

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



**APLICACIÓN PRECOSECHA DE BENZOATO DE SODIO Y SORBATO
POTÁSICO PARA EL CONTROL DE PODREDUMBRE Y MEJORA DE
LA CALIDAD EN LIMÓN**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2023

Autora: Gema González Tenza

Tutor: Pedro Javier Zapata Coll

Co-tutora: María Gutiérrez Pozo

APLICACIÓN PRECOSECHA DE BENZOATO DE SODIO Y SORBATO POTÁSICO PARA EL CONTROL DE PODREDUMBRE Y MEJORA DE LA CALIDAD EN LIMÓN

RESUMEN:

El limón es muy cultivado a nivel mundial y tiene una alta demanda por parte de los consumidores. España es líder mundial en la exportación de cítricos en fresco. Para las industrias cítricas, las enfermedades postcosecha son un gran problema que, tradicionalmente, se controlaban con fungicidas químicos, sin embargo, la necesidad de estrategias más sostenibles y efectivas ha llevado a la búsqueda de alternativas. Este trabajo evaluó el efecto de la aplicación precosecha de tres concentraciones (0.5, 1, 3 %) de benzoato sódico (BS) y sorbato potásico (SP) en la incidencia de podredumbre y la calidad del limón 'Fino 49' en el momento de la recolección y tras 35 días de almacenamiento. Se observó que el tratamiento con BS al 0.5 % fue el más eficaz para controlar podredumbres, preservando la calidad del limón.

PALABRAS CLAVES: *Citrus limon L.*, aditivos, GRAS, postcosecha, antifúngico.



PREHARVEST APPLICATION OF SODIUM BENZOATE AND POTASSIUM SORBATE FOR DECAY CONTROL AND IMPROVEMENT OF QUALITY TRAITS IN LEMON FRUIT

ABSTRACT:

Lemon is a highly demanded fruit cultivated worldwide. Spain is the global leader in the export of fresh citrus fruit. The main problem for the citrus industry is the postharvest losses during storage due to the appearance of rots. Traditionally, these diseases were managed with chemical fungicides; however, the need for a more sustainable and effective strategy has led to the search for new alternatives. The present work evaluated the effect of the preharvest application of sodium benzoate (BS) and potassium sorbate (SP), in the decay incidence and quality of 'Fino 49' lemons at harvest and after 35 days of cold storage. Results showed that treatment with 0.5% BS was the most effective in controlling rot incidence without negatively affecting lemon quality.

KEYWORDS: *Citrus limon L.*, food additives, GRAS, postharvest, antifungal.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Importancia socioeconómica de los cítricos	6
1.2. EL LIMONERO	7
1.3. EL LIMÓN	8
1.3.1. Estructura.....	8
1.3.2. Variedades.....	9
1.3.3. Injertos	10
1.4. PROBLEMÁTICA POSTCOSECHA.....	11
1.4.1. Principales patógenos que producen podredumbre en limón	11
1.5. TECNOLOGÍA Y TRATAMIENTOS POSTCOSECHA	12
1.5.1. Fungicidas tradicionales	12
1.5.2. Tratamientos alternativos postcosecha, sustancias GRAS	12
1.6. SALES.....	13
1.6.1. Benzoato de sodio.....	13
1.6.2. Sorbato potásico	14
1.7. JUSTIFICACIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN	14
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	15
3.2. INCIDENCIA DE PODREDUMBRE	17
3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS: PARÁMETROS FISIOLÓGICOS	18
3.3.1. Pérdida de peso	18
3.3.2. Firmeza	18
3.3.3. Tasa de respiración	19
3.3.4. Color	20
3.3.5. Determinación de Sólidos Solubles Totales (SST).....	21
3.3.6. Evaluación de Acidez Total (AT).....	21
3.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS: PARÁMETROS FUNCIONALES	22
3.4.1. Contenido de polifenoles totales.....	22
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23

4.1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS CON BS Y SP EN LA REDUCCIÓN DE PODREDUMBRE EN LIMÓN	23
4.2. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE SALES EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y FUNCIONALES	25
4.2.1. Evolución de la pérdida de peso	26
4.2.2. Firmeza	27
4.2.3. Tasa de respiración	28
4.2.4. Color	29
4.2.5. Sólidos Solubles Totales (SST)	31
4.2.6. Acidez Titulable (AT)	31
4.2.7. Polifenoles totales.....	33
5. CONCLUSIONES	34
6. BIBLIOGRAFÍA	35



1. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPORTANCIA SOCIOECONÓMICA DE LOS CÍTRICOS

Los cítricos son uno de los cultivos más relevantes a nivel mundial. En la última década, su demanda ha resultado en un crecimiento considerable en la producción total, que ha pasado de 134.3 millones de toneladas a 166.3 millones de toneladas (Serna-Escolano et al., 2024). Entre las variedades más producidas y comercializadas, destacan las naranjas, mandarinas, limones, limas y pomelos.

Las exportaciones alcanzaron 3.300 millones de euros, posicionando a España como el primer comercializador del mundo de cítricos en frescos, con un 25 % de las exportaciones globales (MAPA, 2023). En España, la naranja constituye el 51 % de la producción total de cítricos, las mandarinas y clementinas ocupan el segundo lugar con un 32 %, seguidas de los limones y limas con un 16 %, otros cítricos minoritarios como el pomelo representan alrededor del 1 %. (FAOSTAT, 2022). Las zonas de cultivo de cítricos en España (Figura 1) están principalmente situadas en las áreas costeras del este y del sur destacando Murcia y Comunidad Valenciana, estas regiones se definen por la ausencia de heladas (Pérez-Pérez *et al*, 2005).

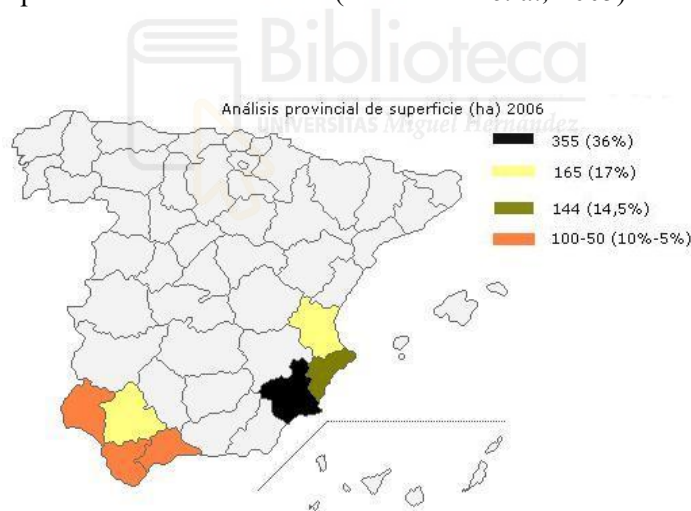


Figura 1. Superficie de cultivo de limón en España (MAPA, 2006).

En cuanto al limón, España ocupa el octavo lugar entre los principales países productores a nivel mundial (Figura 2), con una superficie plantada de 52570 hectáreas y una producción anual de 863240 toneladas (FAOSTAT, 2022). En términos de producción por provincias, la Región de Murcia destaca como la principal productora de limón en España, abarcando el 62 % de la producción nacional con 648288 toneladas anuales en 2021. Le sigue la Comunidad Valenciana, que representa el 25 % del total nacional, destacando especialmente el sur de la provincia de Alicante, en la Vega Baja del río Segura. Esta zona limita con la Región de Murcia, y ambas zonas comparten la cuenca del río Segura y condiciones agroclimáticas favorables para producir limones

de alta calidad (Pérez-Pérez *et al*, 2005). Andalucía ocupa el tercer lugar, aportando el 12 % de la producción nacional de limones (MAPA, 2021).

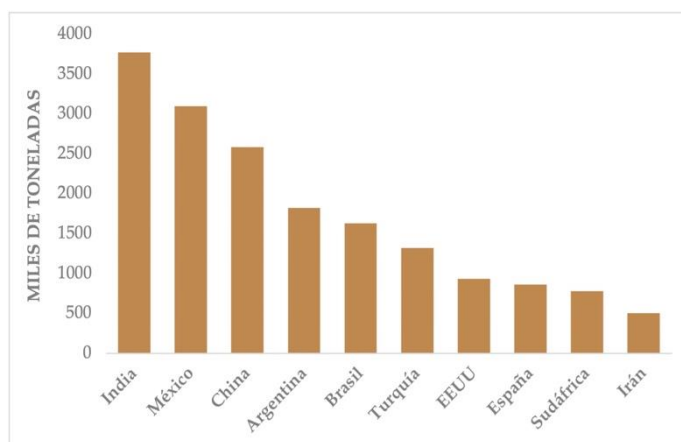


Figura 2. Principales países productores de limón (FAOSTAT, 2022).

1.2. EL LIMONERO

El limonero, *Citrus limon* (L.) Burn., se clasifica dentro de la división *Magnoliophyta*, clase *Magnoliopsoda*, orden *Sapindales*, familia *Rutaceae*, subfamilia *Aurantioideae*, tribu *Citreae*, subtribu *Citrinae*, y al género *Citrus*, dentro de los cítricos verdaderos (García-Lor., 2013).

Este árbol, tiene un tamaño de medio a grande y porte vigoroso (Figura 3A), con un crecimiento erguido. Sus hojas son grandes y lanceoladas de color verde claro y con peciolo corto (Figura 3B), que al estrujarlas desprenden un agradable aroma a limón, característica que se acentúa por la presencia de glándulas que contienen aceites esenciales en el limbo. Este cítrico presenta brotes jóvenes de color púrpura que con el tiempo cambian a verde (Figura 3C), y flores grandes con pétalos púrpura y anteras amarillas, agrupadas en racimos (Figura 3D). Según la variedad y las condiciones, puede tener varias floraciones al año (García, 2014).

La planta es más resistente al frío que la lima mejicana y el cidro, aunque sigue siendo más sensible que otros cítricos comerciales y menos resistente a heladas que otros cítricos, si bien tiende a recuperarse mejor. Su vegetación es menos densa que la del naranjo, lo que facilita una mejor aireación e insolación. Esta especie se adapta bien a una amplia variedad de suelos, mostrando una preferencia a aquellos profundos, sueltos y con buen drenaje (Villalba, 2000).

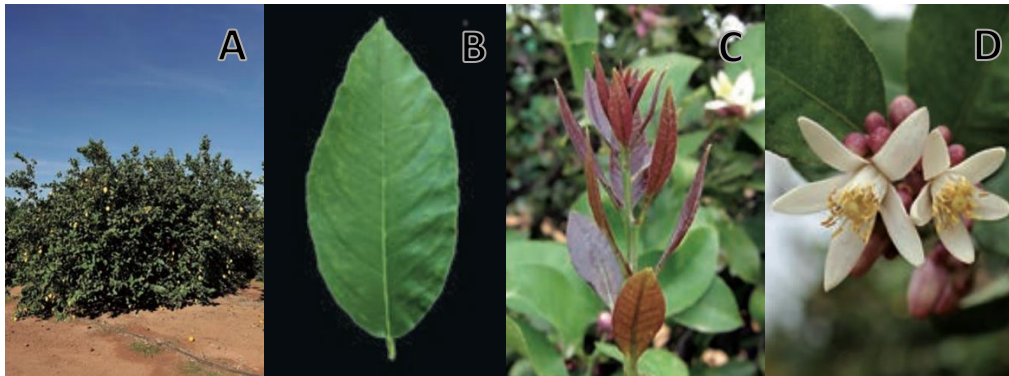


Figura 3. Limonero (A), hojas (B), brotes (C), flores (D). Fuente: Ancillo & Medina (2015).

1.3. EL LIMÓN

1.3.1. Estructura

El limón, conocido científicamente como *Citrus limon*, se distingue por su forma elipsoidal y por un mamelón en la zona apical. El epicarpio del limón está compuesto por dos capas principales: el flavedo y el albedo, puede variar de lisa a ligeramente rugosa, compuesta por una capa externa cerosa que sirve de protección al flavedo, el cual tiene un aspecto salpicado debido a las glándulas oleosas. Durante las primeras etapas de su desarrollo, el limón muestra un color verde por la presencia de clorofila en el flavedo. A medida que el fruto madura, esta clorofila se degrada y la coloración cambia a un amarillo intenso debido a la síntesis de carotenoides (Conesa *et al.*, 2019). Justo debajo, se sitúa el albedo, de color blanco y compuesto principalmente por fibras, su espesor varía según la variedad y la madurez. Internamente, el fruto se divide en secciones que corresponden a los carpelos de un color amarillo vivo, donde están situadas las vesículas que contienen el zumo. Entre estas secciones, se sitúan las semillas. A medida que los limones maduran, la cantidad de zumo que contienen aumenta, llegando a representar entre el 40 y el 46% en ciertas variedades (Figura 4) (García, 2003).

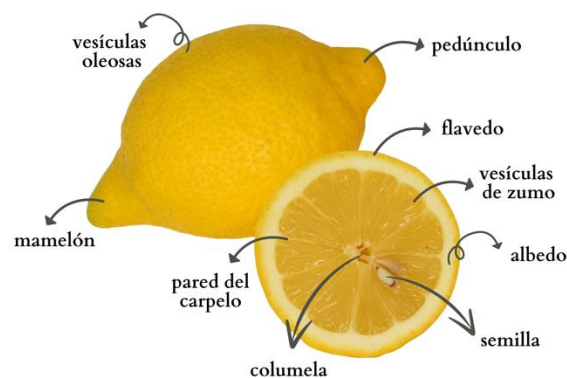


Figura 4. Estructura del limón.

1.3.2. Variedades

En la Cuenca del Segura, las variedades de limonero se dividen en dos categorías principales: otoño-invierno y primavera-verano (Figura 5). La primera categoría incluye las variedades Fino, Eureka y Lisbon. La variedad Fino destaca especialmente por producir frutos de alta calidad destinados a la exportación hacia Europa entre octubre y febrero, cuando los precios son más altos. En contraste, la segunda categoría se encuentra por la variedad Verna, la cual es significativa por su producción principal entre marzo y julio, periodo en el que los precios del mercado son generalmente más bajos (Conesa *et al.*, 2019; Zapata *et al.*, 2002).

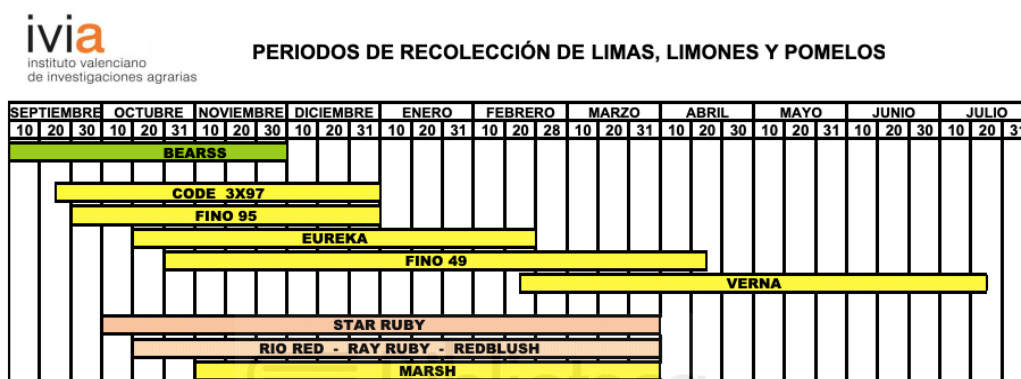


Figura 5. Periodos de recolección de limas, limones y pomelos. (Fuente: IVIA).

El limón Fino, también conocido como Primofiori, constituye la variedad más precoz y significativa en España. Destacan dentro de esta categoría los clones ‘Fino 49’ y ‘Fino 95’. Estos frutos son simétricos, de tamaño mediano, menores que los de la variedad Verna, y se caracterizan por su corteza lisa y fina, ausencia de cuello en la zona apical y un mamelón fino y delgado (Figura 6) (Soler, 1999).



Figura 6. Limón variedad Fino.

El limón Verna, la segunda variedad más extendida en España. Los frutos son de color amarillo claro, tienen un cuerpo prominente, un cuello notable en la zona peduncular y un mamelón apical grande, dando lugar a la forma característica de la variedad (Figura 7) (Soler, 1999).

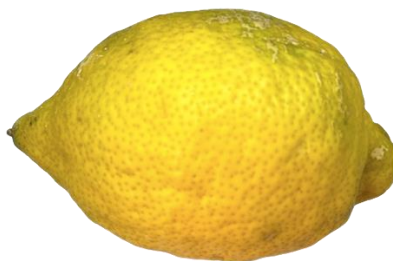


Figura 7. Limón variedad Verna.

1.3.3. Injertos

En la agricultura, se cultivan principalmente variedades que han sido previamente seleccionadas, que garanticen un alto rendimiento y calidad. En el caso de los cítricos cultivados, son árboles pequeños cuya parte subterránea deriva de una planta patrón o portainjerto mientras que su parte aérea procede de una variedad injertada que produce el fruto de interés comercial. Los portainjertos son fundamentales en la citricultura, ya que influyen en el crecimiento y dimensiones de la planta, lo que repercute directamente en la cantidad y calidad de los frutos producidos. Además, estos determinan la capacidad de la planta para adaptarse a estreses tanto bióticos como abióticos (Ancillo & Medina, 2015). Estos portainjertos también afectan otros aspectos agronómicos como el contenido de sólidos solubles y la acidez del zumo, la composición mineral de las hojas y frutos, así como el espesor del flavedo. En España, los portainjertos más comunes son:

Naranja amargo (*Citrus aurantium*): El naranja amargo, tradicionalmente empleado en plantaciones de todo el mundo, ha disminuido su uso a favor de *C. macrophylla*, excepto en combinación con limonero. Este patrón se distingue por su resistencia a condiciones difíciles como la gomosis, el frío y la asfixia radicular, además de su tolerancia a enfermedades como *Phytophthora* spp. y *Armillaria* spp., y a virus como los responsables de la exocortis y la xiloporosis. Se suele emplear en suelos de fertilidad media a baja, salinos y con escaso drenaje, gracias a su resistencia a *Phytophthora* spp. (Martínez-Cuenca *et al.*, 2016). Con la variedad ‘Fino’ muestra una buena compatibilidad, aunque su producción inicial es tardía. Sin embargo, cuando se injerta con la variedad de limonero ‘Verna’, se forma una deformación conocida como miriñaque que puede reducir la vida y productividad del árbol.

Macrophylla (*Citrus macrophylla*): *C. macrophylla* es actualmente el portainjerto más utilizado. Su efectividad destaca especialmente en combinaciones con injertos de limonero (*C. limon* Burn. F.), ha demostrado un buen comportamiento agronómico, lo que ha llevado a su amplio uso en la citricultura española (Pérez-Pérez *et al.*, 2005). Destaca también por su rápido desarrollo y alta vigorosidad que conlleva a una temprana y abundante producción, comparado con el naranjo amargo. Resiste a suelos calcáreos y arenosos, sin embargo, es susceptible al frío y a las heladas, particularmente en sus etapas juveniles. Este patrón es de interés por su rápida maduración y productividad, aunque tiene el inconveniente de producir frutos de gran tamaño, que puede afectar a la calidad de los mismos. Es compatible con las variedades principales cultivadas en España, ‘Fino’ y ‘Verna’ (MAPA, 2008).

1.4. PROBLEMÁTICA POSTCOSECHA

1.4.1. Principales patógenos que producen podredumbre en limón

El limón es susceptible a diversas enfermedades postcosecha, mayormente ocasionadas por hongos. Aquellos hongos que producen micotoxinas son capaces de contaminar los frutos en el campo o cualquier etapa después de la cosecha y mantenerse latentes hasta el almacenamiento o durante el mismo (Sanzani *et al.*, 2016). Factores como la cantidad de inóculo, la susceptibilidad del fruto, madurez, el estado de la corteza y las condiciones ambientales determinan el desarrollo de la enfermedad. En regiones con un clima mediterráneo y con precipitaciones más bajas en verano como España, California y Sudáfrica, los hongos que comúnmente afectan los frutos a través de lesiones son especies de *Penicillium*, *Geotrichum* y *Rhizopus* (Palou, 2014). Estos microorganismos principalmente se introducen en el campo y se desarrollan durante la postcosecha. Así pues, las enfermedades postcosecha más importantes que afectan la producción de cítricos son las podredumbres causadas por:

Penicillium digitatum, conocido como moho verde, y ***Penicillium italicum***, moho azul, son los principales patógenos fúngicos de enfermedades postcosecha en los cítricos. El inicio de la infección se identifica por una mancha que luego se vuelve blanca y progresivamente muestra una esporulación verde o azul, según el tipo de *Penicillium* involucrado. El crecimiento de estos hongos se ve favorecido por una humedad elevada y temperaturas entre 20 y 25 °C. A temperaturas menores de 15 °C, *P. digitatum* detiene su desarrollo, sin embargo, por debajo de 10 °C, *P. italicum* se hace más prevalente (Palou *et al.*, 2008).

Geotrichum citri-aurantii (podredumbre amarga): En comparación con el moho verde y el moho azul, esta enfermedad es menos frecuente, aunque puede provocar daños considerables durante épocas de lluvias y alta humedad (Duan *et al.*, 2016; Hao *et al.*, 2011). La enfermedad resulta en una podredumbre de la fruta, dejándola blanda y acuosa.

1.5. TECNOLOGÍA Y TRATAMIENTOS POSTCOSECHA

1.5.1. Fungicidas tradicionales

Actualmente, para controlar los hongos patógenos, la Unión Europea permite en el sector cítrico el uso de fungicidas químicos sintéticos como el imazalil (IZ), tiabendazol (TBZ) y ortofenil sódico fenato (SOPP), empleados para conservar y extender la vida útil de los frutos. Sin embargo, la eficacia de los tratamientos se ve comprometida por la resistencia desarrollada por los patógenos a los diferentes productos químicos (Kanetis *et al.*, 2007).

Esto, sumado a la preocupación social sobre la acumulación de residuos químicos y los riesgos de salud por el uso extensivo de fungicidas sintéticos, ha incrementado la búsqueda de alternativas más seguras y efectivas (Wisniewski *et al.*, 2016). Por tanto, el uso de nuevas herramientas alternativas que reduzcan o eliminen el empleo de estos fungicidas sintéticos reducirían la cantidad de residuos químicos y la liberación de dichos residuos al medio ambiente (Youssef *et al.*, 2017).

1.5.2. Tratamientos alternativos postcosecha, sustancias GRAS

‘GRAS’ es un acrónimo del término inglés ‘Generally Recognized As Safe’ por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (US FDA), traducido al español como ‘Generalmente Reconocido Como Seguro’. Son compuestos que están autorizados para ser utilizados sin restricciones en diversas aplicaciones dentro del sector agroalimentario. Específicamente, son valorados para el uso con frutas frescas debido a que no generan problemas de residuos. Representan una alternativa no contaminante a los fungicidas tradicionales para el control de enfermedades en postcosecha de fruta y vegetales frescos, incluyendo cítricos (Palou, 2018).

Las alternativas principales a los fungicidas químicos para controlar la podredumbre postcosecha son aditivos alimentarios (Palou *et al.*, 2002), sales orgánicas u inorgánicas (Cerioni, Rapisarda, *et al.*, 2013; Cerioni, Sepulveda, *et al.*, 2013; Deliopoulos *et al.*, 2010; Palou *et al.*, 2002), extractos de plantas, aceites esenciales (Castillo *et al.*, 2014; du Plooy *et al.*, 2009; Gutiérrez-Pozo *et al.*, 2023; Pérez-Alfonso *et al.*, 2012;) fitoquímicos (Hao *et al.*, 2010), y otros compuestos naturales de composición variable (Palou *et al.*, 2016).

En general, los aditivos alimentarios, como ácidos y sales orgánicas u inorgánicas, actúan directamente contra los microorganismos y son de fácil síntesis (Palou, 2007; Palou *et al.*, 2008, 2016).

1.6. SALES

Las sales orgánicas e inorgánicas se clasifican como aditivos alimentarios y están reconocidas por la FDA como GRAS (Senti, 1981). En comparación con otros compuestos GRAS, estas sales destacan por su disponibilidad y bajo coste. Además, presentan una alta solubilidad en agua y se sintetizan fácilmente, lo que facilita su aplicación en soluciones acuosas postcosecha y posibilita su implementación comercial en las infraestructuras de los almacenes de envasado de productos frescos (Palou *et al.*, 2008, 2016). Las soluciones acuosas de estas sales ofrecen una acción antifúngica, han sido demostrada su eficacia en concentraciones del 2 al 6% en una variedad de productos, incluidos los cítricos (Cunningham & Taverner, 2007; Nigro *et al.*, 2006; Smilanick *et al.*, 1997).

Entre estas sales se incluyen bicarbonato de sodio y carbonato de sodio (Palou *et al.*, 2008; Smilanick *et al.*, 1999), sorbato de potasio (Montesinos-Herrero *et al.*, 2009; Smilanick *et al.*, 2008; Youssef & Hussien, 2020), silicato de potasio (Moscoso-Ramírez & Palou, 2014), benzoato de sodio (Montesinos-Herrero *et al.*, 2016; Palou *et al.*, 2008), metilparabeno de sodio y etilparabeno de sodio (Moscoso-Ramírez *et al.*, 2013a, 2013b), entre otros. La principal ventaja del uso de estos compuestos es que permitirían la reducción de residuos químicos en la fruta, además de mejorar la calidad del agua de vertido utilizada en los procesos de acondicionamiento de fruta en los almacenes. Además, las sales también actúan de manera compatible y a menudo sinérgica con otros métodos de control alternativos, como la aplicación de calor o el uso de agentes biológicos (Palou *et al.*, 2016; Wisniewski *et al.*, 2016).

Por tanto, cabe destacar, que las sales son efectivas para combatir las podredumbres verde y azul en cítricos, causadas por *P. digitatum* y *P. italicum*, respectivamente. En este ámbito, se realizó una investigación en la que se evaluaron más de cuarenta aditivos diferentes, tales como acetatos, sorbatos, benzoatos, propionatos, formatos, cloruros y fosfatos en soluciones acuosas, dirigidas al control *in vivo* de *P. digitatum* en cítricos. Los aditivos que mostraron mayor efectividad en la reducción de la incidencia de podredumbre causada por *P. digitatum* fueron el benzoato sódico y el sorbato potásico (Palou, 2007).

1.6.1. Benzoato de sodio

El benzoato de sodio (E-211), un conservante sintético producido por la reacción entre el hidróxido de sodio (E524) y el ácido benzoico (E210), está regulado como aditivo alimentario por el Reglamento (UE) N° 1129/2011. Se utiliza como conservante fungicida y antibacteriano en alimentos. Su efectividad se manifiesta en condiciones ácidas, por lo que, se emplea en

refrescos, conservas, alimentos que contienen vinagre, salsas, tónicas, bebidas energéticas, aceitunas, zumos, cervezas sin alcohol, licores, vinos (Yazdanfar et al., 2023).

En lo que respecta a la postcosecha de cítricos, ha sido identificado como un agente antifúngico eficaz. Su eficacia ha sido comparable al tratamiento comercial con Tiabendazol, en el control del moho verde a concentraciones del 2% (p/v). En investigaciones previas, se ha explorado la aplicación de benzoato de sodio *in vivo* contra diversos patógenos postcosecha. Los estudios han demostrado que este compuesto es eficaz, superando la efectividad de otros tratamientos de amplio espectro (Palou et al., 2009).

1.6.2. Sorbato potásico

El sorbato de potasio (E-202) es un conservante en la industria alimentaria regulado también por Reglamento (UE) N° 1129/2011. Su primera propuesta fue en 1978 para combatir infecciones por *P. digitatum* en cítricos, su aplicación en solución acuosa ha sido considerada como una alternativa postcosecha para reducir la incidencia en cítricos. Su uso se enriquecido ha combinado a menudo con calor y fungicidas sintéticos para mejorar la eficacia del tratamiento. Actualmente, el sorbato de potasio se está incorporando en ceras como tratamientos superficiales en cítricos en España y también en otros países exportadores de cítricos (Yazdanfar et al., 2023).

1.7. JUSTIFICACIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN Hernández

Debido a la expansión de las industrias cítricas de sus mercados, se exportan limones a países lejanos. En este contexto, existe la necesidad de investigar estrategias efectivas y sostenibles para reducir la incidencia de podredumbres postcosecha y prolongar la vida útil de los limones, y al mismo tiempo, mantener la máxima calidad de los productos que demandan los consumidores. Por lo tanto, en base a la efectividad demostrada previamente de las sales en su uso en postcosecha, se propone estudiar la aplicación de estas sales, en concreto, benzoato de sodio (BS) y sorbato potásico (SP), en precosecha para el cultivo del limón.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el efecto de la aplicación precosecha de aditivos alimentarios, concretamente, el benzoato de sodio y sorbato potásico, sobre la incidencia de podredumbre y la mejora de la calidad de limón “Fino 49”.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar benzoato de sodio y sorbato potásico en precosecha, utilizadas como aditivos alimentarios.
- Evaluar la efectividad de distintas concentraciones de cada sal para determinar la concentración más eficaz.
- Evaluar la efectividad de los tratamientos en la calidad del limón en el momento de la recolección y durante su periodo de conservación.
- Evaluar la efectividad de estos tratamientos en el control de podredumbres durante el periodo postcosecha.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la finca “El Arenal” ubicada en El Raal (Murcia) (Figura 8). Se trataron árboles de limón ‘Fino 49’ de 12 años, que habían sido injertados en *Citrus macrophylla* y plantados a 7 m x 5 m. Se trataron 5 árboles por tratamiento y dosis, dispuestos en bloques al azar. Para la comparación de resultados, se marcaron 5 árboles como árboles control (Figura 9).

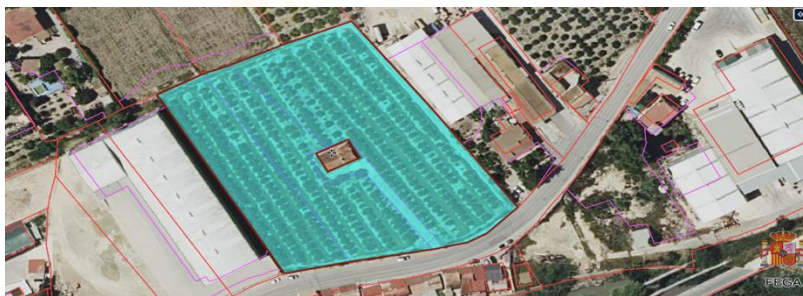


Figura 8. Localización de la finca “El Arenal” en El Raal, Murcia. Fuente: Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023.



Figura 9. Inicio ensayo finca Fino 49.

Para analizar el efecto de la aplicación precosecha de sales en limón y prevenir la podredumbre, se utilizaron dos sales: Benzoato de Sodio (BS) y Sorbato Potásico (SP) que se aplicaron mediante pulverización foliar en concentraciones de 0.5%, 1% y 3%. Se realizaron cuatro aplicaciones, con un intervalo aproximado de un mes entre cada una, siendo la última aplicación realizada cuatro días antes de la recolección (04/01/2024). La recolección se llevó a cabo una vez los limones presentaron un color uniforme y el tamaño comercial (08/01/2024) (Figura 10).



Figura 10. Recolección en finca Fino 49 (08/01/2024).

La preparación de los tratamientos consistió en disolver el benzoato de sodio (BS) en agua, ajustándose a concentraciones del 0.5%, 1% y 3%. Se añadieron 75 g de BS para alcanzar una concentración del 0.5%, 150 y 450 g para alcanzar una concentración de 1 y 3%, respectivamente, disueltos en mochilas de 15 litros de agua, utilizando una mochila por cada cuatro árboles. Además, se añadió un 0.1% (15 mL) de mojante para mejorar la adherencia del tratamiento a la superficie del fruto.

De forma similar, se prepararon los tratamientos con sorbato potásico (SP), usando las mismas concentraciones y cantidades proporcionalmente equivalentes para cada concentración, igualmente disueltos en 15 litros de agua por mochila. Para el grupo control, los árboles fueron tratados solamente con agua, excluyendo los aditivos de BS o SP, pero manteniendo el 0.1% de mojante para mantener la uniformidad en la aplicación de los tratamientos.

El efecto de estos tratamientos se evaluó en el momento de la recolección y durante el periodo de almacenamiento postcosecha mediante el análisis de diferentes parámetros de calidad: pérdida de peso, tasa de respiración, color, firmeza, sólidos solubles totales, acidez total, así como parámetros funcionales como el contenido de fenoles totales. Para ello, los limones fueron trasladados al laboratorio de la Universidad Miguel Hernández inmediatamente después de la recolección. Los limones se seleccionaron para que tuvieran un tamaño y color homogéneos y ausencia de heridas y se organizaron para realizar un muestreo inicial (día 0), que consistió en tres réplicas de cinco limones cada una, en total 15 limones por tratamiento y por concentración.

Además, se prepararon lotes adicionales para el almacenamiento, con el fin de realizar cinco muestreos, uno cada siete días, a los 7, 14, 21, 28 y 35 días de almacenamiento. Para ello, se hicieron cinco lotes adicionales por tratamiento y concentración, cada uno con tres réplicas de cinco limones (15 limones por lote) y se conservaron a una temperatura de 8 °C y una humedad relativa del 85-90 % (Figura 11).

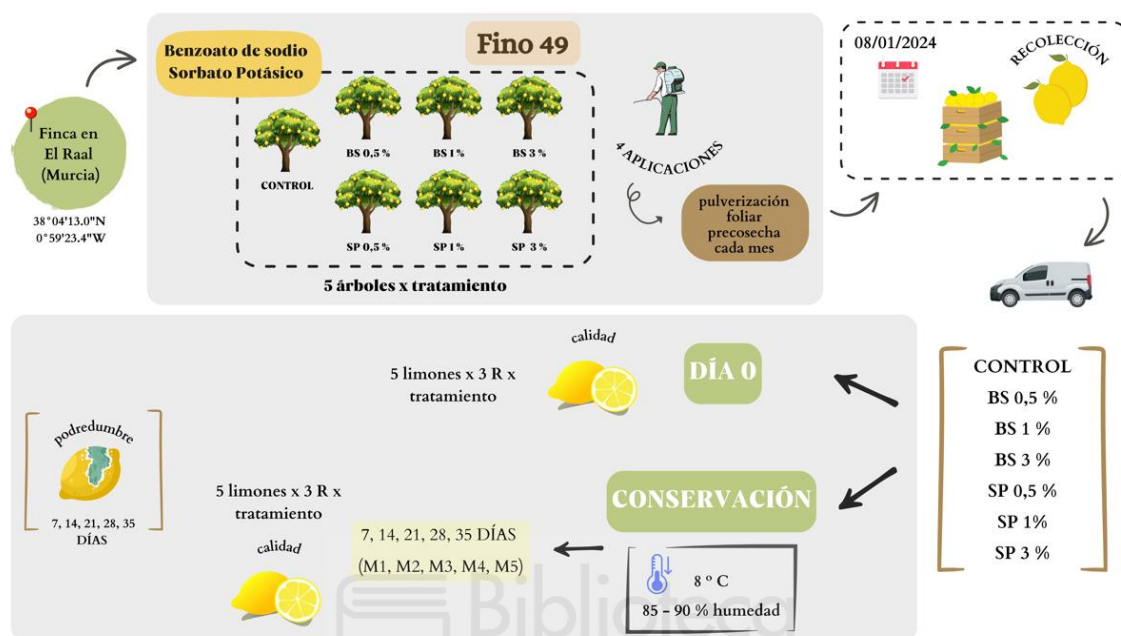


Figura 11. Diagrama del diseño experimental para la evaluación de la incidencia de podredumbre y de la calidad en limón con la aplicación de sales en precosecha.

3.2. INCIDENCIA DE PODREDUMBRE

Se llevó a cabo un recuento de aparición de podredumbres en las instalaciones de la empresa de Citrus GB para evaluar la eficacia de los tratamientos. De cada tratamiento se almacenaron 1.000 limones en condiciones de refrigeración, distribuidos en cajas de 100 limones cada una, con un total de 10 réplicas. De manera semanal, se realizó el recuento de los limones afectados por podredumbre en el conjunto de los 1.000 limones de cada tratamiento (Figura 12). Se calculó el porcentaje de podredumbres para cada tratamiento en relación con el control (limones tratados únicamente con agua). Los limones se almacenaron hasta alcanzar aproximadamente el 20% de incidencia de podredumbres, y estos datos se registraron acumulativamente a lo largo del experimento.



Figura 12. Recuento de aparición de podredumbre en las instalaciones de la empresa.

3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS: PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

3.3.1. Pérdida de peso

Las pérdidas de peso se determinaron utilizando una balanza Radwag WLC 2/A2 (Radwag Wagi Elektroniczne) (Figura 13) con una precisión de 2 cifras decimales ($\pm 0,01$ g). Se pesaron todos los limones el día de la recolección (día 0) y en los días de muestreo posteriores, cada 7 días durante el período de conservación, comparando estos pesos con los registrados el día 0. La pérdida de peso se expresa en porcentaje (%) y los resultados se presentan como la media \pm error estándar (SE) de las diferentes réplicas utilizadas en cada muestreo.



Figura 13. Balanza Radwag WLC 2/A2 utilizada para la determinación de pérdida de peso.

3.3.2. Firmeza

La firmeza se evaluó utilizando el analizador de textura TX-XT2i (Stable Microsystems, Godalming, Reino Unido) (Figura 14), mediante un ensayo de deformación del limón con un plato plano de acero montado en el texturómetro, conectado a un ordenador. Esta placa aplica una fuerza hasta alcanzar una deformación equivalente al 5% del diámetro del fruto, proporcionando así el valor de la fuerza necesaria para alcanzar dicha deformación y la cantidad de mm deformados. Los resultados se presentan en términos de N/mm, y se expresaron como la media \pm error estándar (SE).

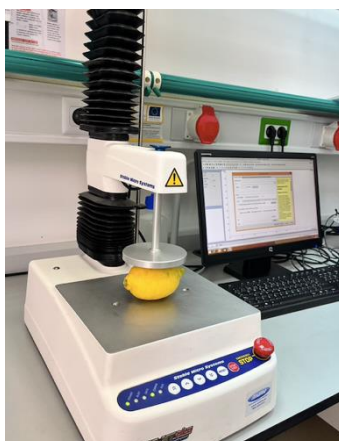


Figura 14. Evaluación de la firmeza utilizando el texturómetro TX-

3.3.3. Tasa de respiración

Para determinar la tasa de respiración de los limones se utilizó el sistema estático propuesto por Kader (1992) que implica encerrar el producto en un recipiente de cierre hermético por un periodo de tiempo. Para realizar estas medidas, se colocaron limones de peso conocido en un bote de plástico de 3700 mL con tapadera de cierre hermético (Figura 15). A través de un septum incorporado en la tapa, se extrajeron los gases del interior usando jeringuillas trascurridos 60 minutos, se tomaron tres muestras del aire del espacio de cabeza del bote.



Figura 15. Limones en recipiente hermético para determinación de tasa de respiración.

Como consecuencia de la respiración se produce CO_2 que se cuantificó usando un cromatógrafo de gases Shimadzu™ GC-14B con un detector de conductividad térmica (TCD) y una columna de relleno concéntrica CTR I (ALLTECH). Antes de realizar la inyección, se realizó una calibración con patrón externo usando aire atmosférico, cuya concentración de CO_2 es 0,036 %. Las condiciones de trabajo fueron: temperatura del horno 35 °C, temperatura del inyector 120 °C, temperatura del detector 120 °C y el flujo de la fase móvil (Helio) de 65 mL/min.

La tasa de respiración se calculó con la siguiente fórmula:

$$\frac{mg\ CO_2}{kg\ x\ h} = \frac{(V - P) \times (0,687 \times A_{CO_2} \times 60)}{(A_{patrón} \times P \times T)}$$

Siendo:

V = Volumen del recipiente (mL)

P = Peso de los frutos (g)

A = Área de CO₂ obtenida en el cromatógrafo de las muestras analizadas (mm²)

A_{patrón} = Área del patrón de CO₂ en el cromatógrafo al introducir el patrón de aire exterior (mm²)

T = Tiempo que ha permanecido los limones en el interior del recipiente (min)

3.3.4. Color

Los cambios de color se evaluaron mediante colorimetría usando un colorímetro Minolta (CRC 200, Minolta Camera Co., Japón) (Figura 16) para analizar las diferencias en cada día de muestreo respecto al día 0. Se utilizó el espacio CIELAB, que mide las coordenadas que se acercan a la percepción humana del color. Cada color se define por el valor de estas tres coordenadas, siendo L* (luminosidad) a* (rojo/verde) y b* (amarillo/azul).



Figura 16. Medición del color usando colorímetro Minolta.

Se realizaron tres mediciones en puntos diferentes del fruto en cada limón de cada réplica, Se consideró de interés representar el parámetro b^* , al ser el más significativo para el color amarillo del limón (Figura 17). Los datos se expresaron como la media \pm error estándar (SE).

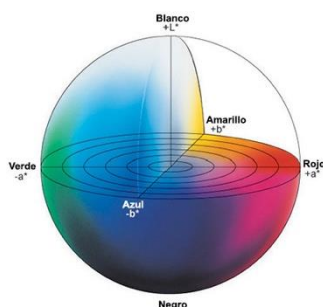


Figura 17. Espacio de color CIELAB.

3.3.5. Determinación de Sólidos Solubles Totales (SST)

La determinación de sólidos solubles totales (SST) se evaluó por duplicado por medio de refractometría del zumo de limón obtenido de 5 limones por réplica mediante un refractómetro digital (Hanna Instruments, Rhode Island, EE.UU.) (Figura 18) a 20 °C. Los resultados, expresados como la media \pm error estándar (SE) de los datos de SST y se representaron en °Brix.



Figura 18. Medición de SST en zumo con refractómetro digital.

3.3.6. Evaluación de Acidez Total (AT).

La acidez titulable (AT) se determinó por duplicado de cada una de las réplicas mediante la titulación de 0,5 mL de zumo en 25 mL de agua destilada con NaOH 0,1 mM hasta alcanzar un pH de 8,1, utilizando un titulador automático (785 DMP Titrino; Metrohm, Herisau, Suiza) (Figura 19) con una sensibilidad de \pm 0,01 pH. Los resultados se expresaron como la media \pm

error estándar (SE) de los datos de AT y se representan como porcentaje de ácido cítrico (g ácido cítrico/ 100 mL).



Figura 19. Titulador automático 785 DMP Titrimo.

3.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS: PARÁMETROS FUNCIONALES

3.4.1. Contenido de polifenoles totales

Para la extracción y cuantificación de fenoles totales en el flavedo (Figura 20) se siguió el método descrito por Gutiérrez-Pozo *et al.*, (2023) con ligeras modificaciones. Se pesaron 2 gramos de muestra de flavedo troceado en un tubo de centrifuga y se añadieron 15 mL de agua:metanol (2:8) que contenía 2 mM de fluoruro de sodio (NaF) para inactivar la polifenoloxidasas y prevenir la degradación de los fenoles. La homogeneización se llevó a cabo con un Polytron (IKA T18 basic, Ultraturrax) durante 1 minuto, se centrifugaron a 10.000 x g en una centrifuga C30P (B. Braun Biotech International) durante 12 minutos a 4 °C. Se extrajo el sobrenadante y se guardó en tubos Eppendorf para su posterior cuantificación. Estas extracciones se realizaron por duplicado para cada una de las muestras (3 muestras por tratamiento), resultando en 6 extracciones por tratamiento, concentración y fecha de muestreo.



Figura 20. Flavedo de limón para cuantificación de fenoles totales.

Para determinar el contenido de fenoles, se realizó una dilución 1:4 (extracto:metanol) y se cuantificaron usando el reactivo Folin-Ciocalteu, que reacciona con los fenoles produciendo un color azul característico. En un tubo de ensayo se añadieron 200 μL del extracto de muestra, 300 μL de tampón fosfato y 2,5 mL de reactivo Folin diluido 1/10. Se agitó durante 10 segundos en un vortex (IKA) y se dejaron reposar durante 2 minutos, después se añadieron 2 mL de una solución de Na_2CO_3 (53 g/L) para detener la reacción y se agitó durante 10 segundos nuevamente. Los tubos se introdujeron en un baño a 50 °C durante 5 minutos.

Finalmente, se realizó la lectura mediante espectrofotometría a 760 nm en un espectrofotómetro UV-1700 Pharma Spec (Shimadzu). Se cuantificó en base a una recta patrón con ácido gálico como patrón. Los resultados se expresan como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) en 100 g^{-1} de peso fresco y se presentan como la media \pm error estándar (SE).

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se llevó a cabo usando el software SPSS v. 20.0 para Windows. Los datos se analizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) y se realizó una prueba de rangos múltiples (prueba HSD de Tukey) para encontrar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y días de almacenamiento.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS CON BS Y SP EN LA REDUCCIÓN DE PODREDUMBRE EN LIMÓN

Se evaluó el efecto de la aplicación de tratamientos precosecha con benzoato de sodio (BS) y sorbato potásico (SP) en distintas concentraciones (0.5 %, 1 %, y 3 %) sobre la incidencia de podredumbre en limones 'Fino 49'. Se observó que tras 14 días de almacenamiento a 8 °C (Figura 21A), los limones tratados con BS y SP a las tres concentraciones redujeron significativamente ($p < 0.05$) la incidencia de podredumbre en comparación con los no tratados. El tratamiento con BS al 0,5% fue el que mostró la mayor reducción (89%) en la incidencia de podrido con respecto al control, con un valores de 0.5 % \pm 0.1 y 4.5 % \pm 0.47, respectivamente.

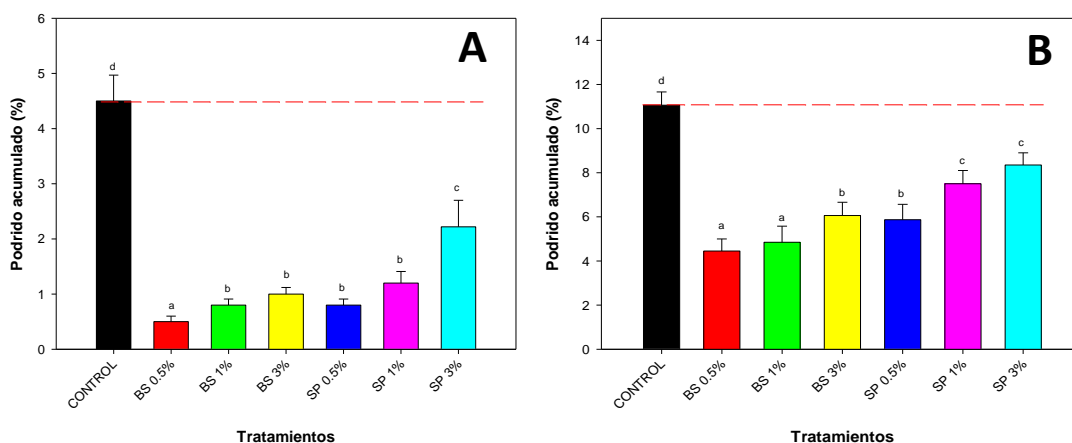


Figura 21. Podrido acumulado (%) en limones 'Fino 49' tratados con benzoato de sodio (BS) y sorbato potásico (SP) al 0.5%, 1% y 3% tras 14 días (A) y 35 días (B) de almacenamiento a 8 °C. Los datos son la media \pm SE de diez réplicas de cajas de 100 limones cada una. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Se observaron diferencias significativas entre las concentraciones de SP, siendo la concentración de 3 % la que mostró menor reducción en la incidencia de podredumbre, después del control a los 14 días. Esto indica que la eficacia fungicida del SP es dependiente de la dosis.

En lo que respecta a los 35 días de almacenamiento (figura 21B), se mantuvo el efecto fungicida del BS, especialmente en las concentraciones más bajas. Los tratamientos de BS al 0.5 % y al 1 % resultaron en una reducción significativa ($p < 0.05$) de la podredumbre acumulada, alcanzando un 60 % y 56 % de incidencia respectivamente, comparados con el control. Por otro lado, los tratamientos con BS al 3 % y SP al 0,5 % mostraron una reducción disminuyendo la incidencia a un 45 % y 43 % respectivamente.

En un estudio previo, Youssef *et al.* (2012), analizaron el efecto de varias sales sobre el control de enfermedades postcosecha en clementinas 'Comune' y naranjas 'Valencia Late'. Demostraron que las sales pueden ser efectivas para reducir la incidencia de podredumbre en estos cítricos. En concreto, sales como carbonato de sodio y carbonato de potasio inhibieron completamente la incidencia de podredumbre en comparación con el control. Por otro lado, las aplicaciones combinadas de diversas sales también demostraron ser efectivas en comparación con el control. Sin embargo, cuando se aplicaron las sales después de la cosecha, la actividad antifúngica era generalmente menos efectiva. Estos resultados son acordes con las observaciones de este estudio, donde el efecto fungicida de las sales, especialmente de BS, persistió de manera eficaz en las concentraciones más bajas.

Estudios anteriores han concluido que la eficacia de estos tratamientos disminuye con el tiempo. Al prolongar el período de incubación de los frutos tratados hasta los 14 días, la incidencia de descomposición aumentó en comparación con los 7 días. Esto podría indicar que la protección que ofrecen estas sales no tiene un efecto a largo plazo, tal y como se observó en los resultados de este estudio. Además, se ha observado que el sorbato de potasio, el benzoato de sodio y sus combinaciones, al igual que otras sales derivadas de ácidos orgánicos, actúan como agentes fungistáticos más que fungicidas, mostrando una eficacia limitada en el tiempo. Así pues, aunque estas sustancias impiden la proliferación de hongos, no los eliminan completamente y su efecto disminuye relativamente rápido (Palou *et al.*, 2002).

4.2. EFECTO DE LA APLICACIÓN DE SALES EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y FUNCIONALES

La Tabla 1 presenta los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) para determinar el efecto que el tiempo y los tratamientos aplicados tienen sobre los diferentes parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, color, tasa de respiración, sólidos solubles totales y acidez titulable), así como de parámetros funcionales (contenido fenólico). Este análisis se realizó para cada una de las sales. Los valores F derivados del ANOVA indican las diferencias significativas observadas entre los tratamientos y a lo largo del tiempo de almacenamiento, tanto para BS como para SP.

Tabla 1. Valores F del análisis de la varianza (ANOVA) en los conjuntos de datos de pérdida de peso, firmeza, parámetro b*, tasa de respiración, sólidos solubles totales, acidez titulable y contenido fenólico total de los frutos tratados con BS y SP. Las diferencias significativas entre tratamientos y tiempo se muestran con tres asteriscos ($p < 0.01$).

BENZOATO DE SODIO

Valor F							
	Pérdida de peso	Firmeza	Parámetro b*	Tasa de Respiración	SST	Acidez Titulable	Fenoles Totales
Tiempo	132.1 ***	65.2 ***	19.31 ***	1735.83 ***	5.41 ***	13.26 ***	54.06 ***
Tratamiento	20.78 ***	36.06 ***	12.60 ***	128.50 ***	156.42 ***	42.61 ***	12.22 ***

SORBATO POTÁSICO

Valor F							
	Pérdida de peso	Firmeza	Parámetro b*	Tasa de Respiración	SST	Acidez Titulable	Fenoles Totales
Tiempo	82.78 ***	105.84 ***	28.18 ***	1712.06 ***	14.64 ***	12.92 ***	39.44 ***
Tratamiento	63.83 ***	107.11 ***	23.16 ***	74.47 ***	90.86 ***	48.91 ***	21.47 ***

En general, se observa que hay diferencias significativas en todos los parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, parámetro b*, tasa de respiración, sólidos solubles totales y acidez titulable) y parámetros funcionales (fenoles totales) respecto a los tratamientos y al tiempo, tanto para BS como para SP.

En concreto, la tasa de respiración para el BS evaluando el tiempo de almacenamiento presentó el valor F más alto observado en la tabla con un valor de 1735.83. Cabe destacar, que los SST de BS muestran las menores diferencias, ya que, su valor F se corresponde a 5.41.

4.2.1. Evolución de la pérdida de peso

Las gráficas presentadas (Figura 22) muestran el efecto de los tratamientos precosecha de sales durante un periodo de conservación de 35 días a 8 °C. En ambas gráficas se presentan los valores de pérdida de peso, expresado en porcentaje, con respecto al tiempo de almacenamiento (0, 7, 14, 21, 28 y 35 días).

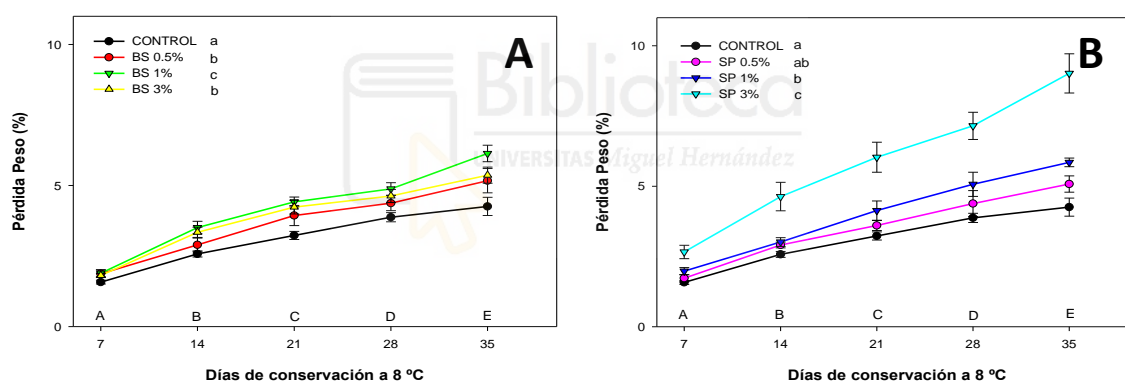


Figura 22. Evolución de pérdida de peso (%) en limones tratados con BS (A) y SP (B) a distintas concentraciones (0.5 %, 1 % y 3 %) almacenados durante 35 días a 8° C. Los datos son la media \pm SE de quince frutos individuales. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Diferentes letras mayúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre días de almacenamiento.

En la Figura 22A, se observan los resultados de pérdida de peso para el tratamiento BS aplicado en tres concentraciones (0.5 %, 1% y 3 %), junto a los frutos no tratados, representados en color negro. La Figura 22B representa los resultados para el tratamiento SP, también en tres concentraciones (0.5 %, 1% y 3 %), comparado con el control. En ambas gráficas se observó una variación de la pérdida de peso en respuesta a los diferentes tratamientos y concentraciones a lo largo del tiempo de almacenamiento.

Al evaluar la pérdida de peso, todos los frutos mostraron un incremento progresivo a lo largo del tiempo de almacenamiento, lo que confirma que el deterioro aumenta y, por ende, la pérdida de calidad con el paso del tiempo.

La pérdida de peso en los frutos es un parámetro esencial para evaluar la calidad del limón y su aceptación entre los consumidores. Esto ocurre principalmente por la transpiración a través de la cáscara del fruto y al proceso de senescencia (Serna-Escolano *et al.*, 2021).

En los frutos tratados con BS (Figura 22A), la pérdida de peso aumentó de manera significativa (p -value < 0.05) en comparación con los no tratados (Tabla 1). Destaca que los frutos con el tratamiento BS al 1 % a los 35 días llegaron a alcanzar una pérdida de peso del 6.13 ± 0.29 %, frente al 4.26 ± 0.32 % de los frutos no tratados. Un estudio previo en peras, aplicaron BS en postcosecha y obtuvieron resultados similares (Kaura *et al.*, 2019).

Por otro lado, los frutos tratados con SP (Figura 22B) presentaron una mayor pérdida de peso. Destacando que esta pérdida fue mayor a medida que aumentaba la concentración del tratamiento aplicado, especialmente el tratamiento con SP al 3 %, que mostró una tasa de deterioro acelerada, alcanzando un 9.02 ± 0.7 % de pérdida de peso a los 35 días, en comparación con el 4.26 ± 0.32 % observado en el control.

4.2.2. Firmeza

La firmeza de los frutos disminuyó durante el periodo de almacenamiento, observándose valores de 12.79 ± 0.47 y 8.0 ± 0.35 N/mm en los limones no tratados en el momento de la recolección y tras 35 días de almacenamiento, respectivamente (Figura 23). Esta tendencia se observó tanto en los frutos no tratados como en los tratados con las diferentes sales.

La aplicación de las sales, tanto BS como SP, disminuye significativamente la firmeza del fruto en función de la dosis aplicada, es decir, a menores concentraciones de BS y SP, los frutos demuestran una mayor turgencia (Tabla 1). Siendo esta correlación dosis-respuesta más evidente entre el control y los tratamientos con SP (Figura 23B) a los 35 días de almacenamiento, la firmeza en el control se mantuvo en 8 ± 0.35 N/mm, mientras que para las dosis de 0.5 %, 1 %, y 3 % de SP, los valores fueron de 6.5 ± 0.5 , 5.12 ± 0.42 y 5.0 ± 0.25 N/mm, respectivamente. Así pues, se puede destacar que el tratamiento con BS al 0.5% fue el que menos redujo la firmeza del fruto.

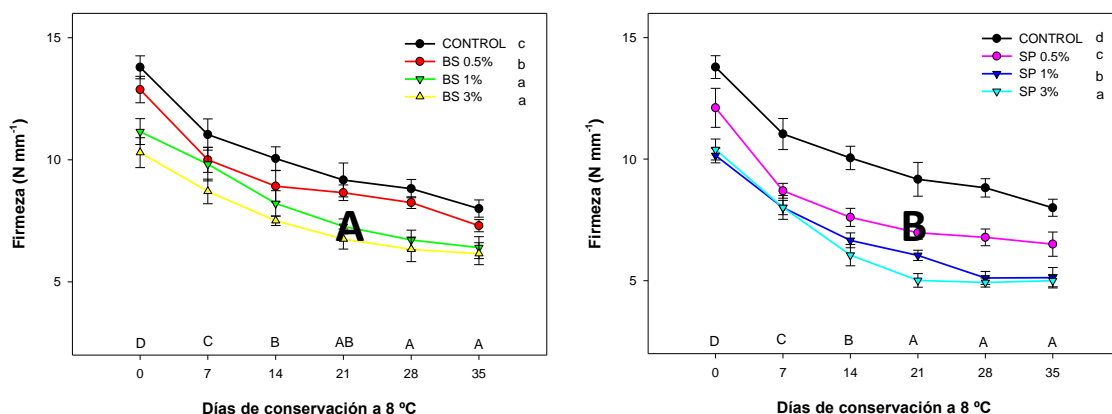


Figura 23. Evolución de la firmeza (N/mm) en limones tratados con BS (A) y SP (B) a distintas concentraciones (0.5 %, 1 % y 3 %) almacenados durante 35 días a 8 °C. Los datos son la media \pm SE de quince frutos individuales. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Diferentes letras mayúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre días de almacenamiento.

La firmeza del limón está intrínsecamente relacionada con la turgencia celular y el grosor de la piel, además esto influye directamente en la aceptación por el consumidor y el mercado del limón. Los principales constituyentes de la pared celular de las capas de flavedo y albedo del limón son las pectinas, hemicelulosas y celulosa, que se degradan a través de la actividad de enzimas, principalmente poligalacturonasas, pectina metil esterases y las celulasas, proceso que está directamente vinculado con el ablandamiento del fruto (Serna-Escolano *et al.*, 2021).

La pérdida de firmeza y la pérdida de peso en las frutas están estrechamente relacionadas, ya que ambos procesos están influenciados por la transpiración y la pérdida de humedad durante el almacenamiento (Paniagua *et al.*, 2013). Tal como se muestra en las Figuras 17b y 20B, existe una correlación lineal entre la firmeza y la pérdida de peso, las concentraciones que mantuvieron una mayor firmeza en SP (control, 0.5 %, 1 % y 3 %) son las mismas que presentan una menor pérdida de peso durante el periodo de almacenamiento. Por tanto, conforme la fruta pierde agua, no solo disminuye su peso, sino que también se ve afectada su turgencia, lo que resulta en una reducción de la firmeza.

4.2.3. Tasa de respiración

La tasa de respiración de los frutos se evaluó en el momento de la recolección y tras los 35 días de almacenamiento a 8 °C, como se muestra en las Figuras 24A y 24B. En general, todos los frutos mostraron una tasa metabólica menor a los 35 días de almacenamiento que en el momento de la recolección, lo que indica una ralentización de las vías metabólicas, debido a la disminución de las reacciones químicas y enzimáticas de los frutos inducida por las bajas temperaturas

En el momento de la recolección, la tasa de respiración fue mayor en los limones tratados con BS (Figura 24A) que en los frutos control. Estas diferencias se mantuvieron después de 35 días de almacenamiento en frío, las concentraciones de BS (0.5 %, 1 % y 3 %) obtuvieron unos valores de 10.53 ± 0.36 , 11.20 ± 0.25 y 11.50 ± 0.22 , respectivamente, los frutos no tratados resultaron un valor de 8.15 ± 0.22 significativamente más bajo.

En lo que respecta a los frutos tratados con SP (Figura 24B), presentaron una mayor tasa de respiración en comparación a los no tratados, tanto en el momento de la recolección como tras los 35 días. Además, la concentración de SP no afectó a la tasa de respiración, no encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las diferentes concentraciones aplicadas (Tabla 1).

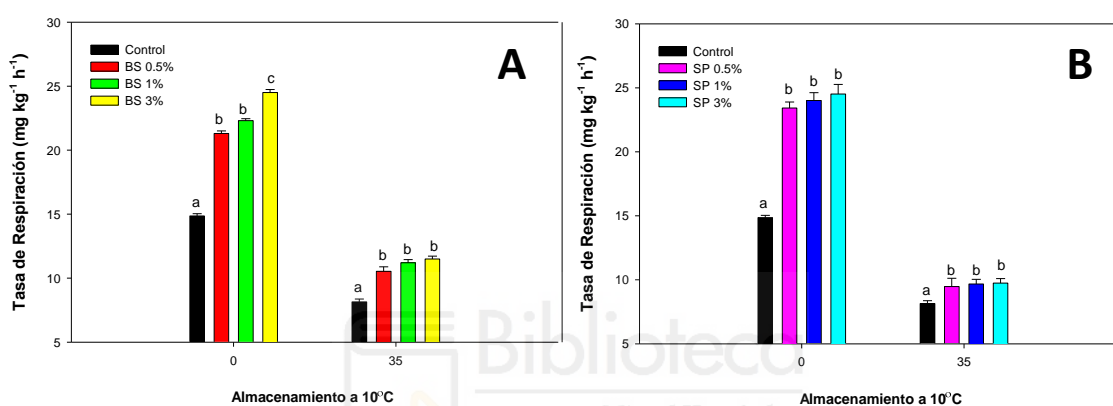


Figura 24. Evolución de la tasa de respiración ($\text{mg}/\text{kg h}$) en limones tratados con BS (A) y SP (B) a distintas concentraciones (0.5 %, 1 % y 3 %) almacenados durante 35 días a 8°C . Los datos son la media \pm SE de tres réplicas de cinco limones. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

4.2.4. Color

El aspecto visual, perceptible especialmente a través del color, influye en la decisión de compra de los consumidores. Así pues, se estudió el color de los frutos en base al parámetro b^* del espacio CIELAB, en el momento de la recolección y durante los 35 días de almacenamiento (Figura 25). En general, la aplicación de ambas sales aumentó significativamente ($p < 0.05$) el parámetro b^* de los frutos (Tabla 1).

En los limones tratados con BS (Figura 25A) se observaron variaciones en los valores del parámetro b^* tanto a lo largo del tiempo como entre las distintas concentraciones BS, a mayor concentración, mayor valor de b^* , por lo tanto, un color ligeramente más amarillo, indicando diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con el control. Estos resultados se pueden apreciar en la Figura 26 que muestra el aspecto visual que presentaban los frutos estudiados, tanto en el momento de la recolección y tras 35 días de almacenamiento en frío.

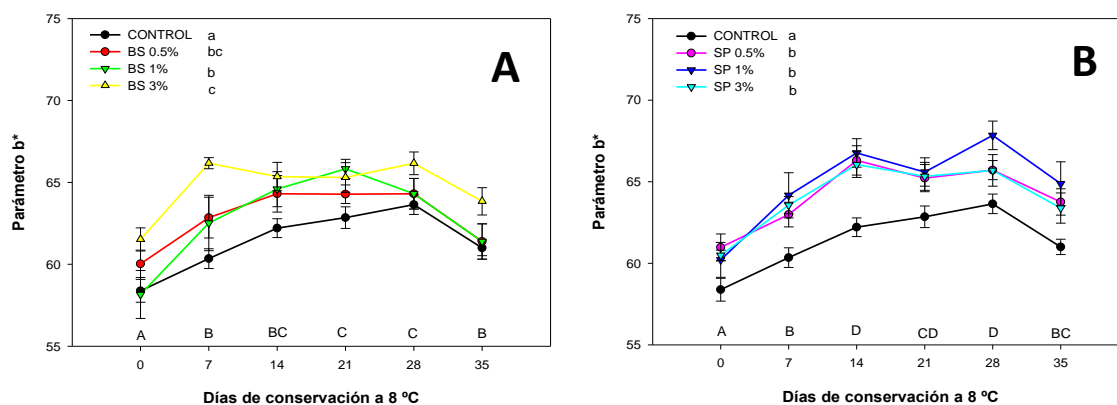


Figura 25. Evolución del color (parámetro b*) en limones tratados con BS (A) y SP (B) a distintas concentraciones (0.5 %, 1 % y 3 %) almacenados durante 35 días a 8°C. Los datos son la media \pm SE de quince frutos individuales. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Diferentes letras mayúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre días de almacenamiento.

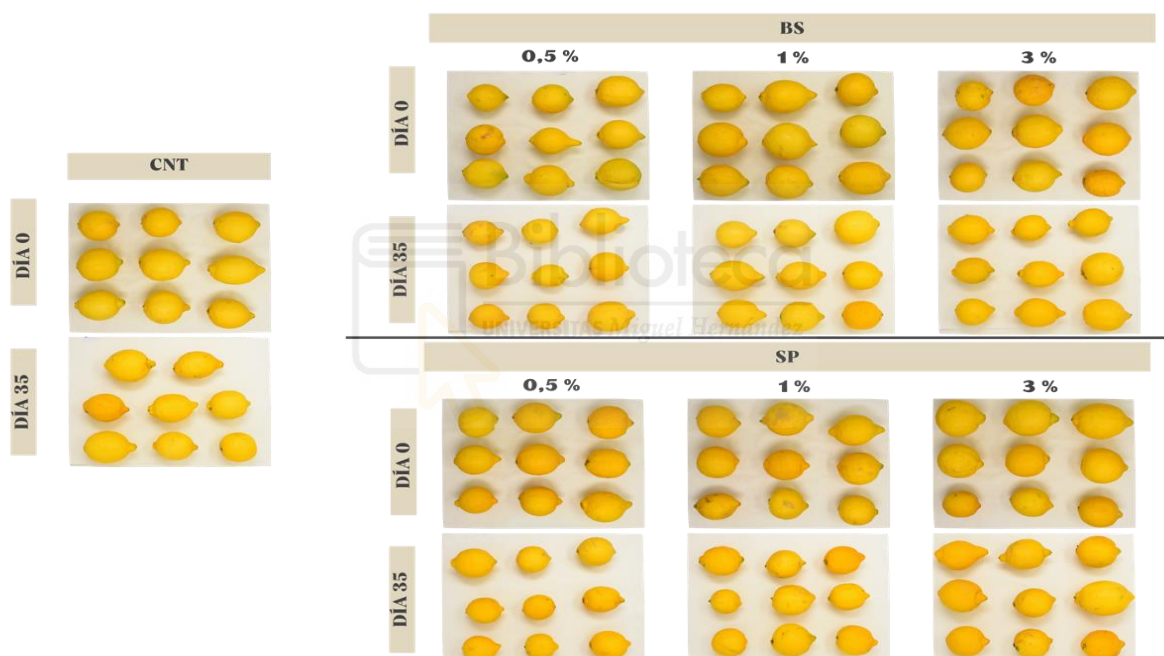


Figura 26. Comparativa visual del efecto de los tratamientos de Benzoato de Sodio (BS) y Sorbato de Potasio (SP) en la apariencia de los limones en el momento de la recolección y tras 35 días de almacenamiento en relación a los frutos no tratados.

En cuanto a los limones tratados con SP, la tendencia en el parámetro b* es ligeramente diferente (Figura 25B). Todos los frutos tratados con SP mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con los no tratados, siendo estas variaciones más pronunciadas durante las últimas semanas de almacenamiento en los frutos tratados. Cabe destacar la concentración de SP de 1 % que alcanzó a los 28 días de almacenamiento un valor de 67.84 ± 0.87 del parámetro b*, respecto a los frutos no tratados que obtuvieron un valor de 63.64 ± 0.60 a los 28 días de almacenamiento.

4.2.5. Sólidos Solubles Totales (SST)

La Figura 27 presenta la evolución de la concentración de Sólidos Solubles Totales (SST), en limones tratados con BS y SP. Se observó que, en general, a mayores concentraciones de estas sales, mayor es el valor de ° Brix alcanzado, destacando las concentraciones del 3 % de BS y SP, que son significativamente mayores ($p < 0.05$) que en los frutos no tratados (Tabla 1).

El contenido en sólidos solubles totales se mantuvo durante el almacenamiento, no encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el momento de la recolección y tras 35 días de almacenamiento (Figura 27A). Por lo que el contenido en SST se mantuvo durante el periodo de almacenamiento, tanto en los frutos no tratados como los tratados por ambas sales.

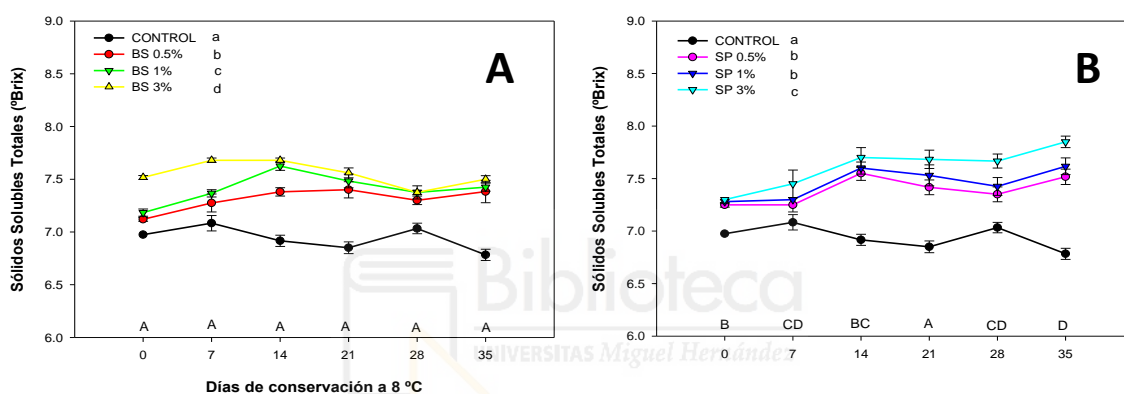


Figura 27. Evolución de la concentración de SST (° Brix) en limones tratados con BS (A) y SP (B) a distintas concentraciones (0.5 %, 1 % y 3 %) almacenados durante 35 días a 8 °C. Los datos son la media ± SE de tres réplicas de cinco limones. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Diferentes letras mayúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre días de almacenamiento.

4.2.6. Acidez Titulable (AT)

El ácido cítrico es el ácido predominante en el zumo de limón, con una concentración de 48,0 g/L en el zumo fresco, por tanto, es el indicador principal utilizado para evaluar la acidez en su zumo (Liu *et al.*, 2022).

En la Figura 28, se muestra cómo la acidez titulable, expresada en porcentaje de ácido cítrico, varía en los frutos a lo largo de los 35 días de almacenamiento a 8° C. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la acidez titulable de los limones a lo largo de las distintas fechas de muestreo (Tabla 1), lo que indica cambios en la composición química de los frutos conforme transcurre el tiempo. En general, se observó una disminución de la acidez a medida que avanza el período de almacenamiento.

Asimismo, podemos observar que las concentraciones más altas de BS están asociadas con niveles de acidez más bajos (Figura 28A). Destacó el tratamiento con BS al 0.5% por ser el único que mostró una mayor acidez después del periodo de almacenamiento de 35 días alcanzando 6.06 ± 0.07 % de ácido cítrico, comparado con su valor inicial de 5.94 ± 0.07 % de ácido cítrico.

En contraste con el BS, la acidez en los limones tratados con SP (Figura 28B) mostraron un comportamiento dependiente de la concentración de la sal, la acidez tendió a disminuir cuanto menor fue la concentración de la sal aplicada.

Por lo tanto, la acidez titulable en los limones se vio influenciada tanto por el tiempo del almacenamiento como por la dosis de las sales utilizadas.

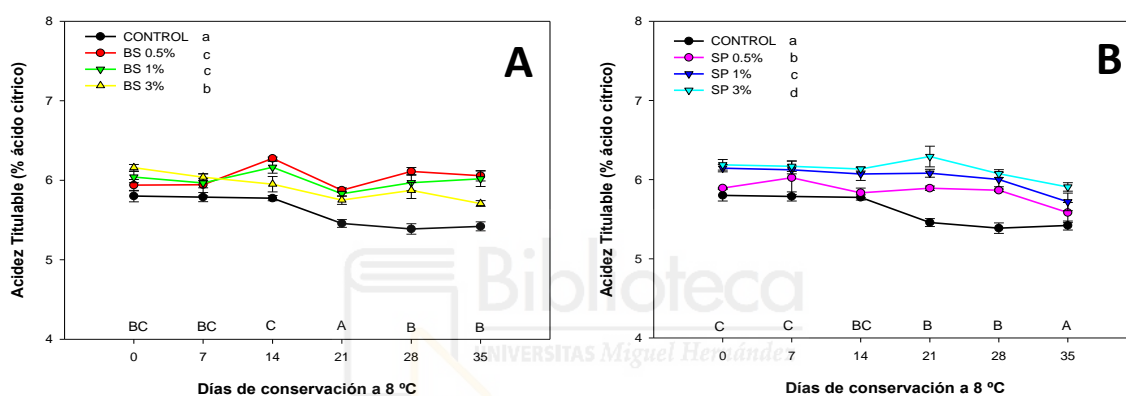


Figura 28. Evolución de la acidez titulable (% ácido cítrico) en limones tratados con BS (A) y SP (B) a distintas concentraciones (0.5 %, 1 % y 3 %) almacenados durante 35 días a 8 °C. Los datos son la media \pm SE de tres réplicas de cinco limones. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Diferentes letras mayúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre días de almacenamiento.

La acidez titulable y el pH de un fruto son inversamente proporcionales, a mayor acidez titulable, menor es el pH. Un pH bajo, resultado de una alta acidez, puede favorecer la eficacia de los conservantes como el BS, mejorando su actividad antimicrobiana y fungistática, dado que el ambiente ácido aumenta la proporción de la forma no disociada del benzoato. Además, cualquier variación en el pH del fruto durante el almacenamiento puede modificar la eficiencia del BS, con un impacto que varía según las condiciones específicas (Krebs *et al.*, 1983). Por otro lado, los SST pueden influir en la proliferación de microorganismos patógenos si las condiciones no son lo suficientemente ácidas, reduciendo la eficacia del BS y así, incrementando la susceptibilidad a la podredumbre.

Así pues, las Figuras 22A, 27A y 28A evidencian cómo están correlacionados estos parámetros, el aumento en los SST junto con una disminución en la AT a lo largo del tiempo de almacenamiento, podría asociarse con un aumento en la incidencia de podredumbre, coincidiendo

con lo que ocurre con la mayor concentración de BS (3 %), pudiendo explicar que un ambiente con menor acidez (mayor pH) podría no ser suficientemente efectivo para inhibir el crecimiento de hongos, a pesar de la presencia de la sal.

Por el contrario, las concentraciones bajas de BS (0.5 % y 1 %) donde la acidez es mayor, presentan los menores índices de podredumbre, destacando la menor concentración de BS (0.5 %) que además obtuvo también un bajo nivel de ° Brix. Estos resultados son acordes con las observaciones de Serna-Escolano *et al.*, (2024) que afirmaron que los limones 'Fino' con los mayores niveles de SST y AT también mostraron un incremento en el contenido de polifenoles y una reducción significativa en la incidencia de podredumbre. Por lo tanto, la aplicación de estas sales aumenta significativamente los niveles de azúcares y acidez en comparación con los frutos no tratados, incrementando su resistencia a la podredumbre, lo cual repercute en una mejor calidad de los limones.

Además, las propiedades organolépticas de los frutos son esenciales para la opinión del consumidor, éstas incluyen el aroma, sabor y color. No obstante, el proceso de senescencia durante la postcosecha se manifiesta en el deterioro de estos atributos sensoriales, observándose cambios en los niveles de azúcares, ácidos orgánicos y la degradación del color. Los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT) son parámetros esenciales para evaluar la calidad del zumo de limón, por ello se emplean como índices en los parámetros de calidad (Badiche-El Hilali *et al.*, 2023).

4.2.7. Polifenoles totales

La evolución del contenido fenólico en limones tratados con BS durante 35 días a 8° C (Figura 29) mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los días de almacenamiento y entre las diferentes concentraciones de la sal (Tabla 1). La tendencia indica que la concentración de fenoles totales aumentó a medida que la concentración de BS se incrementó. Así pues, las concentraciones más altas de BS podrían estar contribuyendo a un aumento de la resistencia de los limones al estrés oxidativo, destacándose en el día 35 donde la concentración más alta (BS 3%) mostró un valor significativamente superior ($369,13 \pm 13,73$ mg GAE/100 g) en comparación con los frutos no tratados ($287,89 \pm 12,3$ mg GAE/100 g).

Para el caso del SP mostrado en la Figura 29A, también se observaron incrementos significativos en el contenido de fenoles totales durante el periodo de almacenamiento, en concreto en las concentraciones más altas. Esto indica que el aumento del contenido fenólico es dependiente de la dosis de SP aplicada.

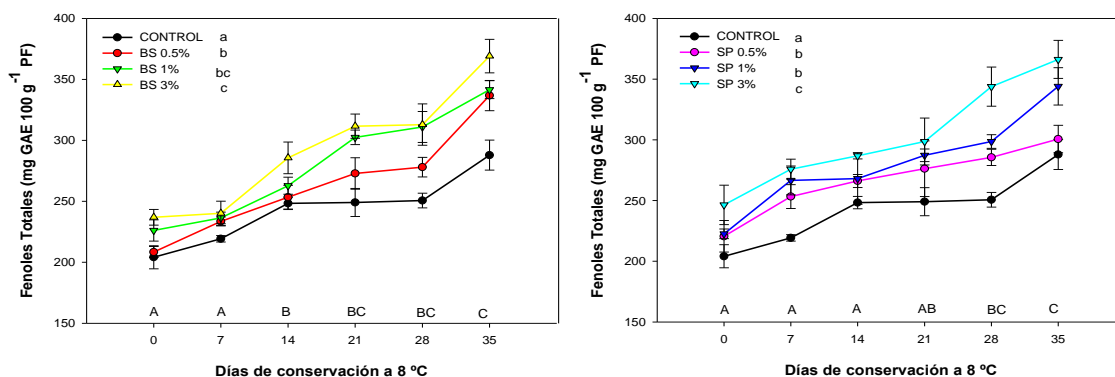


Figura 29. Evolución del contenido fenólico (mg GAE/ 100 g peso fresco) en limones tratados con BS (A) y SP (B) a distintas concentraciones (0.5 %, 1 % y 3 %) almacenados durante 35 días a 8 °C. Los datos son la media \pm SE de tres réplicas de cinco limones. Diferentes letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Diferentes letras mayúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre días de almacenamiento.

A medida que se aumenta la concentración de la sal, se observa un aumento en el contenido fenólico. Esto podría deberse a una mayor protección inducida por la activación de rutas de señalización dentro de la planta, las cuales están implicadas en la respuesta al estrés. La activación de estas vías puede llevar a la síntesis de compuestos de defensa, como los fenoles y flavonoides, que aumentan la resistencia del fruto a patógenos (Adekunle *et al.*, 2021).

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio han demostrado que los tratamientos con benzoato de sodio (BS) y sorbato potásico (SP) poseen un efecto fungicida que persiste con el tiempo y que es dependiente de la dosis. Además, este efecto también incrementa el sistema antioxidante del fruto. No obstante, se ha constatado que dichos tratamientos pueden alterar algunos parámetros fisicoquímicos que afectan la calidad del fruto. Entre los tratamientos evaluados, el BS al 0.5 % demostró ser el más efectivo en reducir las podredumbres sin afectar negativamente la calidad del fruto.

Así pues, estos resultados obtenidos facilitarán al sector citrícola el uso de las sales como método antifúngico, y, además, servirán como estrategia para mantener los parámetros de calidad del fruto. Estudios posteriores serán necesarios para seguir investigando en la optimización de la aplicación de estos compuestos, incluyendo tanto la posibilidad de reducir su concentración como la frecuencia de su aplicación. Cabe destacar que, estos avances permitirán maximizar la eficacia del tratamiento, garantizar fungicidas más sostenibles y reducir los costes asociados para las empresas al disminuir la cantidad de producto necesario.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adekunle, A., Adeogun, O., & Olorunsuyi, Y. J., 2021. Effect of leaf extract of *Lantana camara* with maize-based coating on the quality of fresh-cut fruits of *Ananas comosus* and *Musa acuminata*. *Cogent Food Agric.* 7(1), 1917834. <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1917834>
- Ancillo, G. y Medina, A. (2015). Los cítricos. Monografías botánicas. Universitat de València. https://jardibotanic.org/fotos/pdf/publicacion_2_84_LOS_CITRICOS-ESP.pdf
- Badiche-El Hilali, F., Valverde, J. M., García-Pastor, M. E., Serrano, M., Castillo, S., & Valero, D. (2023). Melatonin postharvest treatment in leafy ‘Fino’ lemon maintains quality and bioactive compounds. *Foods*, 12(15), 2979. <https://doi.org/10.3390/foods12152979>
- 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(1), 132–136. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2013.06.052>
- Cerioni, L., Rapisarda, V. A., Doctor, J., Fikker, S., Ruiz, T., Fassel, R., & Smilanick, J. L. (2013). Use of phosphite salts in laboratory and semicommercial tests to control Citrus postharvest decay. *Plant Disease*, 97(2), 168-292. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0299-RE>
- Cerioni, L., Sepulveda, M., Rubio-Ames, Z., Volentini, S. I., Rodríguez-Montelongo, L., Smilanick, J. L., Ramallo, J., & Rapisarda, V. A. (2013). Control of lemon postharvest diseases by low-toxicity salts combined with hydrogen peroxide and heat. *Postharvest Biology and Technology*, 83, 17–21. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2013.03.002>
- Conesa, A., Manera, F. C., Brotons, J. M., Fernandez-Zapata, J. C., Simón, I., Simón-Grao, S., Alfosea-Simón, M., Martínez Nicolás, J. J., Valverde, J. M., & García-Sanchez, F. (2019). Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the rind of Fino 49 lemons during maturation and their relationship with parameters from the CIELAB color space. *Scientia Horticulturae*, 243, 252–260. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.08.030>

- Cunningham, N. M., & Taverner, P. D. (2007). Efficacy of integrated postharvest treatments against mixed inoculations of *Penicillium digitatum* and *Geotrichum citri-aurantii* in 'leng' navel oranges (*Citrus sinensis*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35(2), 187–192. <https://doi.org/10.1080/01140670709510184>
- Deliopoulos, T., Kettlewell, P. S., & Hare, M. C. (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Protection*, 29(10), 1059–1075. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2010.05.011>
- Duan, X., OuYang, Q., Jing, G., & Tao, N. (2016). Effect of sodium dehydroacetate on the development of sour rot on Satsuma mandarin. *Food Control*, 65, 8–13. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2016.01.011>
- du Plooy, W., Regnier, T., & Combrinck, S. (2009). Essential oil amended coatings as alternatives to synthetic fungicides in citrus postharvest management. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 117–122. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2009.04.005>
- FAOSTAT (2022). Estadísticas del área y la producción de los cultivos en el mundo. Recuperado en junio de 2024. <https://www.fao.org/faostat/es/>
- García García, J. (2014). Análisis del sector del limonero y evaluación económica de su cultivo. *Consejería de Agricultura y Agua*. 142 pp. https://www.ailimpo.com/documentos/02_IMIDA.pdf
- García Lidón, A., del Río-Conesa, J.A., Porrás-Castillo I., Fuster-Soler M.D., Ortuño-Tomás A. (2003). El limón y sus componentes bioactivos. *Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente (Murcia)*. 1-127 pp. [https://www.carm.es/web/descarga?IDCONTENIDO=8338&ALIAS=PUBT&RASTRO=c498\\$m1259,20561&IDADIC=3362&ARCHIVO=Texto+Completo+1+El+lim%C3%B3n+y+sus+componentes+bioactivos.pdf](https://www.carm.es/web/descarga?IDCONTENIDO=8338&ALIAS=PUBT&RASTRO=c498$m1259,20561&IDADIC=3362&ARCHIVO=Texto+Completo+1+El+lim%C3%B3n+y+sus+componentes+bioactivos.pdf)
- García-Lor, A. (2013). Organización de la diversidad genética de los cítricos. Tesis Doctoral. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias y Universidad Politécnica de Valencia. (Valencia). 3-10 pp. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/31518/Versión3.TesisAndrésGarcía-Lor.pdf>

- 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* 2023, Vol. 13, Page 1437, 13(7), 1437. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE13071437>
- 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(1), 39–43. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2009.10.003>
- Hao, W., Li, H., Hu, M., Yang, L., & Rizwan-ul-Haq, M. (2011). Integrated control of citrus green and blue mold and sour rot by *Bacillus amyloliquefaciens* in combination with tea saponin. *Postharvest Biology and Technology*, 59(3), 316–323. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2010.10.002>
- Kader, A.A. 1992. Postharvest biology and technology:an overview. 15-20. Postharvest Technology of Horticultural Crops. (A. Kader ed.). University of California. (Publication no. 3311). <https://doi.org/10.17660/actahortic.1995.398.6>
- Kanetis, L., Förster, H., & Adaskaveg, J. E. (2007). Comparative efficacy of the new postharvest fungicides azoxystrobin, fludioxonil, and pyrimethanil for managing citrus green mold. *Plant Disease*, 91(11), 1502–1511. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-11-1502>
- Kaur, A., Gill, P. P. S., & Jawandha, S. K. (2019). Effect of sodium benzoate application on quality and enzymatic changes of pear fruits during low temperature. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3391. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03823-5>
- Krebs, H. A., Wiggins, D., Stubbs, M., Sols, A., & Bedoya, F. (1983). Studies on the mechanism of the antifungal action of benzoate. *Biochemical Journal*, 214(3), 657–663. <https://doi.org/10.1042/bj2140657>
- Liu, S., Li, S., & Ho, C.-T. (2022). Dietary bioactives and essential oils of lemon and lime fruits. *Food Science and Human Wellness*, 11(4), 753-764. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.03.001>

- Nigro, F., Schena, L., Ligorio, A., Pentimone, I., Ippolito, A., & Salerno, M. G. (2006). Control of table grape storage rots by pre-harvest applications of salts. *Postharvest Biology and Technology*, 42(2), 142–149. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2006.06.005>
- Martínez-Cuenca, M.-R., Primo-Capella, A., & Forner-Giner, M. A. (2016). Influence of rootstock on citrus tree growth: effects on photosynthesis and carbohydrate distribution, plant size, yield, fruit quality, and dwarfing genotypes. *IntechOpen*, 1: 64825. <https://doi.org/10.5772/64825>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2008). Patrones en el limonero. Recuperado en junio de 2024. <https://www.mapa.gob.es/app/MaterialVegetal/docs/patrones%20en%20el%20limonero.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2021). Análisis provincial de la superficie, árboles diseminados y producción según variedades. Recuperado en junio de 2024. <https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2022/FORMATO%20PDF/AE22-C07/7.8.4.3.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). Nota de prensa: El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación comunica una previsión de producción de 575 millones de toneladas de cítricos en la campaña 2023/2024. Recuperado en junio de 2024. https://www.mapa.gob.es/ca/prensa/230915aforocitricos_tcm34-660265.pdf
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). Visor SIGPAC. Recuperado en marzo de 2024. <https://sigpac.mapama.gob.es/feqa/visor/>
- Montesinos-Herrero, C., del Río, M. Á., 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(1), 117–125. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2008.09.012>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.12.022>
- Moscoso-Ramírez, P. A., Montesinos-Herrero, C., & Palou, L. (2013a). Characterization of postharvest treatments with sodium methylparaben to control citrus green and blue molds. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 128–137.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2012.10.007>
- Moscoso-Ramírez, P. A., Montesinos-Herrero, C., & Palou, L. (2013b). Control of citrus postharvest *Penicillium* molds with sodium ethylparaben. *Crop Protection*, 46, 44–51.
<https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2012.12.007>
- 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. *Impreso*, 138(4), 721–732. <https://doi.org/10.1007/S10658-013-0345-X>
- Palou, L. (2007). Evaluación de alternativas para el tratamiento antifúngico en poscosecha de cítricos de Producción Integrada. *Horticultura*, (200), 82-93.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Hort%2FHort_2007_200_82_93.pdf
- Palou, L. (2018). Postharvest Treatments with GRAS Salts to Control Fresh Fruit Decay. *Horticulturae*, Vol. 4, Page 46, 4(4), 46.
<https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE4040046>
- Palou, L. (2014). *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* (Green Mold, Blue Mold). *Postharvest Decay: Control Strategies*, 45–102. <https://doi.org/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.
<https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2016.04.017>

- Palou, L., Smilanick, J. L., & Crisosto, C. H. (2009). Evaluation of food additives as alternative or complementary chemicals to conventional fungicides for the control of major postharvest diseases of stone fruit. *Journal of Food Protection*, 72(5), 1037–1046. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-72.5.1037>
- Palou, L., Smilanick, J. L., & Droby, S. (2008). Alternatives to conventional fungicides for the control of citrus postharvest green and blue moulds. *Stewart Postharvest Review*, 4(2). <https://doi.org/10.2212/SPR.2008.2.2>
- Palou, L., Usall, J., Muñoz, J. A., 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(1), 93–96. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00178-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00178-8)
- Palou, L., Usall, J., Smilanick, J. L., Aguilar, M.J., & Viñas, I. (2002). Evaluation of food additives and low-toxicity compounds as alternative chemicals for the control of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* on citrus fruit. *Pest Management Science*, 58(5), 459–466. <https://doi.org/10.1002/ps.477>
- Paniagua, A.C., East, A.R., Hindmarsh, J.P., & Heyes, J.A. (2013). Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.12.016>
- Pardo, J., Soler, G., Buj, A. (2015). Variedades comerciales de cítricos. Instituto valenciano de investigaciones agrarias.
- Pérez-Alfonso, C. O., Martínez-Romero, D., Zapata, P. J., 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(2), 101–106. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2012.07.002>
- Perez-Perez, J. G., Castillo, I. P., Garcia-Lidon, A., Botia, P., & Garcia-Sanchez, F. (2005). Fino lemon clones compared with the lemon varieties Eureka and Lisbon on two rootstocks in Murcia (Spain). *Scientia Horticulturae*, 106(4), 530–538. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2005.05.004>

- Sanzani, S. M., Reverberi, M., & Geisen, R. (2016). Mycotoxins in harvested fruits and vegetables: Insights in producing fungi, biological role, conducive conditions, and tools to manage postharvest contamination. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 95–105. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2016.07.003>
- Senti, F. R. (1981). Food Additives and Food Safety. *Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development*, 20(2), 237–246. https://doi.org/10.1021/I300002A006/ASSET/I300002A006.FP.PNG_V03
- Serna-Escolano, V., Giménez, M. J., Zapata, P. J., Cubero, S., Blasco, J., & Munera, S. (2024). Non-destructive assessment of “Fino” lemon quality through ripening using NIRS and chemometric analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 212, 112870. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2024.112870>
- Serna-Escolano, V., Martínez-Romero, D., Giménez, M. J., Serrano, M., García-Martínez, S., Valero, D., Valverde, J. M., & Zapata, P. J. (2021). Enhancing antioxidant systems by preharvest treatments with methyl jasmonate and salicylic acid leads to maintain lemon quality during cold storage. *Food Chemistry*, 338, 128044.78. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128044>
- Smilanick, J. L., Mackey, B. E., Reese, R., Usall, J., & Margosan, D. A. (1997). Influence of Concentration of Soda Ash, Temperature, and Immersion Period on the Control of Postharvest Green Mold of Oranges. *Plant Disease*, 81(4), 379–382. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.4.379>
- Smilanick, J. L., Mansour, M. F., Gabler, F. M., & 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(2), 226–238. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2007.06.020>
- Smilanick, J. L., Margosan, D. A., Mlikota, 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 Disease*, 83(2), 139–145. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.2.139>

- Soler Aznar, J. (1999). Reconocimiento de variedades de cítricos en campo. Valencia: Generalitat Valenciana, Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/7048/1999_Soler_Reconocimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yazdanfar, N., Manafi, L., Ebrahimejad, B., Mazaheri, Y., Sadighara, P., Basaran, B., & Mohamadi, S. (2023). Evaluation of sodium benzoate and potassium sorbate preservative concentrations in different sauce samples in Urmia, Iran. *Journal of Food Protection*, 86(8), 100118. <https://doi.org/10.1016/J.JFP.2023.100118>
- Youssef, K., Abd-Elsalam, K. A., Hussien, A., M. Sanzani, S., Ippolito, A., Youssef, K., Abd-Elsalam, K. A., Hussien, A., M. Sanzani, S., & Ippolito, A. (2017). Organic and inorganic salts as postharvest alternative control means of citrus. *Citrus Pathology*. <https://doi.org/10.5772/67228>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2019.111025>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.05.004>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2016.05.012>
- Villalba, D. (2000). Patrones y Variedades de Cítricos. Apuntes para Cursos de Formación de Agricultores. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://iviva.gva.es/documents/161862582/161863614/Patrones+y+variedades+de+citricos/ce05b440-e4f7-484c-947a-0fd153bff63d>

Zapata, J. M. C., Cámara, M. A. O., Navarro, A. M., & Ruiz, M. N. (2002). Sequía y producción de limones en España. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, (838), 286-292. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri/Agri_2002_838_286_292.pdf

