

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



**EFFECTOS DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN TRATAMIENTOS PRE-COSECHA EN
LA CALIDAD DEL FRUTO DEL FINGER LIME Y SU CONSERVACIÓN
DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN FRÍO**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2024

Autor: Jesús Antonio Alonso
Tutor: Pedro Javier Zapata Coll
Co-tutor: Vicente Serna Escolano

EFFECTOS DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN TRATAMIENTOS PRE-COSECHA EN LA CALIDAD DEL FRUTO DEL FINGER LIME Y SU CONSERVACIÓN DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN FRÍO

RESUMEN

Finger lime (*Citrus australasica*) es una fruta cítrica exótica poco cultivada en la cuenca mediterránea, por lo tanto, se requieren estrategias que mejoren su adaptación y productividad. Así pues, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tratamientos pre-cosecha con ácido salicílico (AS) a distintas concentraciones (1, 5 y 10 mM) sobre la calidad del finger lime en el momento de la recolección y durante 21 días de conservación refrigerada. Los tratamientos con AS 5 y 10 mM lograron reducir significativamente las pérdidas de peso, la tasa de respiración e incrementaron la firmeza en el momento de la recolección y tras la conservación refrigerada. Además, en los frutos tratados con AS 5 mM se observó una disminución en los sólidos solubles totales y un aumento en la acidez titulable. En cuanto al contenido en fenoles totales y actividad antioxidante total en los frutos tratados con AS 5 mM aumentaron durante la conservación refrigerada. Finalmente, se observó un incremento en el contenido en carotenoides totales en los frutos tratados con AS 5 y 10 en el momento de la recolección. Por lo tanto, los tratamientos pre-cosecha con AS 5 mM podrían ser una estrategia interesante para mantener la calidad del finger lime en post-cosecha.

Palabras clave: Calidad, *Citrus Australasica*, tratamientos pre-cosecha, salicilatos, calidad del fruto.

ABSTRACT

Finger lime (*Citrus australasica*) is an exotic citrus fruit not much cultivated in the Mediterranean area, thus this crop requires strategies to enhance its adaptation and yield. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of pre-harvest treatments with salicylic acid (SA) at different concentrations (1, 5, and 10 mM) on the finger lime quality at harvest and during 21 days of cold storage. Fruits treated with 5 and 10 mM SA showed a decrease in weight loss and respiration rate, meanwhile firmness was increased. Besides, in fruits treated with 5 mM SA were observed a decrease in total soluble solids and an increase in titratable acidity compared to control ones. Also, total phenolic content and total antioxidant activity were increased in fruits treated with 5 mM SA after 21 days of cold storage. Finally, total carotenoid content was increased at harvest in fruits treated with 5 and 10 mM SA. Therefore, pre-harvest treatments with 5 mM SA could be an interesting strategy to maintain the post-harvest fruit quality of finger lime.

Keywords: Quality, *Citrus Australasica*, pre-harvest treatments, salicylates, fruit quality.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1.	Impacto económico del cultivo de cítricos.....	6
1.2.	Características del cultivo	6
1.2.1.	Origen del finger lime	6
1.2.2.	Cultivo de finger lime	8
1.2.3.	Estructura y composición del fruto de finger lime.....	9
1.3.	Principales fisiopatías pre-cosecha y daños post-cosecha.....	11
1.4.	Tecnologías post-cosecha aplicadas para el control de enfermedades	12
1.5.	Elicitores	13
1.5.1.	Jasmonatos	14
1.5.2.	Ácido oxálico	14
1.5.3.	Salicilatos	15
1.6.	Justificación del presente trabajo	15
2.	OBJETIVOS	16
2.1.	Objetivo general	16
2.2.	Objetivo específico.....	16
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1.	Diseño experimental.....	16
3.2.	Determinaciones analíticas.....	18
3.2.1.	Parámetros fisico-químicos	18
3.2.1.1.	Pérdida de peso	18
3.2.1.2.	Firmeza	19
3.2.1.3.	Tasa de respiración.....	19
3.2.1.4.	Sólidos solubles totales.....	20
3.2.1.5.	Acidez titulable.....	21
3.2.2.	Parámetros funcionales	22
3.2.2.1.	Actividad antioxidante total.....	22
3.2.2.2.	Polifenoles totales	22
3.2.2.3.	Carotenoides totales.....	23
3.3.	Análisis estadístico.....	23
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1.	Pérdidas de peso y firmeza.....	24
4.2.	Tasa de respiración	26
4.3.	Sólidos solubles totales y Acidez titulable	27
4.4.	Contenido en fenoles totales	28
4.5.	Actividad antioxidante total	29

4.6. Contenido en carotenoides totales	30
5. CONCLUSIONES	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	31



1. INTRODUCCIÓN

1.1. IMPACTO ECONÓMICO DEL CULTIVO DE CÍTRICOS

La producción mundial de cítricos alcanzó un promedio de 152 millones de toneladas entre los años 2016 y 2020, mientras que la producción en la Unión Europea (UE) se situó en 11 millones de toneladas (FAO, 2022). España, con una superficie de cultivo de cítricos de 300.504 hectáreas y una producción de 6.850.000 toneladas en la campaña 2020/21, se ha consolidado como el principal productor de la UE, con el 60 % de la producción de cítricos seguida por Italia con el 25%. A nivel mundial, España ocupa el octavo lugar con el 5 % de la producción total, y, además, se posiciona como el mayor país exportador de cítricos en fresco, con un 25 % del total. Aproximadamente el 60% de la producción cítrica española se destina al mercado exterior, alcanzando el 65% en el caso de los pequeños cítricos y superando el 80% en el pomelo (MAPA, 2024).

Los cítricos son un conjunto de plantas que pertenecen a la familia Rutaceae, siendo el género más extenso dentro de los frutales. Respecto a su origen, las especies primigenias surgieron en áreas tropicales y subtropicales de Asia, desde donde se dispersaron hacia otras partes del mundo (Hussain *et al.*, 2021; Sawalha *et al.*, 2009). Las principales especies de cítricos son el limón (*Citrus limon*), la lima (*Citrus aurantifolia*), la naranja dulce (*Citrus sinensis*), la naranja amarga (*Citrus aurantium*) y la mandarina (*Citrus reticulata*). Además, el género *Citrus* incluye una amplia variedad de frutales exóticos, entre los que destaca el finger lime (*Citrus australasica*). Su comercialización se localiza principalmente en los mercados de Sídney, Melbourne y Adelaida (Australia). Además, también es importante señalar que alrededor del 40 % de la producción se exporta a países del Sudeste Asiático y Europa (Hardy *et al.*, 2010). El principal canal de venta se encuentra en restaurantes gourmet, siendo la rentabilidad de los comercializadores elevada, alcanzando precios de hasta 125 €/ kg (Coppin *et al.*, 2017)

1.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO

1.2.1. Origen del finger lime

Finger lime (*C. australasica*) es una fruta cítrica originaria de Australia y Nueva Guinea (Ruberto *et al.*, 2000). Se encuentra de forma natural en las selvas subtropicales del noreste de Nueva Gales del Sur y el sureste de Queensland, abarcando desde la Península del Cabo York hasta el río Clarence (Delort *et al.*, 2015; Delort & Jaquier, 2009). Los pueblos Bundjalung que habitaban esta región de Australia lo denominaban "gulalung" (Trevor John Hawkeswood, 2017).

Este fruto, fue descrito por primera vez por en 1858 por un botánico de origen alemán y australiano apellidado Mueller, el cual realizó un extenso trabajo explorando y catalogando la flora australiana. Posteriormente, Frederick Vernon Swingle, un botánico de origen estadounidense, en el siglo XX, sistematizó diversas especies de cítricos, y, desarrolló una clasificación con la intención de mejorar la comprensión de la diversidad y características de estos frutos, incluyendo al finger lime dentro del género *Microcitrus* (GBIF Secretariat, 2023) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación taxonómica (Swingle), elaborado a partir de GBIF Secretariat, (2023).

Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae
Género	<i>Microcitrus</i> Swingle
	Subespecies
	<i>Microcitrus australasica</i> (F.Muell.) Swingle
	<i>Microcitrus australis</i> (Planch.) Swingle
	<i>Microcitrus garrawayae</i> (F.M.Bailey) Swingle
	<i>Microcitrus inodora</i> (F.M.Bailey) Swingle
	<i>Microcitrus papuana</i> H.F.Winters
	<i>Microcitrus warburgiana</i> (F.M.Bailey) Yu.Tanaka

Posteriormente, el género *Microcitrus* fue reubicado dentro del género *Citrus* por Mabberley en 1998, ya que consideró que las características particulares atribuidas a este género eran insuficientes para crear uno nuevo (Delort & Yuan, 2018; Love & Paull, 2020; Y. Wang *et al.*, 2019). Sin embargo, en la literatura aún se emplea de forma habitual el género *Microcitrus* para referirse al finger lime. Por lo tanto, a pesar de los estudios taxonómicos, parece haber poca concordancia en la literatura sobre el nombre científico correcto de esta especie (Trevor John Hawkeswood, 2017).

1.2.2. Cultivo de finger lime

El árbol de finger lime es muy vigoroso, con abundantes espinas, de copa compacta y numerosas ramas muy finas (Figura 1A). Posee hojas de forma elíptica en gran cantidad y de pequeño tamaño, con una longitud de 1,2 a 6 cm (Figura 1B). Las nuevas brotaciones son de color púrpura y los pétalos blancos con forma de cuchara (Figura 1C, D). Es un árbol aclimatado a regiones tropicales y subtropicales con un régimen hídrico limitado y altas temperaturas, por lo que se desarrolla bien en condiciones ambientales extremas.



Figura 1. Proceso fenológico, árbol de finger lime. Árbol (A), hojas (B), brotaciones (C), flor (D)

Los árboles de finger lime se reproducen mediante técnicas tradicionales, similares a las empleadas en otros cítricos, como el injerto, la germinación con semillas y los esquejes (Siebert *et al.*, 2015; Sriskanda *et al.*, 2021). Sin embargo, los árboles de cítricos cultivados a partir de semillas no se utilizan porque crecen más lentamente y pueden tardar muchos años en ser cultivos productivos. Por lo tanto, el sistema de dispersión más utilizado es el injertado, lo que mejora la tolerancia de la variedad a las condiciones ambientales, enfermedades fúngicas y bacterianas al poder utilizar diferentes tipos de portainjertos resistentes (Hardy *et al.* 2010) (Nakandala *et al.*, 2024).

La mayoría de las variedades de finger lime dan frutos cada año, sin embargo, algunas pueden producir hasta 2 o 3 veces el mismo año (Hardy *et al.*, 2010). Los árboles de *C. australasica* injertados comienzan a fructificar a partir del tercer año de crecimiento, pero normalmente no se obtienen producciones adecuadas hasta pasados 5 o 6 años. Los árboles maduros tienen la capacidad de generar hasta 20 kg de fruta por campaña según la variedad (Hardy *et al.*, 2010).

El fruto se desarrolla totalmente en el árbol en un período de alrededor de 5 meses, desde la floración hasta la cosecha. Dependiendo de las condiciones climatológicas y la variedad, la fruta presenta un proceso de crecimiento y maduración que normalmente va desde diciembre hasta mayo, iniciándose la recolección a partir del mes de junio. Cada 10 o 14 días se realizan pequeñas recolecciones durante un período de 6 a 8 semanas, según la edad del árbol y la variedad (Hardy *et al.*, 2010).

En cuanto a las necesidades nutricionales de *C. australasica*, según Hardy *et al.* (2010), son árboles que no necesitan un aporte de fertilizantes muy elevado en comparación con otras especies de cítricos comerciales. Esto podría deberse a que los árboles de *C. australasica* tienen hojas más pequeñas y una menor área de dosel, lo que resulta en una menor demanda de nutrientes (Hardy *et al.*, 2010).

Se han descrito más de 65 variedades silvestres de finger lime distintas. Muchas de estas variedades no se reproducen correctamente y sus producciones son muy bajas, por lo que la selección y desarrollo de variedades adecuadas para plantaciones comerciales es necesario (Glover, 2017; Nastasi *et al.*, 2024). La Asociación Australiana de Registro de Cítricos (ACRA) ha utilizado el bajo número de semillas, buen sabor, color atractivo, calidad de la piel y capacidad de mantener la frescura durante el transporte refrigerado, como características para seleccionar las variedades más prometedoras.

1.2.3. Estructura y composición del fruto de finger lime

El finger lime es un fruto no climatérico relativamente pequeño, de forma esférica o elipsoidal que mide de 4 a 8 cm de largo (Figura 2). Este fruto destaca dentro de la familia Rutaceae por la singularidad en la forma, color y aroma (Delort & Jaquier, 2009; Sriskanda *et al.*, 2021). Además, dependiendo de la variedad, el fruto puede ser de color marrón, verde, amarillo o rosa/rojizo, con superficie rugosa, corteza fina y con numerosas glándulas de aceite esencial. La pulpa verde y amarilla/roja es aromática, ácida y jugosa, que se asemeja al “caviar”, por lo que también se le denomina “caviar cítrico” (Nakandala *et al.*, 2024) (Figura 3).



Figura 2. Fruto de finger lime



Figura 3. Pulpa finger lime

Por lo tanto, el perfil nutricional (Tabla 2) y sensorial del finger lime lo convierten en un fruto de gran interés para los consumidores. Además, amplía la gastronomía gourmet, como ya se ha mencionado previamente, siendo servido en restaurantes como guarnición o aderezo de diferentes recetas culinarias. Cabe destacar que, debido a su acidez, es un fruto atractivo para preparar mermeladas, salsas y encurtidos. Además, la cáscara de finger lime puede secarse y emplearse como una especia aromática.

Con respecto a los beneficios que aporta para la salud, se ha publicado que el finger lime es una fuente de compuestos antioxidantes, debido a su contenido en compuestos fenólicos, ácido ascórbico, minerales, ácidos orgánicos y carbohidratos (Adhikari *et al.*, 2021; Delort & Yuan, 2018; Netzel *et al.*, 2007).

Tabla 2. Composición nutricional *Citrus australasica*, elaborado a partir de Brand Miller *et al.* (1996).

Nutriente	Cantidad
Energía (incluida fibra dietética)	336 kJ (80.3 kcal)
Humedad	65.5 g
Proteína	2.5 g
Nitrógeno	0.40 g
Grasa	4.9 g
Ceniza	0.7 g
Fibra dietética	14 g
Carbohidratos	12.4 g
Calcio (Ca)	50 mg
Cobre (Cu)	0.4 mg
Hierro (Fe)	0.8 mg
Magnesio (Mg)	31 mg
Potasio (K)	290 mg
Sodio (Na)	9 mg
Zinc (Zn)	0.3 mg
Equivalentes de niacina	0.42 mg

1.3. PRINCIPALES FISIOPATÍAS PRE-COSECHA Y DAÑOS POST-COSECHA

La mayor parte de los daños producidos en pre-cosecha al fruto de finger lime están relacionados con la cantidad de espinas que forman parte del árbol (Hardy *et al.* 2010) (FIGURA 4).



Figura 4. Daño en el fruto producido por el roce con las espinas.

Además, es una especie muy susceptible a diversas enfermedades y plagas debido, principalmente, a la morfología del árbol. Así, pulgones, chinches, orugas, caracoles y saltamontes pueden tener un impacto negativo en la producción y la calidad de los frutos recolectados.

La melanosis, causada por el hongo *Diaporthe citri*, es una de las enfermedades que más negativamente afectan al finger lime, produciendo manchas oscuras en el follaje, ramas y frutos. Otra enfermedad grave es el Huanglongbing (HLB), causado por la bacteria *Liberiobacter* y transmitido por un hemíptero llamado *Diaphorina citri*. Esta enfermedad provoca un declive significativo del árbol con deformaciones en los brotes, coloraciones variadas en los frutos, y, en los casos más avanzados, llegando a causar la muerte del árbol. La pudrición de la raíz por *Phytophthora cinnamomi* también es un problema relevante, sin embargo, se utilizan portainjertos resistentes como *Citrus trifoliata* para limitar su impacto. Todas estas enfermedades requieren una gestión adecuada para mantener la salud de los cultivos y preservar la calidad de los frutos (Love & Paull, 2020; Trevor John Hawkeswood, 2017).

En post-cosecha, los principales daños en los frutos están relacionados con la exposición al frío, y, ocurre cuando la temperatura es inferior a 15 °C. El síntoma más notable es la aparición de depresiones en la piel debido al colapso del tejido. Estas lesiones pueden desarrollarse por cambios en las propiedades físicas de los lípidos o proteínas estructurales de las membranas y la actividad de enzimas expresadas durante el proceso. La oleocelosis afecta a todos los cítricos, pero los frutos recolectados verdes son más sensibles. Por ello, se evita la recolección en las primeras horas del día, cuando hay mucho rocío o después de lluvias, ya que la hidratación de

la piel expone más las glándulas de aceite. Las manchas son causadas por la liberación del aceite esencial, que tiene un efecto tóxico sobre las células circundantes, resultando en áreas necrotizadas marrones e irregulares.

Los microorganismos principales que causan podredumbres en cítricos son hongos, ya que el bajo pH impide la proliferación de otros microorganismos. Estos hongos suelen ser filamentosos y heterótrofos, absorbiendo nutrientes liberados por enzimas extracelulares. Las hifas, que forman la estructura vegetativa de los hongos, crecen apicalmente y se ramifican, creando un aspecto algodonoso. Para un desarrollo efectivo de la enfermedad, la cantidad de inóculo es crucial, pero también influyen otros factores como la susceptibilidad del fruto y las condiciones ambientales. La mayoría de los hongos que infectan cítricos provienen del campo, aunque algunas especies se desarrollan en la post-cosecha, siendo las principales:

***Penicillium digitatum* (moho verde):** Este hongo se identifica visualmente por el color verde oliva de sus esporas al infectar el fruto. Es el principal patógeno de los cítricos, y la infección puede ocurrir en diferentes puntos durante el procesado del fruto, aunque es más común en las centrales hortofrutícolas. La infección suele iniciarse en heridas que proporcionan nutrientes para el crecimiento del hongo y la producción de esporas. En las primeras etapas de la enfermedad, se observa una mancha blanca, acuosa y blanda debido a la degradación de las pectinas, seguida por el crecimiento del micelio blanco y las características esporas verdes. Estas esporas pueden propagarse e infectar frutos adyacentes. El hongo crece rápidamente a temperaturas cercanas a 24 °C, pero su crecimiento se detiene casi por completo por encima de 30 °C y por debajo de 15 °C.

***Penicillium italicum* (moho azul):** Este es el segundo hongo que más incidencia representa. Infecta los frutos a través de lesiones en la piel, similar a *P. digitatum*, pero su desarrollo es más lento. Es común observar varios patógenos desarrollándose simultáneamente en la misma superficie del fruto. La característica más distintiva es la coloración azul claro de sus esporas, rodeadas por una banda de micelio blanco. El moho azul se desarrolla mejor en condiciones refrigeradas (10 °C), creando nidos de fruta podrida en las cámaras de conservación de las centrales hortofrutícolas.

1.4. TECNOLOGÍAS POST-COSECHA APLICADAS PARA EL CONTROL DE ENFERMEDADES

Durante los últimos 30 años se ha realizado un gran esfuerzo para identificar alternativas seguras y efectivas que colaboren en reducir las pérdidas durante la post-cosecha. La mayor

dificultad se ha encontrado en la búsqueda de enfoques que aborden los problemas de una amplia gama de productos y condiciones, que sean aceptados por la industria, por los consumidores y que su comercialización sea viable. En la actualidad, en cítricos, los métodos alternativos y compuestos derivados de fuentes naturales están recibiendo mucha atención, ya que son productos con efectos menos dañinos para la salud humana, animal y para los ecosistemas. Estas estrategias incluyen el control biológico mediante microorganismos antagonistas como levaduras, bacterias y hongos. Fungicidas procedentes de fuentes naturales de origen vegetal como los extractos de plantas y aceites esenciales o animal como el quitosano. El uso de aditivos alimentarios y sales inorgánicas consideradas seguras (GRAS) también son una estrategia interesante con muy buenos resultados en estudios “*in vitro*” e “*in vivo*”. Además, el uso de elicitores también es una estrategia interesante que mejora la resistencia de los frutos a enfermedades de origen fúngico. En cuanto a los métodos físicos el uso de radiaciones ultravioleta y calor también se muestran bastante efectivos en el control del crecimiento de microorganismos (Palou, 2016, 2018; Papoutsis *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2017). Estas alternativas, solas o combinadas, representan una prometedora opción frente a los pesticidas químicos de síntesis existentes, ofreciendo una solución equilibrada para el control de los mohos en cítricos y para una producción sostenible (Hulot y Hiller, 2021; Moraes Bazioli *et al.*, 2019).

1.5. ELICITORES

La elicitación es la inducción de cambios fisiológicos y la estimulación de los mecanismos de defensa de las plantas a estrés (Lundborg *et al.*, 2019). Esta respuesta se relaciona con la resistencia sistémica adquirida que provoca la acumulación de metabolitos secundarios y enzimas antioxidantes, entre otros compuestos, que preparan a la planta para afrontar un proceso de estrés biótico o abiótico. Debido a estos beneficios, hay una gran demanda de biomoléculas con un efecto elicitor para su uso en agricultura (Gautam & Singh, 2009; Islam *et al.*, 2020; Sharifi-Rad *et al.*, 2020).

En la Tabla 3 se muestra un resumen de los distintos elicitores que se han utilizado con éxito y que han sido capaces de activar los sistemas de defensa de la planta, incrementando la acumulación de metabolitos secundarios en sus tejidos, siendo los principales los jasmonatos, salicilatos y ácidos orgánicos como el ácido oxálico (Ramírez-Estrada *et al.*, 2016).

Tabla 3. Principales elicitores bióticos y abióticos, elaborado a partir de Ramírez-Estrada et al. (2016).

Elicidores Bióticos	Hormonas vegetales				Elicitores derivados de microorganismos			Elicitores derivados de la pared celular		Otros elicitores	
	Jasmonato de metilo	Ácido salicílico (AS)	Derivados y análogos de AS	Brasinoesteroides	Extractos bacterianos	Extracto de levadura y elicitores fúngicos	Péptidos y proteínas derivados de bacterias y hongos	Quitosano y quitina	Oligosacarinas	Otros fragmentos de pared celular	Péptidos reguladores de plantas
Elicidores Abióticos	Sales inorgánicas										

1.5.1. JASMONATOS

El ácido jasmónico (AJ) es una molécula de señalización producida de manera natural en las plantas, que está implicada en la regulación de diversos procesos fisiológicos durante el desarrollo de la planta y la maduración del fruto. La biosíntesis del AJ comienza con el ácido α -linoleico (α -ALe) en las membranas del cloroplasto. La síntesis de AJ se ve inducida por el estrés biótico o abiótico, y este ácido puede transformarse en su forma biológicamente activa, el ácido jasmónico-isoleucina (AJ-Ile), mediante la acción de la proteína jasmonato resistente 1 (JAR1). Entre otras funciones, el AJ promueve la síntesis de proteínas que participan en la respuesta defensiva de las plantas y la acumulación de metabolitos secundarios. El jasmonato de metilo (JaMe), un derivado volátil del AJ, cuando se aplica en pre-cosecha, estimula la expresión de sistemas antioxidantes, destacándose especialmente los relacionados con la síntesis de compuestos fenólicos mediante la activación de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) (Giménez et al., 2019).

1.5.2. ÁCIDO OXÁLICO

El ácido oxálico (AO) es un ácido orgánico cuya ruta de síntesis en plantas aún no ha sido bien documentada. Sin embargo, se ha sugerido que el oxalato se produce a partir de tres precursores: glioxilato/ glicolato, ascorbato y oxalacetato. La aplicación de AO en pre-cosecha retrasa la senescencia y mantiene la calidad de frutos, como en el caso de las cerezas (Martínez-

Esplá et al., 2014). En cuanto a su modo de acción, se ha determinado que el AO interviene en la acumulación de compuestos reactivos de oxígeno (ROS), suprime la actividad de la enzima alcohol deshidrogenasa (ADH), promueve la acumulación de prolina y mantiene altos niveles de ATP, regula la proporción de ácidos grasos insaturados y saturados, y participa en el metabolismo de los azúcares. Además, los tratamientos con AO se han asociado con un aumento en la actividad de enzimas relacionadas con la resistencia a patógenos, como peroxidasa, ascorbato peroxidasa, superóxido dismutasa y catalasa, en este sentido, también se ha descrito un incremento en la acumulación de compuestos fenólicos (Serna-Escolano et al., 2021). Los tratamientos con AO favorecen una respuesta en la planta y el fruto que mejora la homeostasis celular al reducir el estrés oxidativo.

1.5.3. SALICILATOS

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico simple producido por las plantas. El AS actúa como molécula señal regulando importantes procesos metabólicos. En la actualidad el efecto más característico del AS es la inducción de la resistencia sistémica adquirida, interviniendo en la resistencia a enfermedades locales y endémicas de las plantas. En cuanto a los efectos fisiológicos, también se ha publicado su papel en la germinación de semillas, floración y crecimiento del fruto (Kazan & Manners, 2009). Numerosos estudios han demostrado que los tratamientos pre-cosecha con AS pueden mantener de forma eficaz la calidad de los frutos cítricos, ya que se incrementan los sistemas antioxidantes que capturan los compuestos reactivos del oxígeno generados durante el proceso de maduración y senescencia del fruto (Chen *et al.*, 2023; Serna-Escolano *et al.*, 2021).

El ácido acetil salicílico, es un análogo del AS, en el que se transforma de forma espontánea al hidrolizarse. Otro derivado es su forma metilada, conocida como salicilato de metilo, el cual es volátil y puede difundirse a través de las membranas, actuando como una molécula señal. Se han reportado efectos significativos del uso de acetil salicílico y salicilato de metilo durante la pre-cosecha, como la reducción de daños por frío, la disminución de la susceptibilidad a podredumbres y una mayor vida útil de los productos vegetales tratados (Martínez-Esplá, 2018).

1.6. JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO

Teniendo en cuenta los resultados en la calidad físico-química y funcional de otros frutos cítricos tratados en pre-cosecha con AS, se plantea la hipótesis de que dichos tratamientos podrían mejorar los sistemas antioxidantes de los frutos de finger lime, lo que retrasaría el proceso de maduración incrementando a su vez la vida útil. Debido a que no hay estudios previos

para este fruto y el uso de elicitors, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los tratamientos pre-cosecha con AS en los parámetros de calidad físico-química y antioxidante del finger lime en el momento de la recolección y tras la conservación refrigerada.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

El cultivo de cítricos exóticos como es el caso de finger lime necesita de estrategias que mejoren su aclimatación, productividad y rentabilidad, utilizando para ello estrategias sostenibles para el medio ambiente e inocuas para la salud humana y animal. Por lo tanto, este trabajo final de grado se realiza con el objetivo general de evaluar el efecto post-cosecha de los tratamientos pre-cosecha con ácido salicílico (AS) 1, 5 y 10 mM en finger lime.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Para afrontar este objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Seleccionar y organizar los bloques de árboles de finger lime a tratar en la finca.
- Aplicar el tratamiento con AS mensualmente desde el cuajado del fruto hasta su recolección.
- Evaluar el efecto de los tratamientos pre-cosecha con AS 1, 5 y 10 mM en la calidad físico química y antioxidante de los finger lime.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio se llevó a cabo en una finca ubicada en El Siscar (Santomera, Murcia), caracterizada por una temperatura media anual de 25 °C y una precipitación total de 341 mm (Figura 5).



Figura 5. Finca en El Siscar (Santomera, Murcia), obtenido de SIGPAC.

La variedad de finger lime utilizada para el desarrollo de los experimentos fue IVIA 150 injertada sobre un portainjerto de *Citrus macrophylla*, con una edad media del cultivo de cinco años y un marco de plantación de 3 x 4 metros. Además, el manejo agronómico de la finca fue acorde a un sistema de cultivo convencional. En cuanto al diseño experimental, se utilizaron un total de 10 árboles distribuidos en filas para cada uno de los tratamientos (Control, AS 1 mM, AS 5 mM y AS 10 mM). Además, entre tratamientos se dejó una fila sin tratar para evitar la contaminación cruzada. Los tratamientos con AS fueron diluidos en etanol absoluto, y a continuación, se le añadió Tween 20 a una concentración final del 0,5 %, como tensioactivo. Los controles se prepararon mezclando agua con el Tween 20 al 0,5 %. Los tratamientos fueron aplicados mediante pulverización foliar, dosificando 5 L por árbol (lo suficiente para humedecer que la parte aérea del árbol). Se realizaron tres aplicaciones foliares consecutivas en los meses de mayo, junio y julio, con una cuarta aplicación tres días antes de la recolección en agosto (Figura 6, 7).



Figura 6. Aplicación foliar en árboles de finger lime.

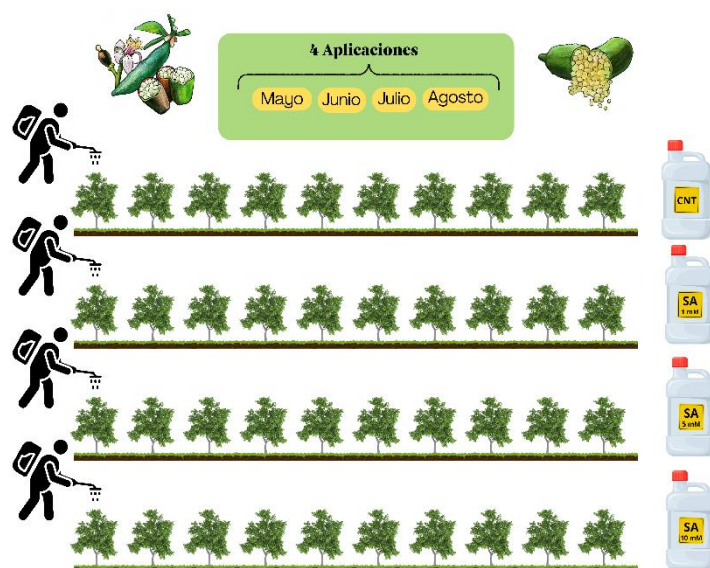


Figura 7. Esquema de la aplicación de tratamientos en campo.

La recolección de se inició cuando los frutos se encontraron en un estado de maduración óptimo para ser comercializados. Además, los frutos fueron transportados a los laboratorios de la Universidad Miguel Hernández (UMH) en menos de una hora para evitar su deterioro. A continuación, se seleccionaron los frutos homogéneos en tamaño y color, sin desperfectos apreciables en la piel. Se realizaron cinco réplicas con diez frutos para cada uno de los cuatro muestreos, por lo tanto, se necesitaron un total de 200 frutos por tratamiento. Los muestreos se realizaron cada siete días, durante un periodo de conservación refrigerada de 21 días a 10°C y 85% de humedad relativa. Así, a los días 0, 7, 14 y 21, se seleccionaron al azar los lotes correspondientes para su muestreo, guardando muestras de piel y zumo para realizar las determinaciones analíticas necesarias.

3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

3.2.1. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

3.2.1.1. Pérdida de peso

El peso de los frutos se determinó utilizando una balanza Radwag WLC 2/A2 (Radwag wagi Elektroniczne), con una precisión de dos cifras decimales, y se expresó en gramos. El día de la recolección, se pesaron todos los frutos que formaron parte de los lotes y se volvieron a pesar en los diferentes periodos de conservación (Figura 8). Se calculó el porcentaje de pérdida de peso de cada lote en relación con su peso inicial. Los resultados se expresaron como la media \pm error estándar (ES) del total de frutos por lote.



Figura 8. Balanza Radwag WLC 2/A2 (Radwag wagi Elektroniczne)

3.2.1.2. Firmeza

La firmeza se midió individualmente en cada uno de los frutos de cada réplica utilizando un texturómetro TA-XT2i (Stable Microsystems, Godalming, UK) equipado con una sonda que presenta una placa con un disco de acero plano (Figura 9). Este dispositivo es adecuado para realizar ensayos de tracción, compresión y flexión, con una fuerza máxima de 25 N y una precisión media del 0,5 al 1 %. Para determinar la firmeza del fruto, el disco de acero de la sonda aplicó una fuerza constante sobre la superficie del fruto hasta producir una deformación del 3 % respecto a su diámetro ecuatorial. Los resultados se expresaron en N mm^{-1} , representando la media \pm error estándar (ES) de las medidas realizadas en cada fruto de cada uno de los lotes.

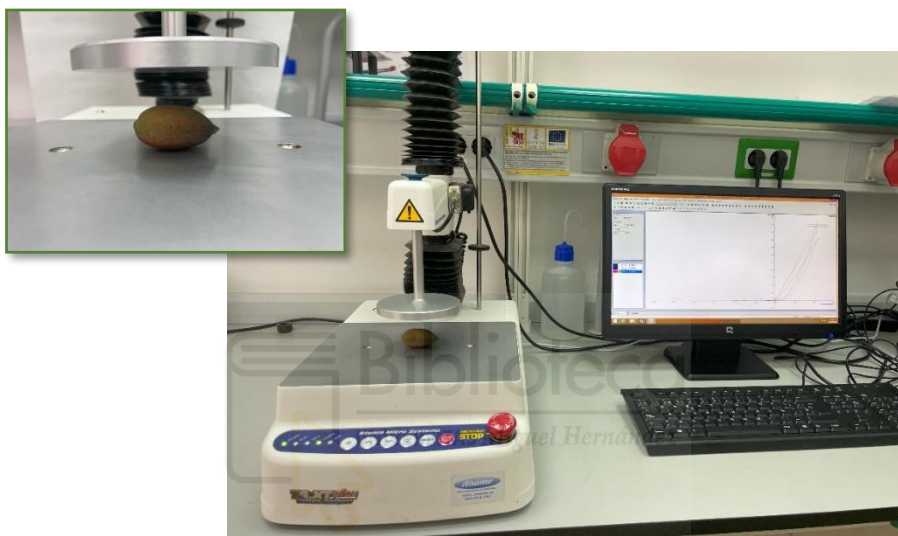


Figura 9. Texturómetro TA-XT2i (Stable Microsystems, Godalming, UK).

3.2.1.3. Tasa de respiración

Para medir la tasa de respiración, se utilizó el método descrito por Kader (1995), el cual consiste en colocar el producto en un recipiente hermético durante un periodo de tiempo específico. Los frutos de cada una de las réplicas se depositaron en frascos de vidrio de 0.5 L durante 60 minutos. Las tapaderas de los frascos estaban equipadas con un septum (válvula de material elástico), lo que permitía extraer muestras del aire con jeringas de 1 mL (Figura 10). La producción de CO_2 se determinó con un cromatógrafo de gases Shimadzu 14B-GC, acoplado a un detector de conductividad térmica (TCD) y utilizando una columna CTR I (ALLTECH) (Figura 11).

Las condiciones de operación fueron: temperatura del horno a 35 °C, temperatura del inyector a 120 °C, temperatura del detector a 120 °C y un flujo de helio como fase móvil de 65 mL/min. Antes de inyectar la muestra del frasco hermético, se calibró el equipo con una muestra

de aire atmosférico, con una concentración de CO₂ del 0,036 %. El cromatógrafo estaba conectado a un sistema informático que registraba e integraba el área del pico, facilitando así la cuantificación.



Figura 10. Finger lime en recipiente hermético.

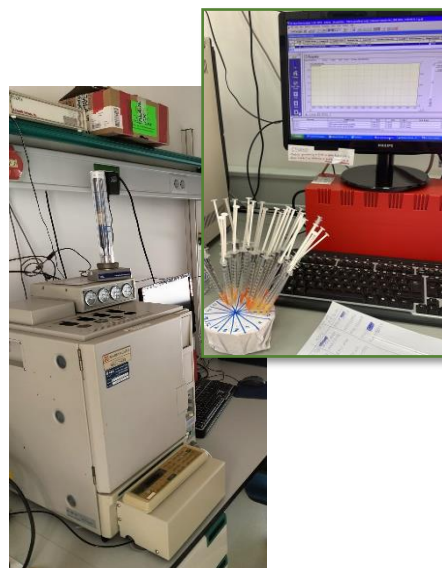


Figura 11. Determinación de CO₂, cromatógrafo de gases Shimadzu 14B-GC

Para calcular el CO₂ producido, se consideraron el peso del fruto, el volumen del recipiente y el tiempo de permanencia en el mismo, usando la fórmula:

$$\frac{mgCO_2}{Kg \times h} = \frac{Kg \times h (V - P) \times (0.687 \times A_{CO_2} \times 60)}{A_{patrón} \times P \times T}$$

Finalmente, se compararon las áreas de integración de los picos de las muestras con las de patrones de concentración conocida. Los resultados de la tasa de respiración fueron la media \pm error estándar (ES), y se expresaron en mg de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

3.2.1.4. Sólidos solubles totales

Los sólidos solubles totales (SST) del zumo recién exprimido y filtrado a través de una gasa se midieron por duplicado mediante refractometría. Para este propósito, se utilizó un refractómetro digital Hanna HI96811 (Hanna Instruments, Rhode Island, EE. UU.), el cual se calibró con agua destilada, y las lecturas se realizaron a 20 °C (Figura 12). Esta técnica se basa en los diferentes índices de refracción que presentan dos medios con sustancias disueltas distintas, en este caso, el zumo y el agua destilada. Los resultados se expresaron como gramos equivalentes de sacarosa en 100 g⁻¹ de peso fresco y representa la media \pm error estándar (ES) de las determinaciones realizadas en los frutos.



Figura 12. Refractómetro digital Hanna HI96811 (Hanna Instruments, Rhode Island, EE. UU.)

3.2.1.5. Acidez titulable

La acidez titulable (AT) se midió dos veces en el mismo zumo usando valoración potenciométrica automática con un equipo 785 DMP Tritino (Metrohm), que tiene una sensibilidad de $\pm 0,01$ pH. Se tomaron 0,5 mL de zumo diluido en 25 mL de agua destilada, añadiendo NaOH 0,1 N hasta alcanzar un pH de 8,1 (AOAC, 1990) (Figura 13). Los resultados se expresaron como gramos de ácido cítrico equivalentes por cada 100 gramos de peso fresco, y se presentan como la media \pm error estándar (ES) de las mediciones realizadas en los frutos de cada lote.

$$\frac{g \text{ eq de ácido cítrico}}{100 g_{pf}} = \frac{64 \times V_1 \times f \times N}{V_2}$$



Figura 13. Valoración potenciométrica automática con un equipo 785 DMP Tritino (Metrohm).

3.2.2. PARÁMETROS FUNCIONALES

3.2.2.1. Actividad antioxidante total

Para las siguientes determinaciones (actividad antioxidante total y contenido en carotenoides totales) se realizó la extracción de las fases liposoluble e hidrosoluble a partir de las muestras de piel. La extracción consistió en pesar 2 gramos de muestra de piel triturada en un tubo de centrifuga. A los que se añadieron 10 mL de tampón fosfato y 5 mL de etil acetato. Tras esto, se homogeneizó la mezcla con un Polytron (IKA T18 basic, Ultraturrax) y se centrifugó a 10.000 rpm en una centrifuga C30P (B. Braun Biotech international) durante 15 minutos a 4 °C. Este procedimiento de extracción se realizó para todas las réplicas por duplicado (5 réplicas).

Tras el centrifugado, las fases hidrosoluble y liposoluble de cada réplica fueron separadas y debidamente identificadas en tubos Eppendorf. A partir de las muestras extraídas anteriormente, se determinó la actividad antioxidante total utilizando la fase liposoluble y la fase hidrosoluble. Brevemente, se añadieron 25 µl de muestra de la fase hidrosoluble, pero 30 µl de la parte hidrosoluble, 25 µl de reactivo ABTS, 25 µl de H₂O₂ y 25 µl de peroxidasa. Este volumen se completó con 880 µl de etanol en el caso de la fase liposoluble, pero de glicina para la fase hidrosoluble. Tras esto se medía la absorbancia a 730 nm en un espectrofotómetro UV-1900 UV-Vis Shimadzu. Siendo los resultados la media ± ES. Además, los resultados fueron expresados como mg Trolox equivalentes a 100 g⁻¹ peso fresco.

3.2.2.2. Polifenoles totales

Los fenoles totales fueron extraídos y cuantificados de acuerdo con Zapata y col. (2014), con pequeñas modificaciones. En un tubo de centrífuga se pesaron 2 g de flavedo, troceado en secciones de menor tamaño de 3 tiras longitudinales diferentes, y se añadieron 15 mL de una disolución con agua: metanol (2 : 8) que contenía fluoruro de sodio 2 mM (para inactivar a la enzima polifenol oxidasa y así prevenir la degradación fenólica). Se homogeneizó con un Polytron (IKA T18 basic, Ultraturrax) durante 30 segundos y se centrifugó a 10.000 x g en una centrífuga C30P (B. Braun Biotech international) durante 12 minutos a 4 °C. A continuación, se midió el volumen final del sobrenadante y se tomó muestra suficiente para su posterior cuantificación. Las extracciones se realizaron por duplicado para cada una de las muestras previamente procesadas (Figura 14). En las muestras previamente extraídas en metanol se efectuó la determinación del contenido en fenoles totales. Para ello, se realizó una dilución de 1:4 (extracto : metanol) y se cuantificaron utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, que reacciona con los fenoles produciendo un color azul característico. Los tubos se colocaron 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). La cuantificación se basó en una curva estándar con ácido gálico como patrón. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) en 100 g⁻¹ de peso fresco y se presentan como la media ± el error estándar (SE).



Figura 14. Proceso de extracción de compuestos fenólicos y carotenoides

3.2.2.3. Carotenoides totales

Con la fase extraída para la actividad antioxidante liposoluble se realizó una medida directa a 450 nm utilizando un espectrofotómetro UV-1900 UV-Vis Shimadzu. Siendo los resultados la media ± ES (Figura 14). Además, los resultados fueron expresaron con mg de β -caroteno equivalentes en 100 g⁻¹ de peso fresco.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados de las determinaciones analíticas se muestran como medias acompañadas por el error estándar de 5 réplicas. Las letras minúsculas muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de acuerdo con un test de Tukey. Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico SPSS en la versión 22.0 para Windows.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros de calidad objeto de estudio para evaluar la calidad post-cosecha de finger lime fueron; las pérdidas de peso, la firmeza, la tasa de respiración, los sólidos solubles totales, la acidez titulable, el contenido de fenoles totales, la actividad antioxidante total y el contenido en carotenoides totales (Tabla 4). Durante el almacenamiento se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) para todos los parámetros. Sin embargo, el objeto de este estudio fue la evaluación de las diferencias entre tratamientos pre-cosecha con AS 1, 5 y 10 mM

con respecto al control. En este sentido, se muestran diferencias significativas según el análisis de la varianza para todos los parámetros excepto para los fenoles totales y la actividad antioxidante, además, se han encontrado en la mayoría de los parámetros una interacción positiva entre estas dos variables dependientes para cada uno de los parámetros analizados.

Tabla 4. Resumen del análisis estadístico de la varianza (ANOVA) para los parámetros de calidad analizados. La tabla muestra los valores de F y su nivel de significancia.

Parámetro	Tratamiento (T)	Día almacenamiento (D)	T x D
PP ^a	10,795 ***	219,173 ***	0,581 ns
Firm. ^b	12,614 ***	249,495 ***	1,938 **
TR ^c	45,107 ***	1173,253***	16,848 ***
SST ^d	11,231 ***	401,099 ***	4,601 ***
AT ^e	13,467 ***	47,021 ***	10,359 ***
CFT ^f	1,808 ns	55,097 ***	4,711 ***
AAT ^g	0,401 ns	14,045 ***	2,438 **
CCT ^h	5,763 **	18,846 ***	3,547 ***

Los asteriscos muestran las diferencias estadísticas (* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$ and *** $p < 0.01$). Cuando no se encontraron diferencias significativas se utilizó “ns”. ^a PP (pérdidas de peso), ^b Firm. (firmeza), ^c TR (tasa de respiración), ^d SST (sólidos solubles totales), ^e AT (acidez titulable), ^f CFT (contenido en fenoles totales), ^g AAT (actividad antioxidante total) y ^h CCT (contenido en carotenoides totales).

4.1. PÉRDIDAS DE PESO Y FIRMEZA

Los resultados de pérdidas de peso a los 21 días de conservación refrigerada, expresado como porcentaje, se muestran en la Figura 15A. Las pérdidas de peso fueron significativamente menores ($p < 0,05$) en los frutos del tratamiento con AS 10 mM, siendo un 18.4 % menor comparado con el control ($12,98 \pm 0,66$ %). En cuanto a los frutos de los tratamientos con AS 1 y 5 mM no mostraron diferencias significativas entre ellos y respecto al control. Estudios previos han sugerido que las pérdidas de peso en los frutos durante el almacenamiento se deben a una mayor relación superficie/ volumen, aumento de la actividad metabólica, mayor tasa de respiración : transpiración y la aceleración en la descomposición celular (Fatemi *et al.*, 2013). En frutas y hortalizas, se ha sugerido que las pérdidas de peso se deben principalmente a la tasa de respiración y a la transpiración. Por otro lado, la reducción de las pérdidas de peso en los frutos tratados podría deberse a la estabilización y consolidación de la integridad celular y la permeabilidad de los tejidos. Los tratamientos con AS podrían haber contribuido a disminuir la

tasa de respiración al reducir la tasa de metabólica del fruto, lo que llevaría a una reducción de las pérdidas de peso (Champa & Gamage, 2020). Además, otro aspecto importante podría ser que los frutos tratados con AS 10 mM tuvieran un mejor control del gradiente osmótico, regulando de forma más eficiente la apertura y cierre de estomas (Siboza *et al.*, 2011, 2012)

La firmeza en el momento de la recolección y tras 21 días de conservación refrigerada, expresada en $N\ mm^{-1}$, aparece representada en la Figura 15B. En el momento de la recolección se pudo observar que los frutos del tratamiento con AS 10 mM mostraban una firmeza un 6 % mayor que los frutos control ($12,98 \pm 0,66$). Tras 21 días de conservación refrigerada, la firmeza del control disminuyó hasta un valor de $4,01 \pm 0,17\ N\ mm^{-1}$, mientras que los frutos tratados con AS 1, 5 y 10 mM, mostraron una firmeza significativamente mayor ($p < 0,05$) con valores de $4,77 \pm 0,21$, $4,96 \pm 0,19$ y $5,03 \pm 0,19\ N\ mm^{-1}$, respectivamente.

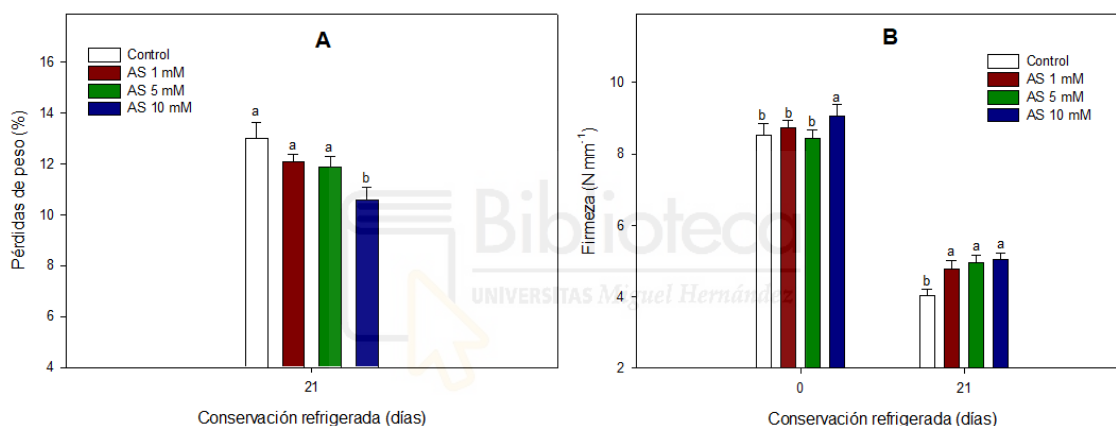


Figura 15. Evolución de pérdidas de peso (%) y la evolución de la firmeza ($N\ mm^{-1}$) en finger lime a los 21 días de almacenamiento. Diferentes letras minúsculas entre tratamientos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

Todos los frutos se ablandan o pierden firmeza durante la conservación refrigerada en post-cosecha, lo que está relacionado con la pérdida de calidad, ya que los consumidores valoran mejor que los frutos sean más firmes. Por lo tanto, observamos que existe una influencia de los tratamientos, ya que, todos los frutos tratados con AS antes de la cosecha mostraron, a los 21 días de almacenamiento refrigerado, una firmeza mayor al control. Según resultados previos publicados por Giménez *et al.*, (2017) la pérdida de firmeza podría estar relacionada con un incremento en la actividad de la enzima pectinmetilesterasa. Esta es una enzima que desmetila pectinas de la pared celular de los frutos. Este proceso afecta a la estructura de la pared celular, contribuyendo al ablandamiento del fruto durante la maduración y senescencia del fruto. Además, esto podría estar relacionado con las pérdidas de peso, ya que al reducirse la turgencia en el fruto debido a la pérdida de agua en la piel podría contribuir a un mayor ablandamiento.

4.2. TASA DE RESPIRACIÓN

Los resultados, en el momento de la recolección, mostraron que en los frutos tratados con AS 1 mM se redujo significativamente ($p < 0,05$) la tasa de respiración comparado con los frutos control. Sin embargo, los mejores resultados se observaron en los frutos tratados con AS 5 y 10 mM, con reducciones del 30 y 28.3 %, respectivamente, comparado los frutos control ($57,65 \pm 1,43 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Tras 21 días de conservación refrigerada, la tasa de respiración del control disminuyó a $18,38 \pm 0,21 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, sin diferencias significativas con los frutos tratados con AS 1 mM, mientras que los frutos de los tratamientos con AS 5 y 10 mM mantuvieron valores significativamente menores ($p < 0,05$) a los controles (Figura 16).

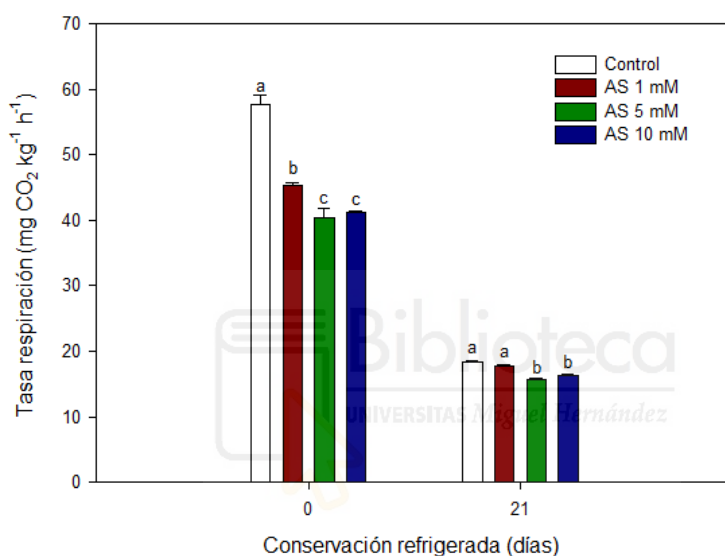


Figura 16. Evolución en la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en finger lime en el día de la recolección y a los 21 días de almacenamiento. Diferentes letras minúsculas entre tratamientos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

La tasa de respiración es un parámetro que está muy relacionado con las pérdidas de peso, debido a una mayor o menor apertura estomática influenciada por el metabolismo del fruto. Como cabía esperar, existe una disminución de la tasa de respiración desde el día 0 hasta los 21 días de conservación refrigerada. Esto es debido a la influencia de las bajas temperaturas, las cuales ralentizan la actividad metabólica del fruto. Estos resultados fueron semejantes a los publicados previamente en limón por Serna-Escolano *et al.*, (2021). Diversos estudios previos también relacionaron de forma directa una menor tasa de respiración con un retraso en la maduración y un menor grado de senescencia en granadas (García-Pastor *et al.*, 2020) y naranjas (Mollapur *et al.*, 2016).

4.3. SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES Y ACIDEZ TITULABLE

Respecto a los SST en el momento de la recolección de los frutos tratados con AS 1 y 5 mM fueron significativamente menores ($p < 0,05$) comparados con el control. A los 21 días de conservación refrigerada, los valores de SST en los frutos tratados con AS 5 mM fueron un 7,4 % menores que los controles ($24,23 \pm 0,19$ °Brix). Mientras que los SST de los frutos tratados con AS 1 y 10 mM fueron de $24,04 \pm 0,17$ y $24,19 \pm 0,14$ °Brix, respectivamente, sin diferencias significativas ($p < 0,05$) con el control (Figura 17A). Durante el periodo de conservación, la cantidad de SST incrementó en todos los tratamientos, aunque en menor medida en los frutos tratados con AS 5 mM. El proceso de maduración de los cítricos está relacionado con la degradación de los polisacáridos en azúcares más simples, dando lugar a un incremento de los sólidos solubles totales (Wang *et al.*, 2021). Además, este aumento de los SST podría estar relacionado, a su vez, con la pérdida de peso observada durante el proceso de conservación, ya que dichos compuestos podrían concentrarse en el fruto (Dobón-Suárez *et al.*, 2021). Además, estudios previos en cerezas tratadas en pre-cosecha con AS han relacionado el aumento en SST con una mejora en el estado energético de la planta a través de la translocación de azúcares al fruto (Giménez *et al.*, 2017).

En cuanto a la AT, los frutos tratados con AS 5 mM mostraron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores que los frutos control en el momento de la recolección. A los 21 días de conservación refrigerada, la AT de los frutos control disminuyó a $4,99 \pm 0,09$ g 100 ml⁻¹, mientras que en los frutos tratados con AS 5 y 10 mM sus niveles fueron significativamente mayores ($p < 0,05$), observándose el mayor incremento en los frutos tratados con AS 5 mM con un 11,2 % respecto al control (Figura 18B). Este efecto podría estar relacionado con una disminución en el ritmo metabólico, que reduciría el consumo de los sustratos de reserva (S. Wang *et al.*, 2020).

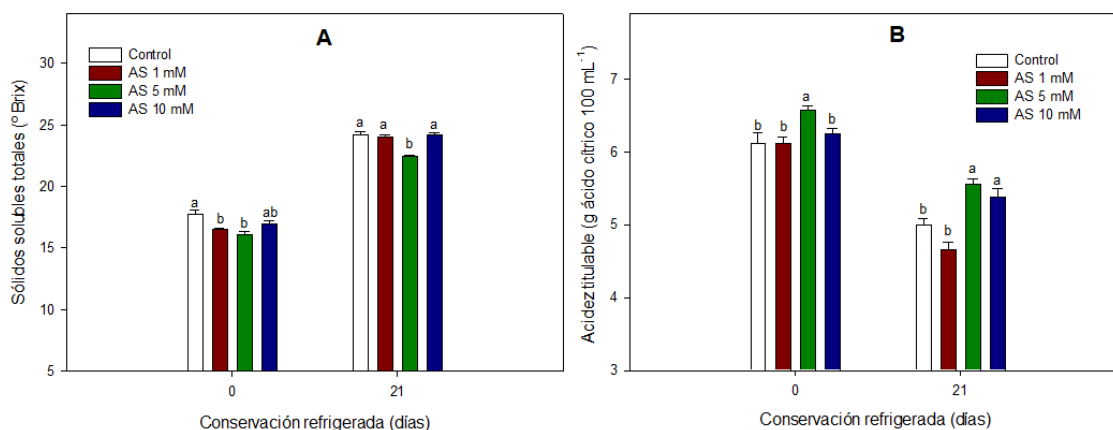


Figura 17. Evolución de los SST (°Brix) (A) y la AT (g ácido cítrico 100 ml⁻¹) (B) en finger lime en el día de la recolección y a los 21 días de almacenamiento a 10 °C. Diferentes letras minúsculas entre tratamientos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos de acuerdo al test de Tukey.

Además, las frutas continúan respirando durante la post-cosecha, utilizando compuestos de reserva como ácidos orgánicos, azúcares solubles y proteínas para mantener la actividad metabólica celular básica. La preferencia en el uso de sustratos como energía indicaría que los ácidos orgánicos (siendo el mayoritario el ácido cítrico) serían utilizados para mantener las funciones metabólicas básicas del fruto, lo que podría resultar en ese descenso de acidez (Champa & Gamage, 2020). Estos resultados coincidieron con los publicados por Ladaniya & Ladaniya, (2010) quienes mostraron que, en limas, la reducción de la AT estuvo relacionada con el descenso de ácido cítrico principalmente.

4.4. CONTENIDO EN FENOLES TOTALES

Los resultados del contenido en fenoles totales (CFT) mostraron que en el momento de la recolección no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los frutos tratados con AS 1, 5 y 10 mM respecto a los controles. Sin embargo, tras 21 días de conservación refrigerada los frutos tratados con AS 5 mM mostraron un incremento del 3,2 % y los frutos tratados con AS 10 un descenso del 10,3 % respecto a los controles ($436,21 \pm 10,57 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) (Figura 19).

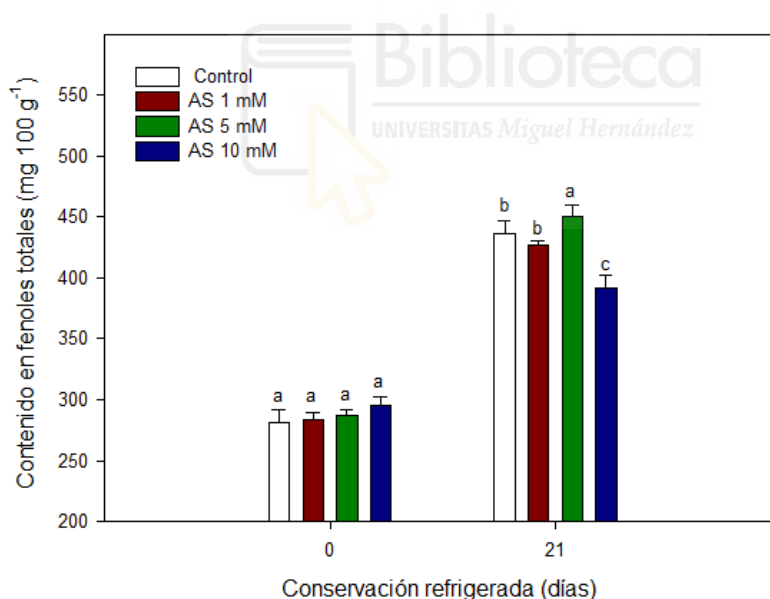


Figura 19. Contenido de fenoles totales ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) en flavedo de finger lime en el día de la recolección y a los 21 días de almacenamiento refrigerado. Diferentes letras minúsculas entre tratamientos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

Los cítricos son frutos apreciados por su potencial antioxidante, el cual está directamente relacionado con el contenido en fenoles totales. Estos atributos están determinados, en parte, por diferentes factores como el manejo del cultivo o el patrón, la etapa de crecimiento y maduración en la que se encuentre el fruto en el momento de su recolección es fundamental, ya que el potencial antioxidante del fruto en el flavedo y el zumo puede disminuir más de un $\approx 30 \%$

durante el desarrollo (Hou *et al.*, 2021; Serna-Escolano *et al.*, 2019). El incremento en el CFT en los frutos tratados con AS 5 mM a los 21 días de conservación refrigerada podría deberse al incremento de la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa, la cual es la enzima clave de la ruta de biosíntesis de fenoles, lo que conduce a la acumulación de terpenoides, alcaloides y compuestos fenólicos (Serna Escolano, 2021). Además, los resultados obtenidos fueron coherentes con los publicados previamente por Sibozza *et al.*, (2014), en los cuales se mostró el efecto de los tratamientos con AS en el CFT de limones conservados en condiciones de refrigeración.

4.5. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL

Los resultados de la actividad antioxidante total (AAT) en el momento de la recolección no mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los frutos tratados con AS 1, 5 y 10 mM y los frutos control. Sin embargo, tras 21 días de conservación refrigerada, la AAT de los frutos tratados con AS 1 y 5 mM aumentó un 13,2 y 11,3 %, respectivamente, comparado con los controles ($388,41 \pm 13,46 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$) (Figura 20).

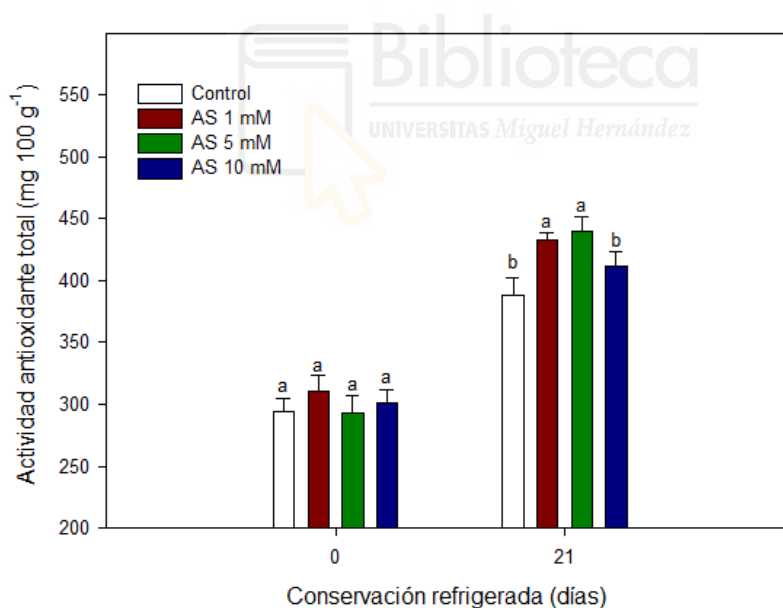


Figura 20. Actividad antioxidante total ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) en flavedo de finger lime en el día de la recolección y a los 21 días de almacenamiento refrigerado. Diferentes letras minúsculas entre tratamientos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

El aumento de AAT en los frutos tratados con AS 5 mM podría estar relacionado, en parte, con el incremento observado en el CFT. Ya que, los compuestos fenólicos y el ácido ascórbico son los principales responsables de las propiedades antioxidantes de los cítricos (Smeriglio *et al.*, 2020). Estas propiedades no solo dependen de la concentración de cada compuesto individual, sino también de las interacciones entre ellos (Obloh *et al.*, 2015; Xi *et al.*,

2017; Asencio *et al.*, 2018). Además, estos resultados son soportados por otros trabajos previos en los que se ha publicado el efecto de los tratamientos pre-cosecha con AS manteniendo y/o incrementando los valores de AAT y CFT en cereza cornalina (Dokhanieh *et al.*, 2013) y albaricoque (Z. Wang *et al.*, 2015).

4.6. CONTENIDO EN CAROTENOIDES TOTALES

Los resultados del contenido en carotenoides totales en el momento de la recolección mostraron que los frutos tratados con AS 1 mM tenían los mismos niveles que los controles. Sin embargo, los frutos tratados con AS 5 y 10 mM mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$), con incrementos aproximadamente del 20 y 40 %, respectivamente, comparado a los controles ($0,673 \pm 0,0791 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$). Tras 21 días de conservación refrigerada todos los tratamientos estaban en niveles parecidos a los frutos control, sin diferencias significativa ($p < 0,05$) entre ellos (Figura 21).

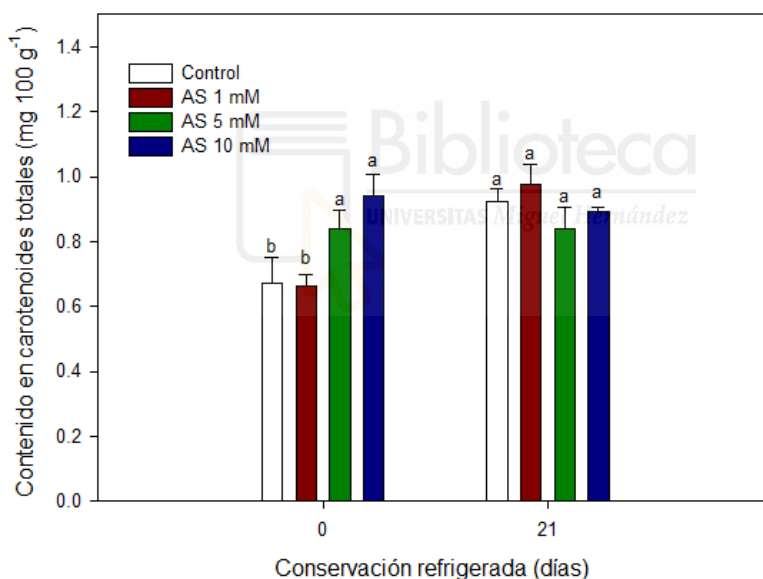


Figura 21. Contenido en carotenos totales ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) en flavedo de finger lime en el día de la recolección y a los 21 días de almacenamiento refrigerado. Diferentes letras minúsculas entre tratamientos muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos.

En cítricos se producen diferentes cambios químicos en la piel durante el proceso de maduración que promueven la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenos (Rodrigo *et al.*, 2013). Este fenómeno está relacionado con la transformación de los cloroplastos en cromoplastos, un cambio que facilita la transición del color verde del fruto inmaduro a los tonos más amarillos o naranjas de los frutos maduros. Los cromoplastos tienen la capacidad de acumular cantidades sustanciales de carotenoides, los cuales pueden actuar como agentes de protección frente al estrés abiótico (luz solar o temperatura), previniendo así posibles daños en

la piel del fruto (Serna-Escolano *et al.*, 2021). Es importante destacar que estas cantidades de carotenoides están muy por debajo en comparación con otros cítricos como la naranja (Serna-Escolano *et al.*, 2023) y el limón (Conesa *et al.*, 2019).

5. CONCLUSIONES

- En los frutos tratados con AS 5 y 10 mM se redujeron las pérdidas de peso tras 21 días de conservación refrigerada comparado con los controles. También se observó una reducción en la tasa de respiración y un incremento de la firmeza en el momento de la recolección y tras 21 días de conservación refrigerada.
- En los frutos tratados con AS 5 mM se observó una reducción en los sólidos solubles totales y un incremento de la acidez titulable en el momento de la recolección y tras 21 días de almacenamiento refrigerado.
- En los frutos tratados con AS 5 mM se observó un incremento en el contenido en fenoles totales y actividad antioxidante total tras 21 días de almacenamiento en frío. Respecto al contenido en carotenoides totales, los frutos tratados con AS 5 y 10 mM mostraron valores superiores a los controles en el momento de la recolección.
- Por lo tanto, el tratamiento pre-cosecha con AS 5 mM podría ser la opción seleccionada para realizar futuros ensayos con el objetivo de obtener los mejores resultados posibles.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adhikari, B., Dutt, M., & Vashisth, T. (2021). Comparative phytochemical analysis of the fruits of four Florida-grown finger lime (*Citrus australasica*) selections. *LWT*, *135*, 110003. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110003>
- 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. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-018-3064-x>
- Brand Miller, J., James, K. W. (Keith W., Maggiore, P. M. A. (Patricia M. A., & Australian Institute of Aboriginal and Torres Strait Islander Studies. (n.d.). *Tables of composition of Australian aboriginal foods*. 256. Recuperado en junio de 2024 de https://books.google.com/books/about/Tables_of_Composition_of_Australian_Abor.htm?hl=es&id=vyduivlx4kwC
- Champa, W. A. H., & Gamage, K. G. N. M. (2020). Postharvest Dip Application of Putrescine and Salicylic Acid Delayed Postharvest Quality Deterioration and Extended the Storage Life of Lime (*Citrus Aurantifolia Swingle*) Fruit. *International Journal of Fruit Science*, *20*(S3), S1629–S1638. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1822268>

- Chen, C., Huang, Q., Peng, X., Wan, C., Zeng, J., Zhang, Y., & Chen, J. (2023). Alleviatory effects of salicylic acid on postharvest softening and cell wall degradation of “Jinshayou” pummelo (*Citrus maxima* Merr.): A comparative physiological and transcriptomic analysis. *Food Chemistry*, 424, 136428. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136428>
- 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-Sánchez, 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>
- Delort, E., & Jaquier, A. (2009). Novel terpenyl esters from Australian finger lime (*Citrus australasica*) peel extract. *Flavour and Fragrance Journal*, 24(3), 123–132. <https://doi.org/10.1002/FFJ.1922>
- Delort, E., Jaquier, A., Decorzant, E., Chapuis, C., Casilli, A., & Frérot, E. (2015). Comparative analysis of three Australian finger lime (*Citrus australasica*) cultivars: Identification of unique *Citrus* chemotypes and new volatile molecules. *Phytochemistry*, 109, 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.10.023>
- Delort, E., & Yuan, Y. M. (2018). Finger lime/The Australian Caviar—*Citrus australasica*. *Exotic Fruits Reference Guide*, 203–210. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00025-3>
- Dobón-Suárez, A., Giménez, M. J., Castillo, S., García-Pastor, M. E., & Zapata, P. J. (2021). Influence of the Phenological Stage and Harvest Date on the Bioactive Compounds Content of Green Pepper Fruit. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 3099, 26(11), 3099. <https://doi.org/10.3390/molecules26113099>
- Dokhanieh, A. Y., Aghdam, M. S., Fard, J. R., & Hassanpour, H. (2013). Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, 154, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.025>
- Faostat. (2022). Estadísticas de producción. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> Consultado el 13 de junio de 2024
- Fatemi, H., Mohammadi, S., & Aminifard, M. H. (2013). Effect of postharvest salicylic acid treatment on fungal decay and some postharvest quality factors of kiwi fruit. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 46(11), 1338–1345. <https://doi.org/10.1080/03235408.2013.767013>
- García-Pastor, M. E., Zapata, P. J., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valero, D., & Serrano, M. (2020). The Effects of Salicylic Acid and Its Derivatives on Increasing Pomegranate Fruit Quality and Bioactive Compounds at Harvest and During Storage. *Frontiers in Plant Science*, 11, 542135. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00668>
- Gautam, S., & Singh, P. K. (2009). Salicylic acid-induced salinity tolerance in corn grown under NaCl stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(6), 1185–1190. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0338-8>
- GBIF Secretariat. (2023). *Microcitrus Swingle*. GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset. <https://www.gbif.org/species/3190060>. Accedido a través de GBIF.org el 12 de junio de 2024.

- Giménez, M. J., Martínez-Esplá, A., Gironés-Vilaplana, A., Valverde, J. M., Martínez-Romero, D., & Castillo, S. (2019). Effect of preharvest application of methyl salicylate, oxalic acid and methyl jasmonate on yield and quality of 'Sweet Heart' cherries. *Acta Horticulturae*, 1256, 501–504. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1256.71>
- Giménez, M. J., Serrano, M., Valverde, J. M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Valero, D., & Guillén, F. (2017). Preharvest salicylic acid and acetylsalicylic acid treatments preserve quality and enhance antioxidant systems during postharvest storage of sweet cherry cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1220–1228. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7853>
- Glover, R. (2017). Cultivation of Lemon Aspen (*Acronychia acidula*). *Australian Native Plants*, 105–111. <https://doi.org/10.1201/B20635-9>
- Hardy, S., Wilk, P., Viola, J. & Rennie, S. 2010. Growing Australian native finger limes. *Primefact 979*: 1-11. Recuperado el día 2 de Junio de https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0016/320272/growing-australian-native-finger-limes.pdf
- Hou, J., Liang, L., Su, M., Yang, T., Mao, X., & Wang, Y. (2021). Variations in phenolic acids and antioxidant activity of navel orange at different growth stages. *Food Chemistry*, 360, 129980. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129980>
- Hussain, S. Z., Naseer, B., Qadri, T., Fatima, T., & Bhat, T. A. (2021). *Citrus Fruits—Morphology, Taxonomy, Composition and Health Benefits. Fruits Grown in Highland Regions of the Himalayas*, 229–244. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75502-7_18
- Islam, M. J., Kim, J. W., Begum, M. K., Sohel, M. A. T., & Lim, Y. S. (2020). Physiological and Biochemical Changes in Sugar Beet Seedlings to Confer Stress Adaptability under Drought Condition. *Plants* 2020, Vol. 9, Page 1511, 9(11), 1511. <https://doi.org/10.3390/plants9111511>
- Kader, A. A. (1995). Regulation of fruit physiology by controlled/ modified atmospheres. *Acta Horticulturae*, 398: 6. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1995.398.6>
- Kazan, K., & Manners, J. M. (2009). Linking development to defense: auxin in plant–pathogen interactions. *Trends in Plant Science*, 14(7), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.04.005>
- Ladanya & Ladaniya. (2010). *Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation*, 1–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374130-1.x5001-3>
- Liu, Y., Wang, W., Zhou, Y., Yao, S., Deng, L., & Zeng, K. (2017). Isolation, identification and in vitro screening of Chongqing orangery yeasts for the biocontrol of *Penicillium digitatum* on *Citrus* fruit. *Biological Control*, 110, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.002>
- Love, K., & Paull, R. (2020). Finger Limes. Disponible en <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/FN%2056.pdf>

- Lu, Y., Shen, X., Li, Y., Xu, Y., Chen, Y., Chen, Y., Hu, X., Li, X., Sun, X., & Gong, J. (2024). Regulation of chlorophyll and carotenoid metabolism in *Citrus* fruit. *Horticultural Plant Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.02.004>
- Lundborg, L., Sampedro, L., Borg-Karlson, A. K., & Zas, R. (2019). Effects of methyl jasmonate on the concentration of volatile terpenes in tissues of Maritime pine and Monterey pine and its relation to pine weevil feeding. *Trees - Structure and Function*, 33(1), 53–62. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1757-1>
- Mabberley, D. (1998). Australian Citreae with notes on other *Aurantioideae* (Rutaceae). *Telopea*, 7(4), 333–344. <https://doi.org/10.7751/telepea19982004>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2008). Exportación de cítricos. Recuperado en junio de 2024. https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/frutas-y-hortalizas/Informacion_subsectorial.aspx#:~:text=Espa%C3%B1a%2C%20con%20una%20superficie%20de,del%20mundo%20con%20el%205%25
- Martínez-Esplá, A., Zapata, P. J., Valero, D., Martínez-Romero, D., Díaz-Mula, H. M., & Serrano, M. (2018). Preharvest treatments with salicylates enhance nutrient and antioxidant compounds in plum at harvest and after storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(7), 2742–2750. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8770>
- Mollapur, Y., Miri, S. M., & Hadavi, E. (2016). Comparison of foliar fertilizers and growth regulators on pre-harvest drop and fruit quality of “Thompson Navel” orange. *Open Agriculture*, 1(1), 112–117. <https://doi.org/10.1515/opag-2016-0015>
- Mueller, F. von. (2 de abril de 1858). *Fragmenta phytographiae Australiæ / Vol. v.1 1858-59*. Auctoritate Gubern. Coloniae Victoriae, Ex Officina Joannis Ferres. Archivado el 1 de noviembre de 2022. Recuperado el 2 de abril de 2020, de <https://doi.org/10.5962/bhl.title.287>. Consultado el 10 de junio de 2024.
- Nakandala, U., Furtado, A., Masouleh, A. K., Smith, M. W., Williams, D. C., & Henry, R. J. (2024). The genome of *Citrus australasica* reveals disease resistance and other species specific genes. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04988-8>
- Nastasi, J. R., Perry, K. R., Abbott, J. A., King, J. M., & Hoffman, E. W. (2024). Physical, colour, and mechanical properties of pearls (*Citrus caviar*) from three finger lime (*Citrus australasica*) varieties: Implications for economic value, quality grading, and benchmarking. *Food Biophysics*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11483-024-09848-4>
- Netzel, M., Netzel, G., Tian, Q., Schwartz, S., & Konczak, I. (2007). Native Australian fruits — a novel source of antioxidants for food. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(3), 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.03.007>
- Oboh, G., Bello, F. O., Ademosun, A. O., Akinyemi, A. J., & Adewuni, T. M. (2015). Antioxidant, hypolipidemic, and anti-angiotensin-1-converting enzyme properties of lemon (*Citrus limon*) and lime (*Citrus aurantifolia*) juices. *Comparative Clinical Pathology*, 24(6), 1395–1406. <https://doi.org/10.1007/s00580-015-2088-x>

- Palou, L. (2016). Non-polluting chemical approaches to control *Citrus* postharvest diseases. *Journal of Bacteriology & Mycology: Volume 2*. <https://doi.org/10.15406/jbmoa.2016.02.00019>
- Palou, L. (2018). Postharvest Treatments with GRAS Salts to Control Fresh Fruit Decay. *Horticulturae* 2018, 4(4), 46. <https://doi.org/10.3390/horticulturae4040046>
- Papoutsis, K., Mathioudakis, M. M., Hasperu , J. H., & Ziogas, V. (2019). Non-chemical treatments for preventing the postharvest fungal rotting of *Citrus* caused by *Penicillium digitatum* (green mold) and *Penicillium italicum* (blue mold). *Trends in Food Science & Technology*, 86, 479–491. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.053>
- Ramirez-Estrada, K., Vidal-Limon, H., Hidalgo, D., Moyano, E., Golenioswki, M., Cusid , R. M., & Palazon, J. (2016). Elicitation, an Effective Strategy for the Biotechnological Production of Bioactive High-Added Value Compounds in Plant Cell Factories. *Molecules* 2016, 21(2), 182. <https://doi.org/10.3390/molecules21020182>
- Rodrigo, M. J., Alqu zar, B., Al s, E., Lado, J., & Zacar as, L. (2013). Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of *Citrus* fruit. *Scientia Horticulturae*, 163, 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.014>
- Ruberto, G., Rocco, C., & Rapisarda, P. (2000). Chemical Composition of the Peel Essential Oil of *MicroCitrus australasica* var. *sanguinea* (F.M. Bail) Swing. *Journal of Essential Oil Research*, 12(3), 379–382. <https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699540>
- Sawalha, S. M. S., Arr ez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2009). Quantification of main phenolic compounds in sweet and bitter orange peel using CE–MS/MS. *Food Chemistry*, 116(2), 567–574. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.003>
- Serna Escolano, V. (2021). Tratamientos pre-cosecha y post-cosecha con elicitores para la mejora de la calidad en limón ecológico. [Tesis doctoral, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Acceso: Depósito digital UMH (REDIUMH) (02/06/2024). <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/28950/1/TD%20Serna%20Escolano,%20Vicente.pdf>
- 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* 2021, 10(6), 963. <https://doi.org/10.3390/antiox10060963>
- Serna-Escolano, V., Gutiérrez-Pozo, M., Dob n-Suárez, A., Zapata, P. J., & Giménez, M. J. (2023). Effect of Preharvest Treatments with Sodium Bicarbonate and Potassium Silicate in Navel and Valencia Oranges to Control Fungal Decay and Maintain Quality Traits during Cold Storage. *Agronomy* 2023, 13(12), 2925. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122925>
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128044>

- 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(11), 5035–5043. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9746>
- Sharifi-Rad, R., Esmailzadeh Bahabadi, S., Samzadeh-Kermani, A., & Gholami, M. (2020). The Effect of Non-biological Elicitors on Physiological and Biochemical Properties of Medicinal Plant *Momordica charantia* L.. *Iran J Sci Technol Trans Sci* 44, 1315–1326. <https://doi.org/10.1007/s40995-020-00939-8>
- Siboza, X. I., Bertling, I., & Odindo, A. O. (2014). Salicylic acid and methyl jasmonate improve chilling tolerance in cold-stored lemon fruit (*Citrus limon*). *Journal of Plant Physiology*, 171(18), 1722–1731. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.05.012>
- Siboza, X. I., Bower, J. P., & Bertling, I. (2011). Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on chilling injury of “Eureka” lemons. *Acta Horticulturae*, 911, 409–414. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2011.911.47>
- Siboza, X. I., Bower, J. P., & Bertling, I. (2012). Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on chilling injury of “Eureka” lemons. *Acta Horticulturae*, 928, 395–402. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.928.53>
- Siebert, T. J., Kahn, T. L., & Krueger, R. R. (2015). Observations of graft compatibility between *Citrus* spp. and related *aurantioideae* taxa. *Acta Horticulturae*, 1065, 173–180. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2015.1065.17>
- Smeriglio, A., Denaro, M., D’Angelo, V., Germanò, M. P., & Trombetta, D. (2020). Antioxidant, Anti-Inflammatory and Anti-Angiogenic Properties of *Citrus lumia* Juice. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 593506. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.593506>
- Sriskanda, D., Poi, K. S., Haradzi, N. A., Isa, N. M., Subramaniam, S., & Chew, B. L. (2021). The effect of MS media strength and cytokinin in the induction of shoots from shoot tip explants of Australian finger lime (*Citrus australasica* cv. Tasty Green). *Sains Malaysiana*, 50(5), 1277–1284. <https://doi.org/10.17576/JSM-2021-5005-08>
- Trevor John Hawkeswood. (2017). A review of some publications concerning *Citrus* (*Microcitrus*) *australasica* F. Muell. (Rutaceae) in Australia and South-east Asia (mostly Thailand). *Calodema*. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/320919932_A_review_of_some_publications_concerning_Citrus_Microcitrus_australasica_F_Muell_Rutaceae_in_Australia_and_South-east_Asia_mostly_Thailand
- Wang, H., Wang, J., Mujumdar, A. S., Jin, X., Liu, Z. L., Zhang, Y., & Xiao, H. W. (2021). Effects of postharvest ripening on physicochemical properties, microstructure, cell wall polysaccharides contents (pectin, hemicellulose, cellulose) and nanostructure of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Hydrocolloids*, 118, 106808. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106808>

- Wang, S., Zhou, Y., Luo, W., Deng, L., Yao, S., & Zeng, K. (2020). Primary metabolites analysis of induced *Citrus* fruit disease resistance upon treatment with oligochitosan, salicylic acid and *Pichia membranaefaciens*. *Biological Control*, *148*, 104289. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104289>
- Wang, Y., Ji, S., Zang, W., Wang, N., Cao, J., Li, X., & Sun, C. (2019). Identification of phenolic compounds from a unique *Citrus* species, finger lime (*Citrus australasica*) and their inhibition of LPS-induced NO-releasing in BV-2 cell line. *Food and Chemical Toxicology*, *129*, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.04.006>
- Wang, Z., Ma, L., Zhang, X., Xu, L., Cao, J., & Jiang, W. (2015). The effect of exogenous salicylic acid on antioxidant activity, bioactive compounds and antioxidant system in apricot fruit. *Scientia Horticulturae*, *181*, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.055>
- Xi, W., Lu, J., Qun, J., & Jiao, B. (2017). Characterization of phenolic profile and antioxidant capacity of different fruit part from lemon (*Citrus limon* Burm.) cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(5), 1108–1118. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2544-5>

