de la enzima polifenoloxidasas) utilizando un polytron (IKA T18 basic, Ultraturrax). Los extractos se centrifugaron a 10.000 rpm durante 15 min a 4 °C. El contenido fenólico total (TPC) se midió por duplicado en el sobrenadante de cada muestra de flavedo utilizando el Reactivo de Folin-Ciocalteu de acuerdo con Serna-Escolano et al. (2019). Los resultados (media $\pm$ ES) se expresaron como mg de ácido gálico equivalente por 100 g-1 peso fresco (PF).

→ **Incidencia de podredumbres.** Semanalmente, coincidiendo con los días de muestreo, se realizó el recuento de limones podridos para cada uno de los tratamientos realizados y almacenados 8 °C. Los resultados se expresan como % de podrido acumulado con respecto a 60 utilizados durante los 28 días de conservación (5 limones x 3 réplicas x 4 muestreos). Se calculó la incidencia de podredumbre según la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia de podredumbres (\%)} = \left(\frac{\text{Frutos podridos}}{\text{Total de frutos evaluados}} \right) \times 100$$

UNIVERSITAT
Miguel Hernández

3.3. Análisis estadístico

Los resultados se presentan como la media $\pm$ ES de tres réplicas. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA). Cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas, se aplicó la prueba de rangos múltiples (Test Duncan) para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Todos los análisis se realizaron utilizando el software SPSS v.20.0 para Windows (IBM Corporation, Armonk, NY, EE. UU.).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Atendiendo a la tasa de respiración, no se observaron diferencias durante los primeros 14 días de almacenamiento entre los frutos tratados con aceites esenciales (corteza y zumo) y el control. A partir del día 21 se produjo un ligero

incremento en todos los frutos tratados y controles, seguido de una disminución al final del periodo de conservación, sin observarse diferencias significativas entre los limones tratados y los controles (Figura 9).

Este ligero incremento tras el día 21 de almacenamiento, puede explicarse como parte del proceso fisiológico natural del fruto en almacenamiento prolongado, asociado con el inicio de la senescencia y un leve aumento del metabolismo basal (Gutiérrez-Pozo et al., 2023). Este comportamiento se dio por igual en frutos tratados y no tratados por lo que se puede decir que los aceites esenciales no aceleran el deterioro respiratorio ni inducen estrés metabólico adicional. La disminución de la tasa respiratoria al final del periodo de conservación, probablemente de deba a la deshidratación progresiva del fruto y a una reducción general del metabolismo conforme se agotan los recursos respiratorios del tejido. Este patrón es típico durante el almacenamiento prolongado y no implica un efecto negativo atribuible a los tratamientos.

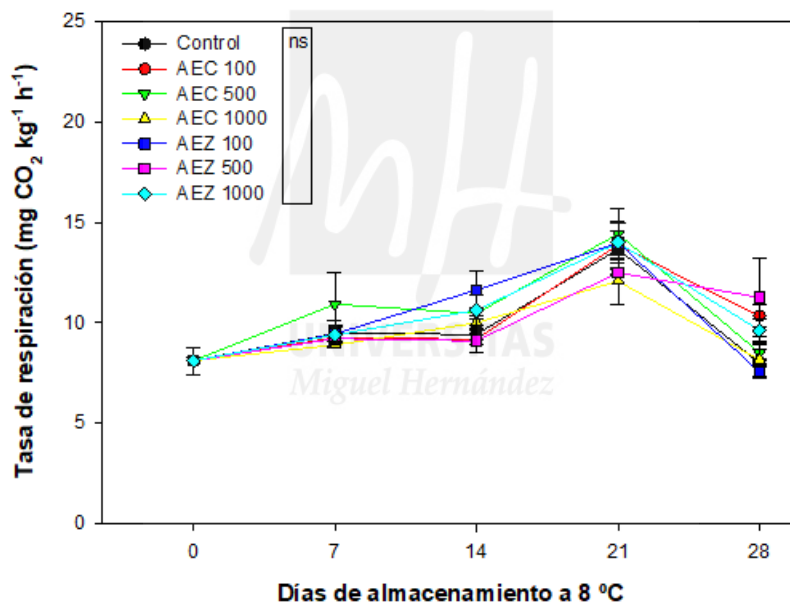


Figura 9. Tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en limón 'Fino' tratado en postcosecha con AEC 100 (aceite corteza 100 $\mu\text{L/L}$), AEC 500 (aceite corteza 500 $\mu\text{L/L}$), AEC 1000 (aceite corteza 1000 $\mu\text{L/L}$), AEZ 100 (aceite zumo 100 $\mu\text{L/L}$), AEZ 500 (aceite zumo 500 $\mu\text{L/L}$) y AEZ 1000 (aceite zumo 1000 $\mu\text{L/L}$) con respecto a los frutos control (agua) tras 28 días de almacenamiento a 8 °C y 85% HR. Diferencias no significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos se indican con 'ns'.

Los frutos tratados con AEZ 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$ fueron los frutos que presentaron mayores pérdidas de peso al final del periodo de conservación (28 días), seguidos por los frutos control, mientras que los frutos tratados con AEZ 100 $\mu\text{L/L}$ fueron los que menores pérdidas de peso sufrieron (Figura 10A). No se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los frutos tratados con aceite de corteza a las

concentraciones de 100 y 500 $\mu\text{L/L}$ y el control; sin embargo, las mayores pérdidas de peso fueron observadas en los frutos tratados con AEZ a las mayores concentraciones (500 y 1000 $\mu\text{L/L}$), obteniéndose las menores pérdidas cuando los frutos fueron tratados con AEZ 100 $\mu\text{L/L}$. Las pérdidas de firmeza fueron significativamente ($p < 0,05$) mayores en los limones tratados con AEZ 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$, echo que se correlaciona a su vez con las mayores pérdidas de peso observadas (Figura 10B).

En base a lo expuesto, cabe destacar que los aceites esenciales pueden ser eficaces como tratamientos antifúngicos, pero su concentración y origen botánico son factores críticos que determinan su efecto sobre la calidad del fruto. Mientras que bajas concentraciones tienden a preservar firmeza y minimizar las pérdidas de peso, dosis elevadas tienen la capacidad de inducir efectos adversos, como deshidratación y ablandamiento, especialmente si el extracto no está optimizado en su composición (Gutiérrez-Pozo et al. 2023).

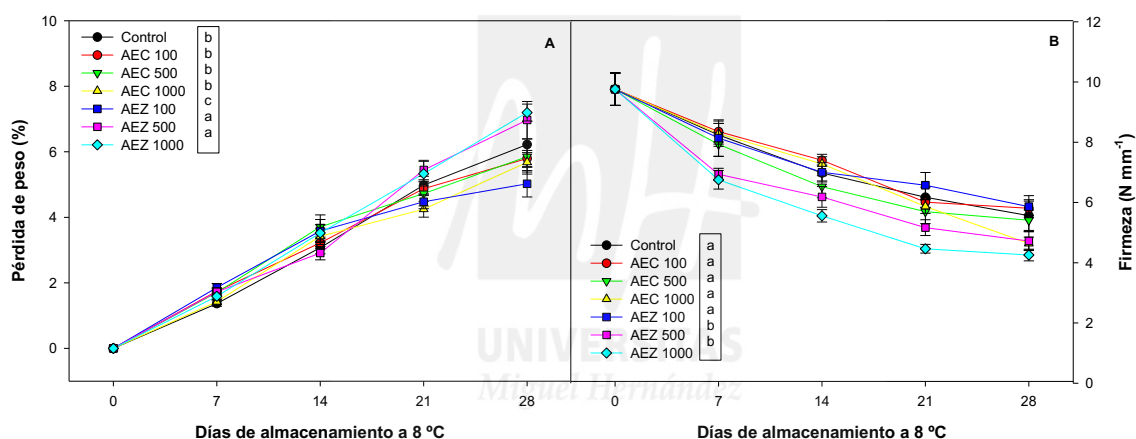


Figura 10. A) Pérdida de peso (%) y B) Firmeza (N mm^{-1}) en limón 'Fino' tratado en postcosecha con AEC 100 (aceite corteza 100 $\mu\text{L/L}$), AEC 500 (aceite corteza 500 $\mu\text{L/L}$), AEC 1000 (aceite corteza 1000 $\mu\text{L/L}$), AEZ 100 (aceite zumo 100 $\mu\text{L/L}$), AEZ 500 (aceite zumo 500 $\mu\text{L/L}$) y AEZ 1000 (aceite zumo 1000 $\mu\text{L/L}$) con respecto a los frutos control (agua) tras 28 días de almacenamiento a 8 °C y 85% HR. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, siguiendo el orden presentado en la leyenda.

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los frutos tratados y control. Todos los frutos tratados presentaron niveles más altos de sólidos solubles totales en comparación con los controles, excepto aquellos que fueron tratados con aceites esenciales del zumo a la máxima concentración (AEZ 1000 $\mu\text{L/L}$). De forma general, los valores de SST más elevados se asocian con un estado menos avanzado de la maduración de los frutos (Figura 11A). Atendiendo a la acidez titulable, no se encontraron diferencias significativas entre los frutos tratados y los

controles, salvo en el caso de aquellos que fueron tratados con aceites esenciales de zumo a las concentraciones más altas (AEZ 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$), que mostraron los valores más bajos (Figura 11B).

Durante la maduración de los limones, los sólidos solubles totales (SST), compuestos en su mayoría por azúcares, suelen mostrar un patrón característico: primero aumentan y luego disminuyen. Este cambio está relacionado con procesos fisiológicos y bioquímicos del fruto. En las primeras etapas, el incremento de SST aporta un sabor más dulce y reduce la percepción de acidez. No obstante, en fases más avanzadas de maduración, los SST pueden comenzar a disminuir. Este comportamiento puede atribuirse a la utilización de azúcares como fuente de energía para procesos metabólicos más intensos en las etapas finales del desarrollo del fruto, así como a la degradación de algunos compuestos solubles. Además, factores como las condiciones climáticas, el tipo de variedad del limón, el manejo agronómico y el estado fisiológico del árbol también influyen en la evolución de los SST y la acidez (Gutiérrez-Pozo et al., 2023).

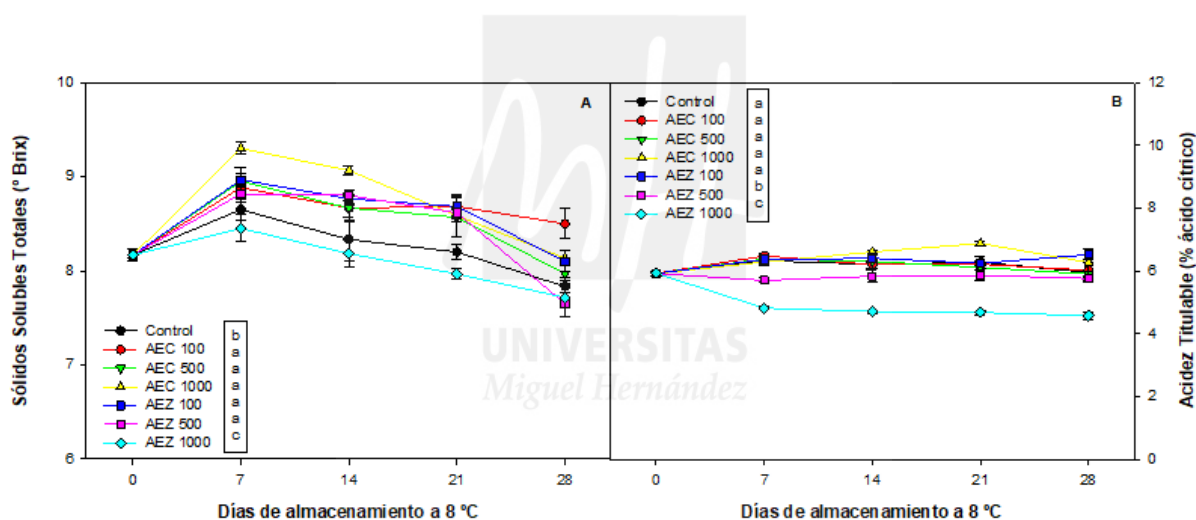


Figura 11. A) Sólidos Solubles Totales (°Brix) y B) Acidez Titulable (% ácido cítrico) en limón 'Fino' tratado en postcosecha con AEC 100 (aceite corteza 100 $\mu\text{L/L}$), AEC 500 (aceite corteza 500 $\mu\text{L/L}$), AEC 1000 (aceite corteza 1000 $\mu\text{L/L}$), AEZ 100 (aceite zumo 100 $\mu\text{L/L}$), AEZ 500 (aceite zumo 500 $\mu\text{L/L}$) y AEZ 1000 (aceite zumo 1000 $\mu\text{L/L}$) con respecto a los frutos control (agua) tras 28 días de almacenamiento a 8 °C y 85% HR. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, siguiendo el orden presentado en la leyenda.

Durante el almacenamiento en frío, los principales parámetros de color del limón L^* , a^* , b^* , C^* tienden a incrementarse, mientras que el ángulo hue (h°) disminuye a medida que el fruto cambia de verde a amarillo. En este estudio postcosecha, se utilizaron limones que ya presentaban una coloración amarilla en el momento de la recolección. A lo largo de los 28 días de experimento, todos los frutos mostraron

una leve reducción en el valor de h° , con una disminución máxima de sólo 2° . Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los frutos tratados con AEZ a las concentraciones de 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$ en comparación con el resto de los tratamientos incluyendo los frutos controles (Figura 12). El color de los frutos se mantuvo estable durante los 28 días de almacenamiento.

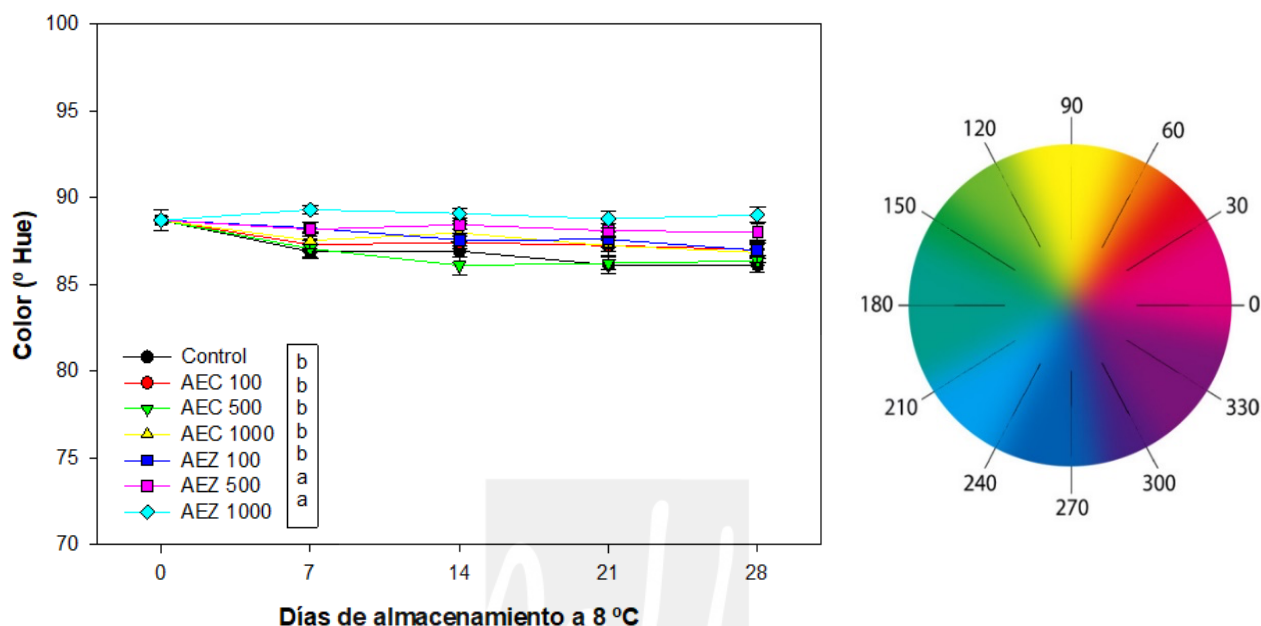


Figura 12. Color (Hue°) en limón 'Fino' tratado en postcosecha con AEC 100 (aceite corteza 100 $\mu\text{L/L}$), AEC 500 (aceite corteza 500 $\mu\text{L/L}$), AEC 1000 (aceite corteza 1000 $\mu\text{L/L}$), AEZ 100 (aceite zumo 100 $\mu\text{L/L}$), AEZ 500 (aceite zumo 500 $\mu\text{L/L}$) y AEZ 1000 (aceite zumo 1000 $\mu\text{L/L}$) con respecto a los frutos control (agua) tras 28 días de almacenamiento a 8 °C y 85% HR. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, siguiendo el orden presentado en la leyenda.

Los fenoles totales de los frutos tratados con aceites esenciales fueron significativamente ($p < 0,05$) mayores que en los frutos control a excepción de los limones tratados con AEZ 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$, manteniéndose esta tendencia durante los 28 días de almacenamiento refrigerado (Figura 13). El incremento del contenido de compuestos fenólicos durante el almacenamiento en frío se atribuye a la activación de las rutas biosintéticas de los fenilpropanoides, como parte de la respuesta del fruto frente al estrés abiótico inducido por las bajas temperaturas. Esta ruta metabólica, que se inicia a partir del aminoácido fenilalanina, da origen a una amplia gama de metabolitos secundarios de alto valor biológico, como flavonoides, antocianinas y ácidos fenólicos. Durante el almacenamiento a temperaturas moderadamente bajas, especialmente en torno a los 9°C , se observa un aumento significativo en la producción de compuestos fenólicos, como el ácido ferúlico y el ácido clorogénico, ambos con potentes propiedades antioxidantes. La ruta de los fenilpropanoides también se conecta con la biosíntesis de flavonoides y

antocianinas. En este contexto, el almacenamiento en frío estimula la expresión de genes clave como CHS, CHI, DFR y FLS, así como del factor de transcripción PAP1, considerando un regulador central de la síntesis de antocianinas. Estos pigmentos además de actuar como antioxidantes intensifican la coloración del fruto, mejorando su apariencia y aumentando su valor comercial. Por tanto, el almacenamiento en frío no solo preserva la calidad de los frutos, sino que también potencia su contenido de compuestos fenólicos y antioxidantes mediante la activación de rutas metabólicas específicas. Esto convierte al frío en una herramienta estratégica tanto para la conservación como para la mejora nutricional y sensorial de los cítricos pigmentados (Primo Capella, 2023).

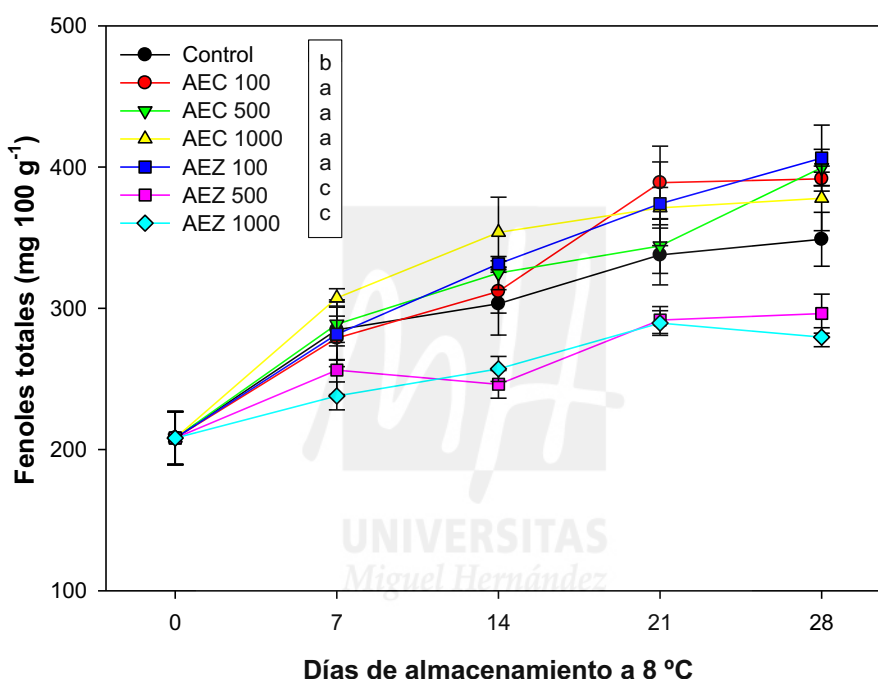


Figura 13. Fenoles Totales (mg AGE 100 g⁻¹) en limón 'Fino' tratado en postcosecha con AEC 100 (aceite corteza 100 µL/L), AEC 500 (aceite corteza 500 µL/L), AEC 1000 (aceite corteza 1000 µL/L), AEZ 100 (aceite zumo 100 µL/L), AEZ 500 (aceite zumo 500 µL/L) y AEZ 1000 (aceite zumo 1000 µL/L) con respecto a los frutos control (agua) tras 28 días de almacenamiento a 8 °C y 85% HR. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, siguiendo el orden presentado en la leyenda.

Los resultados indicaron que la aplicación postcosecha de aceites esenciales extraídos de la corteza de limón redujo significativamente ($p < 0,05$) la incidencia de podredumbre en comparación con los frutos control (16,6%) tras 28 días de almacenamiento en frío. Los tratamientos con AEC fueron especialmente eficaces a las tres concentraciones ensayadas, destacando las concentraciones de 1000 y 500 µL/L, que redujeron la podredumbre acumulada al 3,33% y 6,66%,

respectivamente (Figura 14). Regnier et al. (2014) demostraron que ciertos aceites esenciales comerciales (lemongrass, oregano y tomillo) aplicados en la superficie de naranjas inoculadas redujeron significativamente la podredumbre causada por *Geotrichum citri-aurantii* y otros patógenos como *Penicillium digitatum*. Esto refuerza la validez de aplicar aceites esenciales como agentes de biocontrol en condiciones reales de almacenamiento.

En cambio, la aplicación de aceites esenciales provenientes del zumo de limón, no resultaron efectivos, salvo la concentración más baja, AEZ 100 $\mu\text{L/L}$, que redujo significativamente ($p < 0,05$) las podredumbres (13,33%) con respecto a los limones controles. Sin embargo, las dosis de AEZ más elevadas ensayadas, aumentaron la incidencia de podredumbres con respecto al control. Esto puede explicarse en base a la composición química de los aceites esenciales, pues ésta es fundamental para predecir su actividad antifúngica. Los compuestos como citranelol, geraniol, carvacrol o timol, cuando están presentes en concentraciones elevadas, son los principales responsables de la acción antifúngica (Regnier et al., 2014).

Cabe destacar que, la fitotoxicidad y la estabilidad de la formulación son aspectos importantes a la hora de comprobar la efectividad de los aceites esenciales para la prevención de podredumbres. A menudo, las concentraciones de aceites esenciales necesarias para lograr un efecto antimicrobiano óptimo pueden ser perjudiciales para la piel del fruto, causando decoloración, manchas, quemaduras o incluso aumentando la susceptibilidad a la infección. En este sentido, el aumento de las podredumbres cuando se emplearon AEZ a 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$ podría relacionarse con la aparición de efectos adversos sobre la piel del fruto.

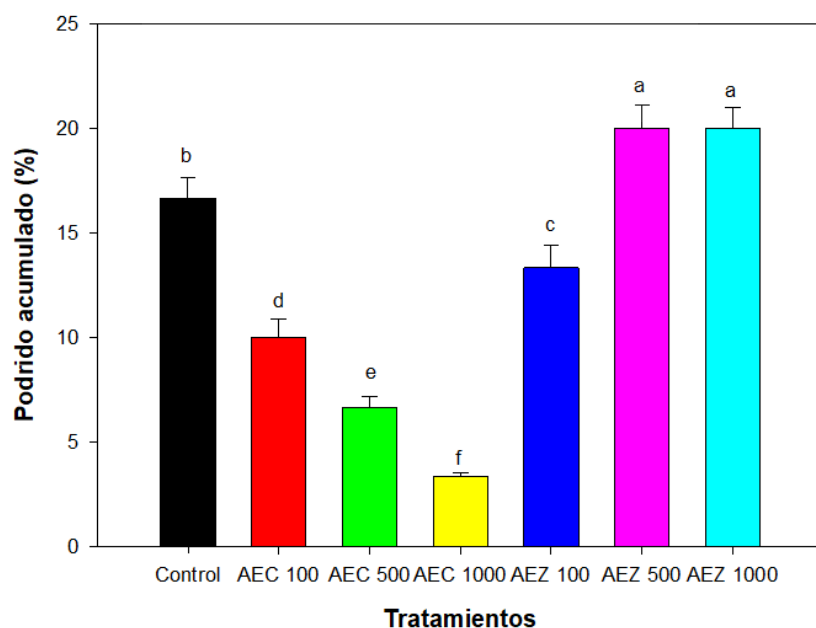


Figura 14. Incidencia de podredumbres acumulada (%) en limón 'Fino' tratado en postcosecha con AEC 100 (aceite corteza 100 $\mu\text{L/L}$), AEC 500 (aceite corteza 500 $\mu\text{L/L}$), AEC 1000 (aceite corteza 1000 $\mu\text{L/L}$), AEZ 100 (aceite zumo 100 $\mu\text{L/L}$), AEZ 500 (aceite zumo 500 $\mu\text{L/L}$) y AEZ 1000 (aceite zumo 1000 $\mu\text{L/L}$) con respecto a los frutos control (agua) tras 28 días de almacenamiento a 8 °C y 85% HR. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.



CONCLUSIONES

- Los tratamientos con aceites esenciales extraídos de la corteza del limón (AEC) fueron más efectivos que los tratamientos con aceites del zumo (AEZ) para reducir la incidencia de podredumbre durante el almacenamiento con respecto a los limones control. En cambio, se debe tener precaución con el uso de aceites esenciales de zumos a altas concentraciones, ya que podrían tener efectos adversos.
- En cuanto a la pérdida de peso y la firmeza, los frutos tratados con AEZ a altas concentraciones presentaron mayores pérdidas de peso y firmeza, mientras que, a bajas concentraciones, se obtuvieron los resultados más favorables, indicando menores pérdidas a concentraciones de 100 $\mu\text{L/L}$.
- Todos los tratamientos, excepto AEZ 1000 $\mu\text{L/L}$, aumentaron los SST en comparación con el control, indicando un efecto potencial en la calidad organoléptica. Los valores de acidez titulable en cambio no mostraron diferencias significativas.
- Atendiendo a los parámetros de color, cabe destaca que los aceites esenciales no afectaron negativamente a la apariencia visual del fruto, pues el color de los frutos se mantuvo estable durante los 28 días de almacenamiento.
- Los frutos tratados con aceites esenciales de corteza (AEC) mantuvieron niveles más altos de fenoles totales a lo largo del almacenamiento, lo cual puede estar asociado a una mayor resistencia al estrés y mejor capacidad antioxidante.

Por tanto, los aceites esenciales de corteza de limón, especialmente en concentraciones de 500 y 1000 $\mu\text{L/L}$, son una alternativa prometedora como tratamiento postcosecha en limón ecológico, al reducir las podredumbres durante la conservación sin comprometer su calidad.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Motos, J.R., Alonso Salinas, R. Martínez Pujalte, B.C., Cerdá Cerdá, A., Ferrández Gómez, B., Núñez Delicado, E. (2022). Alimentos de la Región de Murcia. Cátedra UCAM-Santander, Emprendimiento en el ámbito Agroalimentario.
- Asencio, A. D., Serrano, M., García-Martínez, S., Pretel, M. T. (2018). Organic acids, sugars, antioxidant activity, sensorial and other fruit characteristics of nine traditional Spanish Citrus fruits. *European Food Research and Technology*, 244, 1497–1508.
- Bonilla Martín, C. (2019). Utilización de agentes de biocontrol para prevenir el deterioro de la fruta en poscosecha [Trabajo de Fin de Máster, Universidad de La Laguna].
- Burdurlu, H.S., Koca, N., Karadeniz, F. (2006). Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. *Journal of Food Engineering*, 74 (2), 211–216.
- Castillo, S., Pérez-Alfonso, C. O., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., Valero, D. (2014). The essential oils thymol and carvacrol applied in the packing lines avoid lemon spoilage and maintain quality during storage. *Food Control*, 35, 132-136.
- Cerioni, L., Rapisarda, V.A., Doctor, J., Fikkert, S., Ruiz, T., Fassel, R., Smilanick, J.L. (2013a). Use of phosphite salts in laboratory and semicommercial tests to control citrus postharvest decay. *Plant Disease*, 97, 201–212.
- Cerioni, L., Sepulveda, M., Rubio-Ames, Z., Volentini, S.I., Rodriguez-Montelongo, L., Smilanick, J.L., Ramallo, J., Rapisarda, V.A. (2013b). Control of lemon postharvest diseases by low-toxicity salts combined with hydrogen peroxide and heat. *Postharvest Biology and Technology*, 83, 17–21.
- Cohen, E., Shapiro, B., Shalom, Y., y Klein, J. D. (1994). Water loss: A nondestructive indicator of enhanced cell membrane permeability of chilling-injured citrus fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(5), 983–986.
- Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca de la R. de Murcia (2023). Aforo 2022/2023 de limón. Avances de datos de cítricos.
- Deliopoulos, T., Kettlewell, P.S., Hare, M.C. (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: a review. *Crop Protection*, 29, 1059–1075.

- Eaks, I.L. (1961). Effect of temperature and holding period on some physical and chemical characteristics of lemon fruits. *Journal of Food Science*, 26 (6), 593–599.
- Eckert, J.W., Eaks, I.L. (1989). Postharvest disorders and diseases of citrus fruits. In: Reuter, W., Calavan, E.C., Carman, G.E. (Eds.). *The Citrus Industry*, vol. 5. Univ. California Press, Berkeley, pp. 179–260.
- FDA. FDA Substances Generally Recognized as Safe. *Fed. Regist.* (2016), 81, 54960–55055.
- Fisher, K.; Phillips, C. (2008). Potential Antimicrobial Uses of Essential Oils in Food: Is Citrus the Answer? *Trends Food Sci. Technol*, 19, 156–164.
- García LidónA., et al. (2003). El limón y sus componentes bioactivos. Murcia: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.
- Generalitat Valenciana, Conselleria de Agricultura, Agua, Ganaderia y Pesca. (2025). El sector del limón. Comunitat Valenciana. Servicio de documentación, publicaciones y estadística departamental, 1-13.
- González-Molina, E., Domínguez-Perles, R., Moreno, D. A., García-Viguera, C. (2010). Natural bioactive compounds of Citrus limon for food and health. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51, 327–345.
- Guillén, F., Zapata, P. J., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D. (2007). Improvement of the overall quality of table grapes stored under modified atmosphere packaging in combination with natural antimicrobial compounds. *Journal of Food Science*, 72, S185-S190
- Gutiérrez-Pozo, M., Serna-Escolano, V., Giménez-Berenguer, M., Giménez, M.J., Zapata,P.J. (2023). The Preharvest Application of Essential Oils (Carvacrol, Eugenol, and Thymol) Reduces Fungal Decay in Lemons. *Agriculture*, 13, 1437.
- Hao, W., Zhong, G., Hu, M., Luo, J., Weng, Q., Rizwan-ul-Haq, M. (2010). Control of citrus postharvest green and blue mold and sour rot by tea saponin combined with imazalil and prochloraz. *Postharvest Biology and Technology*, 56, 39–43.
- Klimek-Szczykutowicz, M., Szopa, A., Ekiert, H. (2020). *Citrus limon* (Lemon) phenomenon-a review of the chemistry, pharmacological properties, applications in the modern pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and biotechnological studies. *Plants*, 9, 119.

- Lado, J., Gambetta, G., Zacarias, L. (2018). Key determinants of citrus fruit quality: Metabolites and main changes during maturation. *Scientia Horticulturae*, 233, 238–248.
- Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., Liu, Y. (2013). Utilization of antagonistic yeast to manage postharvest fungal diseases of fruit. *International journal of food microbiology*, 167(2), 153-160.
- FAO 2003. López Camelo, A.F. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Ma, Y., Li, S., Yin, X., Xing, Y., Lin, H., Xu, Q., Bi, X., Chen, C. (2019). Effects of controlled atmosphere on the storage quality and aroma compounds of lemon fruits using the designed automatic control apparatus. *Biomed Research International*, 6917147.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (2023). Análisis de la campaña de cítricos 2022/2023.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (2024). Estimación campaña de cítricos 2024/2025.
- Montesinos-Herrero, C., del Río, A.A., Pastor, C., Brunetti, O., Palou, L. (2009). Evaluation of brief potassium sorbate dips to control postharvest *Penicillium* decay on major citrus species and cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 52, 117-125.
- Montesinos-Herrero, C., Moscoso-Ramírez, P.A., Palou, L. (2016). Evaluation of sodium benzoate and other food additives for the control of citrus postharvest green and blue molds. *Postharvest Biology and Technology*, 115, 72–80.
- Morton J.F. (1987). In *Fruits of warm climates*. Lemon. ECHO, Inc. 366-381. ISBN 0-9653360-5-0
- Moscoso-Ramírez, P.A., Palou, L. (2014). Preventive and curative activity of postharvest potassium silicate treatments to control green and blue molds on orange fruit. *European Journal of Plant Pathology*, 138, 721-732.
- Nicolosi, E., Deng, Z.N., Gentile, A., La Malfa, S., Continella, G., Tribulato, E. (2000). Citrus phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers. *Theor Appl Genet*, 100:1155–1166.
- Oboh, G., Bello, F., Ademosun, A., Akinyemi, A., Adewuni, T. (2015). Antioxidant, hypolipidemic, and anti-angiotensin-1-converting enzyme properties of

- lemon (*Citrus limon*) and lime (*Citrus aurantifolia*) juice. Comparative Clinical Pathology, 24, 1395–1406.
- Palou, L. Smilanich, J.L., Usall, J., Viñas, I. (2001). Control of postharvest blue and green molds of oranges by hot water, sodium carbonate, and sodium bicarbonate. Plant Disease, 85, 371-376.
- Palou, L., Usall, J., Muñoz, J.S., Smilanick, J.L., Viñas, I. (2002). Hot water, sodium carbonate, and sodium bicarbonate for the control of postharvest green and blue molds of clementine mandarins. Postharvest Biology and Technology, 24, 93-96.
- Palou, L. (2014). *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (Green Mold, Blue Mold). In Postharvest Decay; Academic Press, pp. 420 45–102, doi: 10.1016/B978-0-12-411552-1.00002-8.
- Palou, L., Ali, A., Fallik, E., Romanazzi, G. (2016). GRAS, plant- and animal-derived compounds as alternatives to conventional fungicides for the control of postharvest diseases of fresh horticultural produce. Postharvest Biology and Technology, 122, 41–52.
- Pardo J., Buj A. (2019). Periodo de Recolección de Limas, Limones y Pomelos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
- Pássaro, C., Nunes, C., Palou, L. (2012). Control de enfermedades de poscosecha. En: Garcés Giraldo, Luis F. (ed.). Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización, 285-305. Itagüí, Colombia: Editorial Artes y Letras S.A.S.
- Pérez-Alfonso, C., Martínez-Romero, D., Zapata, P., Serrano, M., Valero, D., Castillo, S. (2012). The effects of essential oils carvacrol and thymol on growth of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* involved in lemon decay. International Journal of Food Microbiology, 158, 101–106.
- Primo Capella, A. (2023). Caracterización fisiológica y molecular de la respuesta de patrones de cítricos a estrés por baja temperatura [Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrícolas, Universitat Politècnica de València].
- Regnier T., Combrinck, S., Veldman, W., Du Plooy, W. (2014). Application of essential oils as multi-target fungicides for the control of *Geotrichum citri-aurantii* and other postharvest pathogens of citrus. Industrial Crops and products, 151-159.
- REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2019/428 DE LA COMISIÓN de 12 de julio de 2018 que modifica el Reglamento de Ejecución (UE) n.º 543/2011 en lo que atañe a las normas de comercialización en el sector de las frutas y hortalizas. 19.03.2019, 1-58.

- Serna-Escolano, V., Valverde, J.M., García-Pastor, M.E., Valero, D., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Zapata, P.J., Serrano, M. (2019). Pre-harvest methyl jasmonate treatments increase antioxidant systems in lemon fruit without affecting yield or other fruit quality parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 5035-5043.
- Serna-Escolano, V., Giménez, M.J., Castillo, S., Valverde, J.M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M., Valero, D., Zapata, P.J. (2021). Preharvest Treatment with Oxalic Acid Improves Postharvest Storage of Lemon Fruit by Stimulation of the Antioxidant System and Phenolic Content. *Antioxidants*, 10, 963.
- Serrano, M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F., Valero, D. (2005). The use of antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6, 115e123.
- Serrano, M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P. J., Castillo, S. (2008). The addition of essential oils to MAP as a tool to maintain the overall quality of fruits. *Trends in Food Science and Technology*, 19, 464-471.
- Servicio de Documentación, Publicaciones y Estadística Departamental (2024). El sector del Limón, Comunitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca.
- Smilanick, J.L., Margosan, D.A., Mlikota-Gabler, F., Usall, J., Michael, I.F. (1999). Control of citrus green mold by carbonate and bicarbonate salts and the influence of commercial postharvest practices on their efficacy. *Plant Dis.* 83, 139-145.
- Smilanick, J.L., Mansour, M.F., Mlikota-Gabler, F., Sorenson, D. (2008). Control of citrus postharvest green mold and sour rot by potassium sorbate combined with heat and fungicides. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 226-238.
- Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A., Cliver, D. O. (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*, 21, 1199-1218.
- Tsantili, E., Konstantinidis, K., Athanasopoulos, P., Pontikis, C. (2002). Effects of postharvest calcium treatments on respiration and quality attributes in lemon fruit during storage. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 77, 479–484.
- Valero, D., Valverde, J.M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M. (2006). The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 317–327.
- Valero, D., Serrano, M. (2010). *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*. Boca Raton, USA: CRC-Taylor & Francis.

- Valverde, J.M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., Valero, D. (2005). Improvement of table grapes quality and safety by the combination of modified atmosphere packaging (MAP) and eugenol, menthol or thymol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 7458–7464.
- Wisniewski, M., Droby, S., Norelli, J., Liu, J., Schena, L. (2016). Alternative management technologies for postharvest disease control: the journey from simplicity to complexity. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 3–10.
- Youssef, K., Ligorio, A., Sanzani, S.M., Nigro, F., Ippolito, A. (2012). Control of storage diseases of citrus by pre- and postharvest application of salts. *Postharvest Biology and Technology*, 72, 57–63.
- Youssef, K., Hussien, A. (2020). Electrolysed water and salt solutions can reduce green and blue molds while maintain the quality properties of ‘Valencia’ late oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 159, 111025.

