



**Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza**



Trabajo Fin de

Autor/es

Director/es

Facultad de Veterinaria



ÍNDICE

1.	RESUMEN	1
2.	ABSTRACT	1
3.	INTRODUCCIÓN.....	2
3.1	EL ENVASADO ACTIVO COMO UNA ESTRATEGIA PARA PROLONGAR LA VIDA POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS	2
3.2	AVANCES E INNOVACIONES EN EL USO DE SUSTANCIAS ABSORBENTES PARA ENVASES ACTIVOS	3
3.3	AVANCES E INNOVACIONES EN EL USO DE SUSTANCIAS EMISORAS PARA ENVASES ACTIVOS.....	4
4.	OBJETIVOS.....	5
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
5.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	6
5.1	DISEÑO EXPERIMENTAL EN FRUTAS DE HUESO	6
5.2	DISEÑO EXPERIMENTAL EN TOMATE.....	6
6.	MATERIAL Y MÉTODOS	7
6.1	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN ABSORBEDOR DE ETILENO SOBRE LA VIDA ÚTIL DE MELOCOTÓN Y NECTARINA.....	7
6.2	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA LÁMINA DE PAPEL IMPREGNADA CON DOS FORMULACIONES DISTINTAS DE ACEITES ESENCIALES SOBRE LA VIDA ÚTIL DE TOMATE.....	12
6.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	16
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
7.1	ENVASES ACTIVOS BASADOS EN LA INCORPORACIÓN DE ABSORBEDORES DE ETILENO.....	16
7.2	ENVASES ACTIVOS BASADOS EN LA INCORPORACIÓN DE PAPELES ANTIFÚNGICOS EN TOMATE	33
8.	CONCLUSIONES GENERALES	42
9.	BIBLIOGRAFÍA	43

1. RESUMEN

Las frutas climatéricas son altamente perecederas, y tienen una corta vida útil, debido fundamentalmente a su alta sensibilidad al etileno y a las podredumbres poscosecha causadas principalmente por hongos, lo que ocasiona grandes pérdidas económicas. Existen estrategias en el mercado para reducir estas pérdidas alimentarias, sin embargo, algunas de ellas tienen un gran impacto en el medio ambiente, por lo que encontrar nuevas estrategias sostenibles para mantener la calidad inicial de la fruta fresca es crucial.

En este Trabajo Fin de Máster se ha evaluado la eficacia de dos estrategias poscosecha, ambas basadas en la tecnología de envasado activo. Por un lado, se ha estudiado la eficacia de un absorbedor de etileno totalmente compostable, basado en la utilización de nanoesponjas de ciclodextrina (CD-NS) en dos frutas climatéricas como la nectarina y el melocotón, con el objetivo de mantener su calidad y alargar su vida útil. Y, por otro lado, se ha analizado el efecto de dos láminas de papel activo biobasado impregnadas con dos formulaciones diferentes a base de aceites esenciales de hojas de canela (*Cinnamomum cassia*) y orégano (*Origanum vulgare*), y que están concebidas para ser colocadas en el cajón de la nevera del consumidor, reducir las podredumbres fúngicas y prolongar la vida útil del tomate.

Para ello, se ha estudiado el efecto de estas tecnologías sobre diferentes parámetros relacionados con el metabolismo de la maduración de los frutos, su calidad organoléptica, su calidad nutricional, el estrés oxidativo y la aceptación de los consumidores.

Las dos estrategias poscosecha ensayadas fueron eficaces consiguiendo alargar la vida útil de los frutos hasta 7 días adicionales respecto al control.

2. ABSTRACT

Climacteric fruits are highly perishable, and they have a short shelf life, mainly due to their high sensitivity to ethylene and post-harvest rots caused mainly by fungi, resulting in large economic losses. There are strategies on the market to reduce these food losses, however, some of them have a great impact on the environment, so finding new sustainable strategies to maintain the initial quality of fresh fruit is crucial.

In this Final Master Project, the effectiveness of two postharvest strategies has been evaluated, both based on active packaging technology. On the one hand, the effectiveness of a fully compostable ethylene absorber has been studied, based on the use of cyclodextrin nanosponges (CD-NS) in two climacteric fruits such as nectarine and peach, with the aim of

maintaining their quality and extending their shelf life. And, on the other hand, the effect of two sheets of biobased active paper impregnated with two different formulations based on essential oils of cinnamon leaves (*Cinnamomum cassia*) and oregano (*Origanum vulgare*) has been analyzed, and which are designed to be placed in the consumer's refrigerator drawer, to reduce fungal rot and to extend the shelf life of tomatoes.

To this purpose, the effect of these technologies on different parameters related to fruit ripening metabolism, organoleptic quality, nutritional quality, oxidative stress and consumer acceptance have been studied.

The two postharvest strategies tested were effective, extending the shelf life of the fruit by up to 7 additional days compared to the control.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 EL ENVASADO ACTIVO COMO UNA ESTRATEGIA PARA PROLONGAR LA VIDA POSCOSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS

Junto a la frigoconservación, una de las herramientas para prolongar la vida útil del producto es la modificación de la atmósfera en el interior del envase, generalmente disminuyendo el contenido de O₂ y aumentando el contenido de CO₂, con lo que se logra reducir el crecimiento microbiano y la velocidad de las reacciones metabólicas de maduración y senescencia, siendo así un método efectivo y de bajo coste para extender la vida útil de frutas y hortalizas frescas. Sin embargo, aunque el envasado en atmósfera modificada y la reducción de la temperatura retrasan el deterioro de estos productos, esta técnica presenta algunas limitaciones como el crecimiento de aerobios y la oxidación de las grasas favorecidos por los gases empleados y/o la aparición de sabores extraños en el producto fresco (Catalá et al., 2009).

Como alternativa y solución complementaria se está promoviendo el desarrollo y uso de tecnologías de envasado activo, en las que se introducen ciertas sustancias que eliminan o generan estos gases y donde se puede controlar la permeabilidad del material de envase, para mantener una la atmósfera adecuada y conseguir una mejor conservación del alimento envasado (Anaya-Esparza et al., 2020). El envase activo es un concepto que se puede definir como un modo de envasado en el que el propio envase, el producto y la atmósfera interactúan para prolongar la vida útil y mejorar las propiedades de seguridad o sensoriales, manteniendo así la calidad del producto. Esta definición amplía el concepto de envase que pasa de ser un mero contenedor (envase pasivo) a desempeñar un papel activo en el mantenimiento o mejora de la calidad del alimento envasado (Mir et al., 2018).

Estos envases activos, según cómo se implementan, pueden clasificarse en dos grupos:

- a) El elemento activo se introduce en el interior del envase, como, por ejemplo, la introducción de hierro para eliminar el oxígeno residual en el envase o los absorbedores de etileno para eliminar el etileno producido por el producto durante su maduración.
- b) El elemento activo forma parte del material del envase, como por ejemplo envases en los que las paredes del contenedor están impregnadas en distintos tipos de sustancias antimicrobianas (Condori et al., 2023).

Y, a su vez, estos elementos activos se pueden dividir en dos grupos dependiendo su mecanismo de acción (Silva et al., 2018):

- a) Absorbentes, es decir, sistemas activos que se basan en la eliminación de un determinado producto del interior del envase, como son los absorbedores de etileno u oxígeno.
- b) Emisores, sistemas activos que actúan mediante la liberación de un determinado compuesto con propiedades beneficiosas para el producto envasado, como pueden ser los determinados compuestos con actividad antimicrobiana como son los aceites esenciales (AE).

3.2 AVANCES E INNOVACIONES EN EL USO DE SUSTANCIAS ABSORBENTES PARA ENVASES ACTIVOS

En los últimos años se han llevado a cabo multitud de estudios sobre el efecto del etileno en la maduración y poscosecha de los frutos climatéricos (Álvarez-Hernández et al., 2019; Cocetta y Natalini, 2022). Para las frutas climatéricas, altamente sensibles al etileno, encontrar nuevas estrategias para mantener la calidad inicial y prolongar la vida útil del producto durante el almacenamiento y el transporte es crucial para reducir las pérdidas del producto. Algunas tecnologías poscosecha basadas en la absorción o eliminación de etileno llevan en uso desde hace muchos años (Mahajan et al., 2014). Entre ellas, la tecnología más comúnmente utilizada son los captadores de etileno basados en permanganato de potasio ($KMnO_4$), un oxidante químico que oxida activamente el etileno en dióxido de carbono y agua (Almeida et al., 2020). Para promover esta reacción, es necesario acoplarlo con materiales adsorbentes de etileno, en particular, materiales porosos e inertes como arcillas, alúminas, gel de sílice, zeolitas y carbón activo (Álvarez-Hernández et al., 2020). Sin embargo, aunque el $KMnO_4$ es un compuesto efectivo en la captación de etileno, está demostrado que es altamente tóxico para el ser humano y para el medioambiente (Cavalli et al., 2010), de lo cual surge la necesidad de desarrollar

alternativas más sostenibles e igualmente de efectivas (Cocetta y Natalini, 2022). En este contexto, las nanoesponjas de ciclodextrina (CD-NS) pueden ser una opción válida, ya que son capaces de encapsular/adsorber pequeñas moléculas de gas como el oxígeno o etileno. Estas sustancias son polímeros de ciclodextrina reticulados y nanoestructurados dentro de una red tridimensional, además prácticamente no son tóxicos y son muy estables (Silva et al., 2019). Sus aplicaciones todavía están limitadas a la industria farmacéutica, pero, por sus características y coste reducido, los CD-NS se presentan como candidatos factibles para que la industria alimentaria las utilice para la encapsulación o la absorción de compuestos de bajo peso molecular (Cavalli et al., 2010).

3.3 AVANCES E INNOVACIONES EN EL USO DE SUSTANCIAS EMISORAS PARA ENVASES ACTIVOS

Por otro lado, los aceites esenciales (AE), que son mezclas complejas de sustancias aromáticas extraídas de plantas por medio de hidrodestilación, y los cuales son considerados como sustancias ‘GRAS’ (‘Generally Recognized As Safe’), han demostrado tener una alta actividad biológica, antimicrobiana, antioxidante y antifúngica (Buendía-Moreno et al., 2018). Su aplicación en frutas y hortalizas es también una estrategia comúnmente utilizada para minimizar las pérdidas debido al deterioro microbiológico ya que su eficacia en diferentes tipos de productos vegetales ha sido ampliamente estudiada (López-Gómez et al., 2020). Por ejemplo, la aplicación de una película nanofibrosa con aceite de canela encapsulado en fresas logró detener la pudrición fúngica durante 6 días más de almacenamiento a 21 °C (Wen et al., 2016). También se ha demostrado que, mediante un envase de cartón activo con mezcla de carvacrol, orégano y canela, se puede reducir la incidencia de descomposición en tomates del 15% al 2% tras un periodo de almacenamiento de 6 días a 8°C + 12 días a 25°C (Buendía-Moreno et al., 2020). El mecanismo de acción de este tipo de compuestos está asociado a su efecto negativo sobre la actividad microbiana, debido al contenido en compuestos fenólicos y terpenoides que presentan. Sin embargo, la eficacia de este tipo de sustancias va a depender de varios factores, como las características del microorganismo patógeno predominante, o las condiciones ambientales y fisicoquímicas (Gallegos-Flores et al., 2019) del producto sobre el que se aplican. También se ha comprobado un efecto sinérgico del componente principal (por ejemplo carvacrol) con el resto de componentes existentes en la matriz del AE (por ejemplo AE de orégano) (López-Gómez et al., 2020). Se han demostrado estas propiedades antimicrobianas sobre diferentes microorganismos patógenos, como mohos, levaduras y bacterias, en distintos tipos de productos frescos (Fasihi et al., 2017). Entre los AEs

utilizados, los de canela, orégano y mostaza, han demostrado una de las mejores actividades antimicrobianas contra los mohos patógenos más comunes en frutas y hortalizas (Clemente et al., 2016).

En los últimos años el uso de estos compuestos de origen natural y su incorporación en el envasado se ha convertido en un área de investigación importante (Sin et al., 2021). Sin embargo, su uso en la industria alimentaria, como aditivo, también ha tenido limitaciones, debido principalmente a las alteraciones que causan en los atributos sensoriales de los alimentos, lo cual no es aconsejable en el caso de la fruta, ya que su sabor y su aroma es de suma importancia para el consumidor. Con el fin de reducir este efecto, se están diseñando algunas estrategias como su uso a bajas concentraciones o en la utilización de estos aceites en fase de vapor, con el fin de conseguir minimizar sus alteraciones organolépticas en los alimentos hasta límites inapreciables (Buendía-Moreno et al., 2018; Becerril et al., 2020).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la eficacia de dos tipos de envasado activo en distintos tipos de fruta y hortaliza fresca, uno basado en la incorporación de sustancias absorbentes y, otro en el que se evaluará el efecto de compuestos emisores para prolongar la vida útil.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos planteados en este TFM son los siguientes:

1. Evaluar la eficacia de un absorbedor de etileno totalmente compostable, basado en la utilización de nanoesponjas de ciclodextrina (CD-NS) sintetizadas mediante un proceso libre de residuos y las cuales van dentro de un sobre elaborado con un biopolímero compostable y biodegradable, en dos frutas climatéricas como la nectarina y el melocotón, con el objetivo de mantener su calidad y prolongar su vida útil durante el almacenamiento y distribución.
2. Evaluar la eficacia de dos láminas de papel activo biobasado impregnadas con dos formulaciones diferentes a base de aceites esenciales de hojas de canela (*Cinnamomum cassia*) y orégano (*Origanum vulgare*), y que están concebidas para ser colocadas en el

cajón para productos frescos de la nevera del consumidor y prolongar la vida útil del tomate.

5. DISEÑO EXPERIMENTAL

5.1 DISEÑO EXPERIMENTAL EN FRUTAS DE HUESO

El material vegetal utilizado han sido frutos de melocotón y nectarina (*Prunus persica*) de las variedades ‘Extreme July’ y ‘Big Top’, respectivamente, con el siguiente diseño experimental:

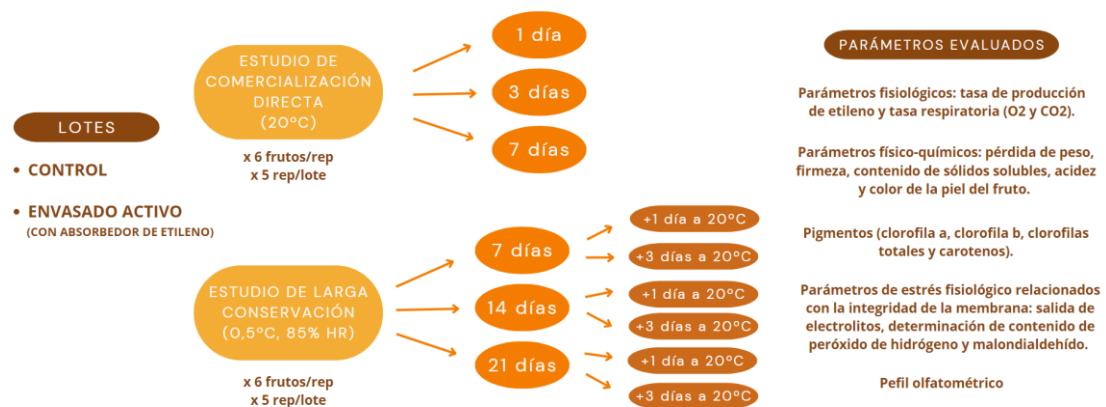


Figura 1. Diseño experimental en frutas de hueso.

5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL EN TOMATE

El material vegetal utilizado ha sido frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad ‘Iberiko’ y el diseño experimental ha sido planteado de la siguiente manera:

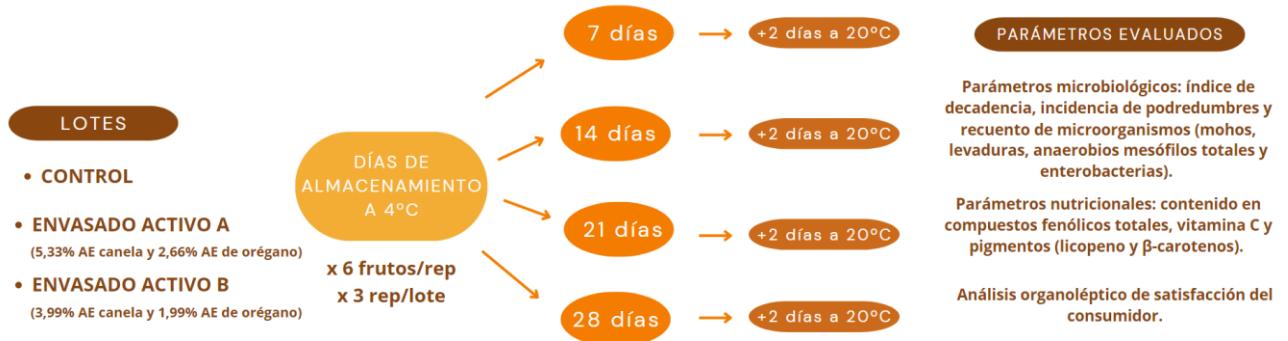


Figura 2. Diseño experimental en tomate.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN ABSORBEDOR DE ETILENO SOBRE LA VIDA ÚTIL DE MELOCOTÓN Y NECTARINA

6.1.1 MATERIAL VEGETAL Y PROTOCOLO DE ALMACENAMIENTO

Para este estudio se recolectaron frutos de nectarina (variedad ‘Big Top’) y melocotón (variedad ‘Extreme July’) (n=600 por variedad) en su momento de madurez comercial (según color y firmeza) de las parcelas experimentales de la Estación Experimental de Aula Dei-CSIC (Zaragoza, Aragón).

Una vez cosechados, se llevaron inmediatamente al laboratorio y se seleccionaron por su uniformidad de tamaño, ausencia de defectos y estado de madurez. Para ello, se utilizó un equipo comercial DA-Meter (TR Turoni, Forli, Italy) que permite preclasificar la fruta de forma no destructiva mediante espectroscopia Vis según el índice de diferencia de absorbancia (A670-A720) (Ziosi et al., 2008). Se seleccionaron los frutos según una madurez homogénea (basada en una distribución normal) para su posterior análisis y almacenamiento.

Posteriormente, las frutas seleccionadas (n=540 por variedad) se envasaron, en grupos de 6 frutos, en bolsas macroperforadas cerradas (8 perforaciones de 5mm de diámetro por bolsa para evitar la condensación). El absorbador de etileno compostable y relleno de nanoesponjas de ciclodextrinas (CD-NS) se colocó dentro de las bolsas en el caso de los lotes tratamiento, mientras que en los lotes control no se introdujo ningún absorbador.

6.1.2 PÉRDIDA DE PESO

Para determinar la pérdida de peso se monitorizó el peso de cada lote de forma periódica durante todo el periodo de almacenamiento, aplicándose posteriormente la siguiente fórmula (Zuo et al., 2021):

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

6.1.3 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ETILENO EN EL INTERIOR DEL ENVASE

La concentración de etileno (ppm) y el porcentaje de O₂ y CO₂ acumulados en el interior del envase activo se midió en cada uno de los 9 puntos de muestreo. Para ello, se tomaron muestras (1mL) en cada momento del muestreo de la atmósfera interior del envase. La cantidad de etileno se determinó mediante un cromatógrafo de gases portátil (F-900, Felix Instruments Inc., Washington, EE.UU.) y se expresó en ppm.

6.1.4 ACTIVIDAD RESPIRATORIA Y PRODUCCIÓN DE ETILENO

La producción de etileno y la actividad respiratoria de los frutos se midió en cada punto de muestreo durante la conservación. Para ello, se utilizó el denominado sistema ‘cerrado o estático’. Se colocaron 4 frutos de cada envase en recipientes cerrados herméticamente de un volumen de 2 o 3 litros durante 3 horas a 20°C.

Una vez transcurridas las 3h, se tomaron alícuotas (20 mL) de gas del espacio de cabeza de cada recipiente a través de un septum situado en la parte superior y se analizaron utilizando un analizador automático de gases PBI (Dansensor; Barcelona, España). En este caso, los resultados de tasa respiratoria se expresaron como mL de O₂ o CO₂ consumidos o producidos, respectivamente, por kilogramo de peso fresco y hora (mLkg. h). La tasa de producción de etileno se expresó como partes por millón de etileno producidos por kilogramo de peso fresco y hora (ppm/kg*h).

6.1.5 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

6.1.5.1 MEDIDA INSTRUMENTAL DEL COLOR

Los valores objetivos de color (L*, a*, b*) se midieron utilizando un espectrofotómetro portátil CM-2600d (Konica Minolta Sensing, Japón) que cubría el rango de longitudes de onda entre 360 y 740 nm. A partir de estas medidas se obtuvieron las coordenadas CIELab (L*, a* y b*), que forman parte de los parámetros CIE (Comisión Internationale del Éclairage) (Veitch, 2023). En este espacio de color, L* indica claridad y a* y b* son las coordenadas de cromaticidad, que indican direcciones de colores: +a* es la dirección del rojo, -a* es la dirección del verde, +b* es la dirección del amarillo y -b* es la dirección del azul, siendo el centro acromático. Todas las medidas de color se tomaron en dos caras opuestas de la zona ecuatorial de cada fruto. Se midieron todos los frutos de cada repetición (n=6).

6.1.5.2 FIRMEZA

La firmeza de la pulpa se midió de forma destructiva en dos caras opuestas de la zona ecuatorial de cada fruto con un penetrómetro digital de mano (Modelo 53205; Turoni, Forlì, Italia) equipado con un émbolo de 8 mm de diámetro, tras retirar una fina capa de piel de 1mm de espesor. Los resultados fueron expresados en Newton (N). Se midieron 6 frutos por repetición.

6.1.5.3 SST, TA E ÍNDICE DE MADUREZ

El contenido en sólidos solubles totales (SST) se midió en el jugo del fruto usando un refractómetro digital de mano (Atago, Tokio, Japón). La medida se realizó utilizando 2 gotas

de los zumos obtenidos a partir de los 6 frutos de cada réplica. Los resultados fueron expresados como °Brix.

El contenido de acidez titulable (TA), se determinó mediante la valoración del zumo elaborado con los 6 frutos de cada repetición, con una solución de hidróxido sódico 0,1 N, hasta alcanzar pH=8,1. Se usó un valorador automático Mettler Toledo Easy Plus Titration que proporcionó de forma automática el valor de acidez. Se realizó una determinación para cada repetición (5 repeticiones/lote) y los resultados fueron expresados como g de ácido málico por g de peso fresco.

Posteriormente, con los SST y la AT se calculó el índice de madurez mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de madurez} = \frac{\text{Sólidos solubles totales (°Brix)}}{\text{Acidez} \left(\frac{\text{g ácido málico}}{\text{g peso fresco}} \right)}$$

6.1.5.4 DETERMINACIÓN DE CLOROFILA (A, B Y TOTALES)

Para este análisis se trituraron 3 gramos de pulpa, obtenidos de los frutos que contenía cada repetición, y se homogeneizaron con 15mL de acetona al 80%. Posteriormente, las muestras se filtraron mediante filtros de Nylon de 30cm de diámetro y 0,45µm de tamaño de poro y se enrasaron con acetona al 80% hasta un volumen final de 100mL. La medida de la absorbancia a 645 y 663nm nos permitió calcular la concentración de clorofila a y clorofila b según la fórmula propuesta por Aguiló-Aguayo (2014), donde se obtuvieron los resultados expresados en mg/g de muestra fresca:

$$\text{clorofila } a = \frac{(12,3 * A663 - 0,86A645) * Vextracto (mL) * 100}{1000 * L (cm) * Masa muestra (g)}$$

$$\text{clorofila } b = \frac{(19,3 * A645 - 3,6 * A663) * Vextracto (mL) * 100}{1000 * L (cm) * Masa muestra (g)}$$

Posteriormente se calculó el contenido de clorofilas totales mediante la suma de la clorofila a y b y los resultados fueron expresados en mg/100g de muestra fresca. Se realizó una determinación para cada repetición (n=5/lote).

6.1.5.5 DETERMINACIÓN DE β-CAROTENOS

Para determinar la cantidad de β-carotenos, se trituraron los 6 frutos que contenía el lote, cogió 1 gramo de muestra y se homogeneizó con 50 mL de una solución Hexano:Acetona:Etanol en proporción 2:1:1. Posteriormente, se añadieron 15mL de agua

destilada, se agitó y se esperaron 20 minutos en frío (4°C) y oscuridad para obtener la separación de fases. Se retiró la hiperfase donde se hallaban los carotenos y se midió la absorbancia a 470nm. La concentración total se obtuvo a partir de la ecuación de la Ley de Beer-Lambert: $Abs = e * c * L$. Se realizó una determinación para cada repetición (5 rep/lote) y se consideró el β-caroteno como el caroteno mayoritario ($e = 122000 \text{ L/mol cm}$, $P.m = 536,8726 \text{ g/mol}$) por lo que se sustituyó en la ecuación anterior hasta obtener el resultado final como mg de equivalentes de β-caroteno/100g fruta, quedando la ecuación siguiente:

$$C (\text{mg/g}) = \frac{ABS * Pm \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) * V_{\text{extracto}} (\text{mL}) * Fd * 100}{e \left(\frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}} \right) * L * \text{masa muestra} (\text{g})}$$

6.1.6 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ASOCIADOS A DAÑOS ESTRUCTURALES EN LA MEMBRANA CELULAR

6.1.6.1 % SALIDA DE ELECTROLITOS

Este análisis se realizó según el método propuesto por Mao et al. (2007). Para ello, se obtuvieron 10 discos de piel de 11 milímetros de diámetro de la piel de los frutos de cada una de las 5 repeticiones por lote (2 discos/fruto). Estos discos fueron enjuagados tres veces con agua destilada. Posteriormente, se colocaron en 50 ml de agua destilada y se llevaron a agitación durante 30 minutos, tras lo que se midió con un conductímetro (Conductimeter GLP32, Crison, Barcelona), la conductividad inicial (C_0) de dicha solución. Tras la ebullición de los discos durante 10 minutos y su posterior enfriamiento a temperatura ambiente, se repitió la medida de la conductividad (C_1) de la solución. El análisis fue realizado en las cinco réplicas para cada uno de los tratamientos en cada día de análisis. La salida de electrolitos (%) se calculó siguiendo la siguiente fórmula:

$$\% \text{ salida de electrolitos} = \frac{C_0}{C_1} \times 100$$

6.1.6.2 CONTENIDO DE MALONDIALDEHÍDO (MDA)

El contenido de malondialdehído se determinó en 3 réplicas por lote en cada punto de muestreo. En primer lugar 2 gramos, obtenidos de la mezcla de los frutos triturados de cada réplica, se molieron en nitrógeno líquido y se extrajeron en 10% (p/v) ácido tricloroacético (TCA). Despues de la centrifugación a 10.000 rpm durante 15 min, se mezcló una alícuota de 2 ml del sobrenadante con 2 ml de solución al 10% (p/v) TCA que contenía 0,6% (p/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) y luego fue sometido a calentamiento hasta 100 °C durante 20 min, enfriamiento rápido y centrifugación a 10.000 rpm durante 10 min. El sobrenadante fue recogido y la absorbancia se registró a 532, 600 y 450 nm.

La medida de la absorbancia del sobrenadante obtenido a 532, 600 y 450 nm nos permitió calcular la concentración de MDA aplicando la siguiente fórmula (Sharma y Sharma, 2016):

$$\text{Contenido de MDA } \left(\frac{\text{nmol}}{\text{g}} \right) = [6,45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0,56 \times A_{450}] \times \frac{V_t \times V_r}{V_s \times m}$$

Donde los valores de A_{532} , A_{600} y A_{450} son las absorbancias medidas a esas longitudes de onda, V_t es el volumen en L de la solución de extracción, V_r es el volumen en L de la solución de reacción, V_s es el volumen en L del sobrenadante tomado de la solución de extracción y m es la masa de muestra utilizada en kg. El contenido de malondialdehído en la fruta se expresó como nmol/g fruta

6.1.6.3 CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H_2O_2)

La concentración de H_2O_2 en las muestras se determinó con el kit comercial H_2O_2 -560 de Bioxytech. La técnica para la determinación de H_2O_2 de este kit está basada en la oxidación de ion ferroso (Fe^{2+}) a ion férrico (Fe^{3+}) y peróxido de hidrógeno bajo condiciones ácidas. El ion férrico se une con el indicador Xylenol Orange para formar una forma estable y coloreada que se puede medir a una absorbancia de 560 nm. Para ello, se tomaron 2,5 g de un homogenado de las frutas de una repetición triturado con N_2 líquido y se homogeneizaron en 5mL de ácido tricloroacético (TCA) en un mortero. Las muestras se filtraron a través de dos capas de Miracloth (Textil Planas Oliverassa, Manresa, Spain) y fueron centrifugadas a 20000 rpm durante 15 minutos a 4°C. Posteriormente, se recogió el sobrenadante y se añadieron 25 μl del extracto junto con 250 μl del reactivo de trabajo (H_2SO_4 , sorbitol y Xilenol Orange) y se midió la absorbancia a 560nm. Los resultados fueron expresados como H_2O_2 $\mu\text{mol/kg}$ de peso de fruta fresca.

6.1.7 ANÁLISIS DEL PERFIL OLFACTOMÉTRICO

Para analizar el perfil olfactométrico en cada punto de muestreo se congelaron 100g de pulpa de fruta por lote y se homogeneizaron con 30g de sal, almacenándose posteriormente a -80°C hasta su evaluación. Para su análisis, 7g de la pulpa homogeneizada de cada lote, se introdujeron en viales de vidrio con capacidad de 15 ml y cierre de rosca (Supelco). El vial se acondicionó durante 20 minutos a 50°C y posteriormente se expuso la fibra en el vial durante 40 minutos a 50°C con una agitación de 250 rpm. Para el análisis olfactométrico se utilizó un cromatógrafo de gases Hewlett-PackardHP 4890 A (Agilent Technologies) provisto de un detector FID (Flame Ionization Detector) y un puerto olfactómetro con nariz de vidrio. Los compuestos volátiles se separaban en una columna capilar DB-WAX (polietilenglicol), de

dimensiones 30m x 0,32mm de diámetro y 0,5μm de espesor de fase, unida a una precolumna de 3m y 0,32mm de diámetro, ambas de J&W Sceintific (Folsom, CA). Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: H₂ como gas portador (3,5mL/min); inyección esplitless; temperatura de inyector y detector 220°C. El programa del horno fue de 40°C durante 5 minutos, seguido de una rampa de temperatura de 5°C/minuto hasta alcanzar 220°C, temperatura final que se mantuvo durante 10minutos.

Las olfatometrías se realizaron en las instalaciones de la Universidad de Zaragoza y fueron realizadas por tres jueces entrenados en la detección de aromas en frutas para cada lote (n=3). Para cada producto, los jueces debieron indicar el tiempo al que cada aroma era detectado, la descripción del mismo, así como una estimación de la intensidad en una escala de 0,5 (leve) a 3 (muy intenso). Posteriormente, se calculó el parámetro denominado frecuencia modificada (FM), el cual se calcula a través de la siguiente fórmula propuesta por Dravnieks et al (1985):

$$FM(\%) = [F(\%)^2 \times I(\%)^2]^{1/2}$$

Donde F (%) es la frecuencia de detección de una zona odorante expresado como porcentaje del número total de jueces, e I (%) es la intensidad media expresada como porcentaje de la intensidad máxima.

6.2 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UNA LÁMINA DE PAPEL IMPREGNADA CON DOS FORMULACIONES DISTINTAS DE ACEITES ESENCIALES SOBRE LA VIDA ÚTIL DE TOMATE

6.2.1 MATERIAL VEGETAL Y PROTOCOLO DE ALMACENAMIENTO

Para este estudio se utilizaron frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*, variedad 'Iberiko') (n=500) recién cosechadas y provenientes de Murcia. Los frutos llegaron al laboratorio al día siguiente de ser cosechados.

Una vez llegados al laboratorio, se seleccionaron por su uniformidad de tamaño, ausencia de defectos y estado de madurez y se seleccionaron los frutos según una madurez homogénea medida con DAmeter (basada en una distribución normal) para su posterior análisis y almacenamiento. Posteriormente, los frutos seleccionados (n=486) se envasaron en lotes de 6 frutos, en 81 recipientes de plástico con tapa, simulando el cajón de frutas y verduras del frigorífico.

En los lotes de tratamiento, se utilizaron dos tipos de papeles antifúngicos impregnados en una mezcla de aceites esenciales de canela/orégano al 66.6/33.3% respectivamente. Después

esa mezcla se aplicó al 8% o al 6% en los papeles, quedando una composición final de los papeles de la siguiente manera:

- en el caso del papel al 8%: 5.33 % de AE de canela y 2.66% de orégano (PAPEL A).
- en el caso del papel al 6%: 3.99% de AE de canela y 1.99% de AE de orégano (PAPEL B).

Cada papel tenía unas dimensiones de 10x20 cm, y en cada uno de ellos se aplicó una capa de 120 µm de la solución de aceites.

Los dos papeles antifúngicos diferentes (A y B) se colocaron en los envases de los lotes tratamiento correspondientes, mientras que en los lotes control no se introdujo ningún papel, y se prosiguió con el diseño experimental detallado en el punto 3.2.

6.2.2 INCIDENCIA DE PODREDUMBRES

La incidencia de podredumbres fúngicas se midió siguiendo el método propuesto por Badawy y Rabea (2009), con algunas modificaciones:

$$\text{Incidencia daños por podredumbre (\%)} = \left(\frac{\text{número de tomates infectados}}{N} \right) \times 100$$

donde N = número de frutos totales analizados en cada tratamiento por día.

6.2.3 ÍNDICE DE DECADENCIA

El índice de decadencia se evaluó visualmente según la metodología propuesta por Perdones et al. (2012) siguiendo la escala visual de la Figura 2. Los resultados de presencia de hongos, daño mecánico y deterioro físico de la piel se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de decadencia} = (1n + 2n + 3n + 4n)/N$$

donde n = número de frutos clasificados en cada nivel de la escala de daño y N = número de frutos totales analizados en cada tratamiento por día.



Figura 3. Escala visual de daños utilizada para calcular el índice de decadencia del tomate, donde (a) ningún daño (0% de daño), (b) daño leve (10%-15% de daño), (c) daño moderado (25%-50% daño), y (d) daño severo (>50% de daño).

6.2.4 RECUENTO MICROBIOLÓGICO

Un fruto de cada repetición se introdujo en una bolsa estéril con el mismo peso del fruto en mL de agua de peptona tamponada (0,1%) y se masajeó cuidadosamente durante 3 minutos para arrastrar toda la carga de microorganismos existente en la superficie del fruto. Una vez obtenida el agua de peptona con la carga microbiológica del tomate se realizaron 5 diluciones en serie de 10 veces en agua de peptona tamponada. Posteriormente, se vertieron alícuotas (0,1 ml) de las diluciones microbianas, en superficie, en medios de DRBC para mohos y levaduras, y PCA para el recuento de anaerobios mesófilos totales y, por último, alícuotas de 1ml en masa de doble capa en medios VRBG para el recuento de enterobacterias. Los tiempos de incubación fueron 24h a 30°C para enterobacterias, 48h a 25°C para mohos y levaduras y 72h a 30°C para anaerobios mesófilos totales. Los resultados se obtuvieron mediante el conteo en placa de las 5 diluciones para cada réplica. Se realizaron 3 réplicas por lote y los resultados se expresaron como log de unidades formadoras de colonias (UFC) g ⁻¹.

6.2.5 PARÁMETROS NUTRICIONALES

6.2.5.1 DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

La determinación de la concentración de compuestos fenólicos totales se realizó según el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y Rossi (1965) y posteriormente modificado por Singleton, Orthofer y Lamuela-Raventos (1999). Se homogeneizaron 5 g de muestra, provenientes de un homogeneado de todos los frutos que formaban cada réplica, con 10 ml de etanol:agua 80:20 (v:v) en ultraturrax (Yellowline DI 25 basic, 18 Schott, Barcelona). Posteriormente, este homogeneizado fue centrifugado a 4000 rpm durante 15 minutos a 4°C. El sobrenadante fue filtrado mediante filtros de 0,45 µm (Chromafil Xtra PA, Alemania) constituyendo así el extracto fenólico.

Para la cuantificación de los compuestos fenólicos, se tomó 1 ml del extracto, se añadió 1 ml del reactivo Folin-Ciocalteu y se agitó durante 5 minutos. Posteriormente, se añadió 1 ml Na₂CO₃ al 7,5% y 7 ml de agua destilada. La mezcla obtenida se incubó durante 60 minutos en oscuridad a temperatura ambiente, tras lo cual, se procedió a la medida de la absorbancia a una longitud de onda de 760 nm (Jenway 7205, Stone, Reino Unido). Los resultados obtenidos se interpolar sobre una curva de calibrado elaborada a partir de diferentes concentraciones de ácido gálico (0-200 mg/L). Se realizaron 3 réplicas por lote y los resultados obtenidos se expresaron en mg de ácido gálico/100 g de peso de la muestra.

6.2.5.2 DETERMINACIÓN DE VITAMINA C

El método que se utilizó fue la titulación con 2,6-diclorofenolindofenol el cual se basa en el poder reductor del ácido ascórbico. Se realizaron 3 réplicas por lote.

Se transfirieron a un mortero 10 g de tomate provenientes de un homogenado con todos los frutos de cada réplica, y 5 g de arena de mar lavada. Se añadieron 10 mL de ácido acético al 5% y se maceró hasta que la muestra fue homogénea. Posteriormente, se filtró a través de una doble gasa colocada en un embudo sobre un Erlenmeyer de 100 mL. Se lavó y arrastró el mortero y la gasa 2-3 veces con un total de 40 mL de ácido acético 5%. La gasa se lavó con agua destilada hasta un volumen final de 100 mL, en el matraz aforado y se transfirió a un Erlenmeyer de 100 mL. La disolución se tituló con la solución de diclorofenolindofenol. Por último, se calculó la cantidad de ascórbico en mg en los 10 g de la muestra utilizando la curva patrón obtenida anteriormente y los resultados fueron expresados en mg por 100 g de tomate.

6.2.5.3 DETERMINACIÓN DE LICOPENO Y β -CAROTENO

La determinación del licopeno y betacaroteno se llevó a cabo mediante el método desarrollado por Fish et al. 2002, modificando la cantidad de tomate pesada.

Se trocearon con un cuchillo 10 g de tomate, provenientes de todos los frutos de cada réplica, y se pesaron en el tubo falcón de vidrio 1 g de tomate. Posteriormente, bajo campana, se añadieron 50 mL de solución Hexano:Acetona:Etanol en proporción 2:1:1 (mediante una probeta) al tubo falcón de vidrio. Se homogeneizó el tomate con un ultraturrax durante un minuto. Una vez triturado, se añadieron 15 mL de agua destilada y se mezcló manualmente mediante agitación de 5 a 10 segundos. Posteriormente, se introdujo el tubo en hielo y se tapó la boca con papel de aluminio (para proteger de la luz). Se esperaron 20 minutos para que se separasen las fases, obteniendo en la zona superior del tubo la fase del hexano con los carotenoides, y en el fondo del tubo el agua con el etanol y la acetona. La actividad se determinó midiendo la absorbancia a 503 nm en un espectrofotómetro realizando previamente un blanco con hexano, y utilizando cubetas de cuarzo. Para calcular la cantidad de licopeno en tomate se utilizó la Ley de Beer-Lambert:

$$Abs = \varepsilon \times l \times C$$

Ancho de la cubeta (L): 1 cm; Coeficiente de extinción molar del licopeno (ε): 17,2 x 104 L/mol*cm; Peso molar licopeno: 536,873 gramos/mol. Los resultados fueron expresados como mg de licopeno en 100 g de tomate.

Para la determinación de betacaroteno se midió la absorbancia a 470nm y la concentración total se obtuvo de nuevo a partir de la ecuación de la Ley de Beer-Lambert. Los resultados fueron expresados como mg de betacarotenos en 100 g de tomate.

6.2.6 EVALUACIÓN SENSORIAL

Para la evaluación de consumidores, las muestras de tomate se evaluaron después de 7, 14 y 21 días de almacenamiento en frío a 4 °C, más 2 días a 20°C. Se colocaron muestras de frutos control y almacenados con los papeles antifúngicos en platos blancos y se presentaron inmediatamente a un panel de, al menos, 30 consumidores. Los tomates se cortaron longitudinalmente en 8 gajos con piel siempre del mismo tamaño (aprox. 1,5 cm). Los consumidores fueron voluntarios del personal que trabaja en el Campus Aula Dei (Zaragoza). Cada pieza fue identificada mediante un código aleatorio de tres dígitos y el orden de presentación de las piezas presentadas fue aleatorizado para cada catador. Se utilizó agua mineral como limpiador del paladar entre catas. Cada consumidor evaluó todas las muestras y se le pidió que indicara su grado de agrado o desagrado y la apariencia externa usando una escala hedónica de 9 puntos (1 = no me gusta mucho a 9 = me gusta extremadamente). También se evaluó la firmeza, jugosidad, harinosidad, sabor e intensidad del aroma con una escala hedónica de 9 puntos (1 = ninguna percepción a 9 = percepción muy fuerte de cada atributo).

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados se realizó utilizando el software Pad Prism 8.4.2. (GraphPad, Boston, EE. UU.). Las diferencias en los valores medios se analizaron con un ANOVA (Análisis de varianza) de una vía y se separaron mediante la prueba de diferencia significativa de Tukey ($p < 0,05$).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 ENVASES ACTIVOS BASADOS EN LA INCORPORACIÓN DE ABSORBEDORES DE ETILENO

7.1.1 EFECTO SOBRE EL METABOLISMO Y FISIOLOGÍA DEL FRUTO

La madurez es un proceso fisiológico, bioquímico e irreversible que ocurre en las frutas y hortalizas. La presencia de etileno aumenta la actividad metabólica, acelerando su maduración y senescencia. Los frutos climatéricos tienen la capacidad de producir grandes cantidades endógenas de etileno durante su etapa de maduración (Ruiz et al., 2019). Este pico en la producción de etileno está relacionado además con un fuerte incremento de la actividad respiratoria.

7.1.1.1 INFLUENCIA DEL ENVASADO ACTIVO EN EL ACÚMULO DE ETILENO EN EL INTERIOR DE LOS ENVASES

El acumulo de etileno en el interior de los envases fue aumentando durante el tiempo de almacenamiento (Fig. 4), tanto en el estudio llevado a cabo simulando una frigoconservación prolongada como cuando se llevó a cabo el estudio de simulación de la comercialización directa a 20°C. En el estudio llevado a cabo a 0,5°C, el efecto del absorbé dor fue efectivo durante todo el tiempo de almacenamiento. A partir del día 7, se observó un acúmulo de hasta 6,2 ppm en los envases control (sin absorbé dor). Sin embargo, en los envases en los que se había incorporado el absorbé dor CD-NS la cantidad de C₂H₄ no superó los 4,6 ppm. En el caso del estudio realizado a 20°C, se observó un notable aumento de la cantidad de C₂H₄ tras el tercer día de almacenamiento, tanto en los envases control como en los envases activos. Otros estudios como el de Balaguera-López et al., (2015), estudiaron el efecto de un absorbé dor de etileno compuesto de KMnO₄ en plátanos y vieron que a concentraciones entre 0,1 a 100 µL/L a 20-25°C, el absorbé dor era capaz de bloquear la acción del etileno en los plátanos envasados.

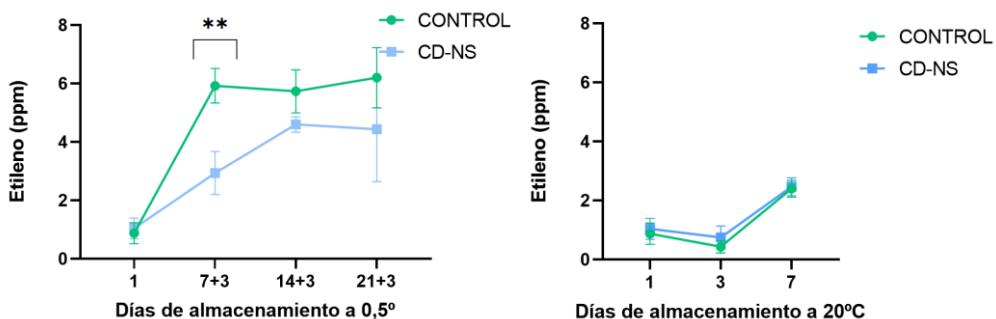


Figura 4. Efecto del envasado activo (CD-NS) en el acúmulo de etileno en el interior de los envases de melocotón almacenados a 0,5°C (izquierda) + 3 días a 20°C y a 20°C (derecha).

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas a p<0,05, p<0,01 y p<0,001, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.1.1.2 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE LOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DEL FRUTO

7.1.1.2.1 PRODUCCIÓN DE ETILENO

La nectarina mostró una producción de C₂H₄ mayor que el melocotón. En el estudio de vida útil llevado a cabo en refrigeración, la producción de C₂H₄ en el caso de la nectarina llegó a ser de 30 µL/kg h en el último día de conservación. Sin embargo, la máxima concentración observada en el melocotón fue de unos 10 µL/kg h, 3 veces menos. En ambos casos, las frutas control presentaron una mayor producción de C₂H₄, que los frutos envasados en el envase activo, aunque no en todos los casos, estas diferencias resultaron ser significativas. En el caso

del estudio de larga conservación, se comprobaron diferencias significativas entre los melocotones del envase control y los envasados con la sustancia activa. En este caso, a los 7 días de almacenamiento los frutos control produjeron una cantidad de 5,92 $\mu\text{l/kg}^*\text{h}$, mientras que los frutos envasados con CD-NS mostraron una producción de 2,94 $\mu\text{l/kg}^*\text{h}$. Sin embargo, en la nectarina, el efecto fue más notable en el estudio desarrollado a 20°C, simulando una comercialización directa. En este caso la presencia de las sustancias activas logró ralentizar el metabolismo de la fruta disminuyendo su producción de etileno. Tras 7 días de almacenamiento, los frutos en envases activos mostraron una producción de 22,38 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg}^*\text{h}$, respecto a los 28,13 $\mu\text{l C}_2\text{H}_4/\text{kg}^*\text{h}$ producidos por los frutos control. Estos resultados han sido mostrados por otros autores como Vilela et al (2018), quienes evaluaron la influencia de una película compuesta de quitosano y dióxido de titanio sobre la captación de etileno en tomates, y observaron que los nanocomuestos conseguían ralentizar el proceso de maduración en estos frutos obteniendo menores tasas de producción de etileno que los frutos que no contenían el envasado activo. Otros autores (Ruiz y Puente, 2020), han demostrado que la presencia de etileno exógeno en concentraciones determinadas, es capaz de acelerar la producción del enzima pectinmetilesterasaasa y la hidrólisis de los componentes de la pared celular, como la celulosa, los glicanos y la pectina, reduciendo el contenido de fibra y, por lo tanto, degradando la pared, y provocando un mayor ablandamiento del fruto.

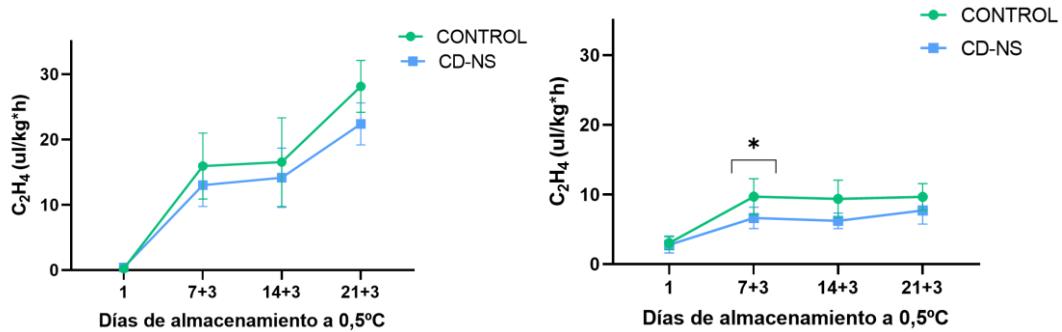


Figura 5. Efecto del envasado activo (CD-NS) en la producción de etileno de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 0,5°C + 3 días a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

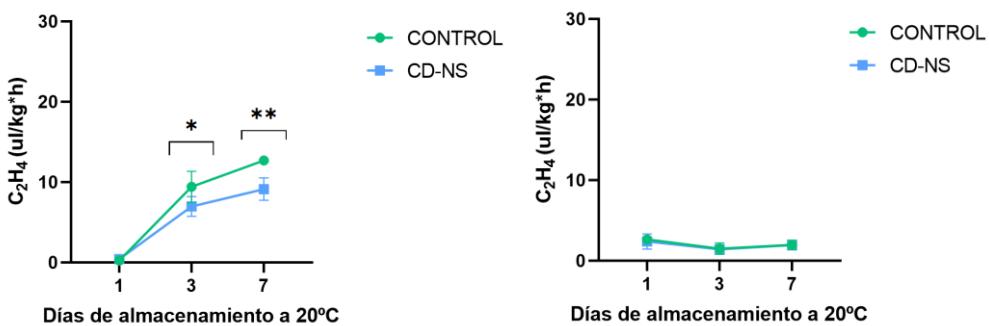


Figura 6. Efecto del envasado activo (CD-NS) en la producción de etileno de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.1.1.2.2 ACTIVIDAD RESPIRATORIA

La respiración depende de numerosos factores como el estado de desarrollo de los frutos, el tamaño, la temperatura, la composición atmosférica, la presencia de etileno exógeno, etc.

De manera similar a la producción de etileno, la presencia del absorbédo de C_2H_4 en los envases, influyó de forma significativa sobre el metabolismo respiratorio de los frutos, tanto en nectarina como en melocotón. El efecto se observó tanto en el estudio a cabo a $0,5^\circ C$ como a $20^\circ C$.

En ambos casos se observó una mayor producción de CO_2 en los lotes control. Aunque en los frutos de nectarina no se vieron diferencias significativas, los frutos de melocotón sí que mostraron diferencias tras el día 7 de almacenamiento, donde los melocotones control mostraron una AR de 40,29 mL de $CO_2/kg \cdot h$, mientras que los melocotones con CD-NS produjeron 30,00 mL de $CO_2/kg \cdot h$. Igualmente, en el último día de almacenamiento (día 21), los frutos control presentaron una cantidad de 27,33 mL de $CO_2/kg \cdot h$ mientras que los frutos envasados con CD-NS (20,18 mL de $CO_2/kg \cdot h$). En el estudio de comercialización directa, aunque no hubo diferencias significativas, la producción de CO_2 de los frutos control también fue ligeramente mayor en ambas variedades a lo largo de todo el tiempo de almacenamiento a $20^\circ C$.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por otros autores, como Vélez et al., (2007), que evaluaron la efectividad de la presencia de absorbédores de etileno para prolongar la vida útil de plátanos y, observaron que, tras un periodo de almacenamiento de 10 días, la cantidad de CO_2 producida por los frutos disminuía con la presencia del absorbédo de 33,14mL/kg*h a 24,48mL/kg*h.

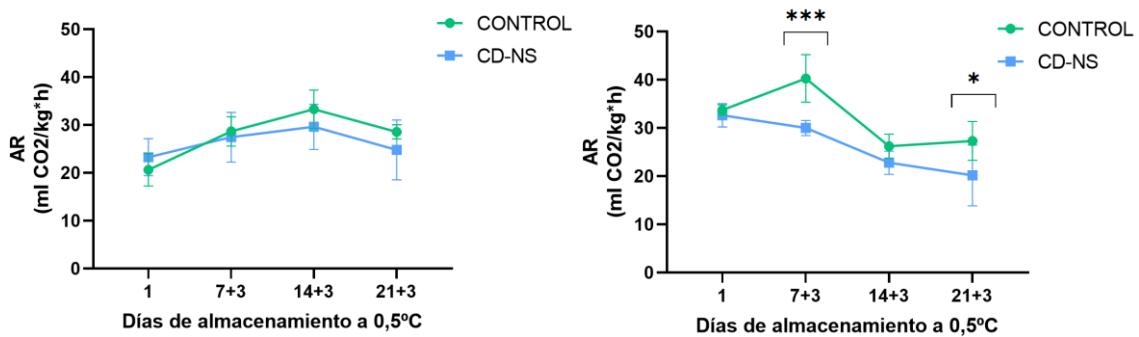


Figura 7. Efecto del envasado activo (CD-NS) en la actividad respiratoria de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 0,5°C + 3 días a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

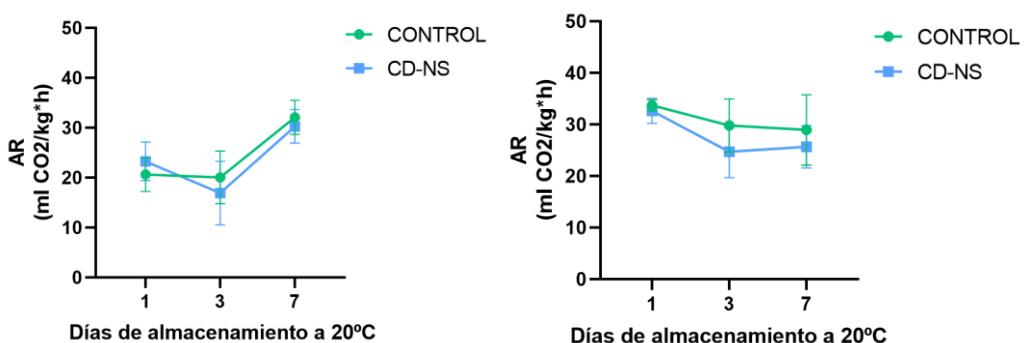


Figura 8. Efecto del envasado activo (CD-NS) en la actividad respiratoria de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.1.2 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL FRUTO

Los parámetros físico-químicos de las frutas y hortalizas se ven afectados por los cambios fisiológicos que sufre el fruto durante la maduración y senescencia. El fruto se ablanda, aparecen cambios en el color, degradación de la clorofila, el contenido de sólidos solubles aumenta y la acidez normalmente disminuye (en función del tipo de producto) (Torres et al., 2013). Por lo tanto, evaluar los parámetros físico-químicos del fruto, es clave a la hora de determinar el estado de madurez del fruto, así como de analizar la mayor o menor eficacia de las diferentes técnicas poscosecha empleadas para prolongar la vida útil de frutas y hortalizas. En las tablas 1 y 2 se muestra el efecto del envasado activo sobre los parámetros físico-químicos en nectarina y melocotón, respectivamente.

Tabla 1. Efecto del envasado activo sobre la pérdida de peso, firmeza, contenido de sólidos solubles (SST), acidez titulable (AT), índice de madurez y coordenadas de color de la piel del fruto (L^* , a^* , b^*) en frutos de nectarina almacenados a 20°C y 0,5°C.

Condiciones de almacenamiento	Envase	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	SST (°Brix)	AT (g ác.málico/kg fruta)	Índice madurez (°Brix/acidez)	L^*	a^*	b^*
Estudio de comercialización directa									
1día/20°C	Control	0,00 ± 0,00 ^a	2,53 ± 0,84 ^a	10,74 ± 0,59 ^a	5,31 ± 0,29 ^a	2,02 ± 0,13 ^a	33,83 ± 1,25 ^a	32,27 ± 1,56 ^a	13,06 ± 1,57 ^a
	CD-NS	0,00 ± 0,00 ^a	2,30 ± 0,58 ^a	11,12 ± 0,28 ^a	5,01 ± 0,37 ^a	2,13 ± 0,14 ^a	33,18 ± 1,07 ^a	29,12 ± 2,1 ^a	11,52 ± 1,59 ^a
	Control	0,54 ± 0,11 ^a	0,85 ± 0,73 ^a	10,66 ± 0,39 ^a	5,06 ± 0,25 ^a	2,11 ± 0,13 ^a	34,40 ± 1,80 ^a	31,55 ± 2,73 ^a	13,71 ± 2,55 ^a
	CD-NS	0,50 ± 0,06 ^a	1,07 ± 0,82 ^a	10,57 ± 0,42 ^a	5,51 ± 0,30 ^b	1,92 ± 0,11 ^a	35,04 ± 1,49 ^a	32,59 ± 2,04 ^a	14,52 ± 2,12 ^a
	Control	0,91 ± 0,22 ^a	0,29 ± 0,04 ^a	10,48 ± 0,39 ^a	5,13 ± 0,07 ^a	2,04 ± 0,08 ^a	34,69 ± 0,92 ^a	30,17 ± 1,39 ^a	13,98 ± 2,62 ^a
	CD-NS	0,94 ± 0,22 ^a	0,31 ± 0,05 ^a	10,46 ± 0,36 ^a	5,29 ± 0,22 ^a	1,98 ± 0,12 ^a	34,54 ± 1,47 ^a	31,40 ± 2,63 ^a	13,88 ± 2,33 ^a
Estudio de larga conservación									
7días/0,5°C+1día/20°C	Control	1,45 ± 0,44 ^a	3,83 ± 0,15 ^a	11,20 ± 0,52 ^a	4,68 ± 0,33 ^a	2,41 ± 0,25 ^a	35,19 ± 1,78 ^a	29,18 ± 2,21 ^a	14,29 ± 2,03 ^a
	CD-NS	1,61 ± 0,51 ^a	3,71 ± 0,32 ^a	11,16 ± 1,14 ^a	4,72 ± 0,29 ^a	2,37 ± 0,34 ^a	36,11 ± 0,53 ^a	30,98 ± 0,68 ^a	15,10 ± 0,82 ^a
	Control	1,53 ± 0,08 ^a	0,43 ± 0,05 ^a	11,44 ± 0,57 ^a	3,96 ± 0,12 ^a	2,89 ± 0,18 ^a	26,65 ± 1,09 ^a	33,47 ± 2,15 ^a	10,47 ± 1,93 ^a
	CD-NS	1,67 ± 0,04 ^a	0,53 ± 0,05 ^a	11,16 ± 0,36 ^a	4,06 ± 0,21 ^a	2,76 ± 0,21 ^a	28,24 ± 0,83 ^a	35,74 ± 2,06 ^a	12,49 ± 1,90 ^a
14días/0,5°C+1día/20°C	Control	1,91 ± 0,06 ^a	2,68 ± 0,36 ^a	10,20 ± 0,43 ^a	3,99 ± 0,24 ^a	2,57 ± 0,22 ^a	35,22 ± 1,12 ^a	31,20 ± 0,92 ^a	13,40 ± 1,38 ^a
	CD-NS	2,08 ± 0,07 ^a	2,83 ± 0,65 ^a	9,92 ± 0,32 ^a	4,47 ± 0,23 ^b	2,22 ± 0,11 ^a	36,32 ± 1,53 ^a	31,77 ± 1,04 ^a	14,31 ± 1,85 ^a
	Control	2,50 ± 0,07 ^a	0,54 ± 0,07 ^a	10,90 ± 0,51 ^a	4,11 ± 0,28 ^a	2,67 ± 0,30 ^a	33,73 ± 0,95 ^a	29,31 ± 2,04 ^a	11,53 ± 1,45 ^a
	CD-NS	2,64 ± 0,10 ^a	0,50 ± 0,05 ^a	10,98 ± 0,79 ^a	4,30 ± 0,19 ^a	2,56 ± 0,21 ^a	34,11 ± 0,71 ^a	27,90 ± 0,88 ^a	11,23 ± 0,91 ^a
21días/0,5°C+1día/20°C	Control	3,00 ± 0,06 ^a	3,56 ± 0,87 ^a	10,99 ± 0,45 ^a	4,15 ± 0,28 ^a	2,65 ± 0,13 ^a	33,41 ± 1,57 ^a	28,39 ± 2,67 ^a	11,25 ± 2,40 ^a
	CD-NS	3,07 ± 0,07 ^a	3,06 ± 0,49 ^a	11,02 ± 0,34 ^a	4,29 ± 0,17 ^a	2,57 ± 0,15 ^a	34,29 ± 1,75 ^a	29,53 ± 1,63 ^a	12,05 ± 2,05 ^a
	Control	3,78 ± 0,07 ^a	0,52 ± 0,02 ^a	10,82 ± 0,40 ^a	4,01 ± 0,29 ^a	2,71 ± 0,28 ^a	33,62 ± 0,89 ^a	29,72 ± 1,57 ^a	11,79 ± 1,24 ^a
	CD-NS	3,75 ± 0,08 ^a	0,55 ± 0,08 ^a	11,18 ± 0,63 ^a	4,06 ± 0,17 ^a	2,76 ± 0,25 ^a	34,83 ± 1,29 ^a	29,29 ± 2,07 ^a	12,75 ± 2,04 ^a

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p<0,05$) entre condiciones de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey

Tabla 2. Efecto del envasado activo sobre la pérdida de peso, firmeza, contenido de sólidos solubles (SST), acidez titulable (AT), índice de madurez y coordenadas de color de la piel del fruto (L^* , a^* , b^*) en frutos de melocotón almacenados a 20°C y 0,5°C.

Condiciones de almacenamiento	Envase	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	SST (°Brix)	AT (g ác.málico/kg fruta)	Índice madurez (°Brix/acidez)	L^*	a^*	b^*	
Estudio de comercialización directa	1día/20°C	Control	0,00 ± 0,00 ^a	2,83 ± 0,19 ^a	12,86±0,34 ^a	5,98±0,43 ^a	2,16 ± 0,19 ^a	68,62 ± 1,22 ^a	11,66 ± 1,07 ^a	44,58 ± 1,08 ^a
		CD-NS	0,00 ± 0,00 ^a	2,63 ± 0,32 ^a	12,94±0,75 ^a	6,17±0,46 ^a	2,11 ± 0,21 ^a	68,83 ± 0,85 ^a	11,58 ± 0,92 ^a	43,85 ± 1,82 ^a
	3días/20°C	Control	0,32 ± 0,09 ^a	1,72 ± 0,33 ^a	11,86±0,99 ^a	5,70±0,54 ^a	2,11 ± 0,38 ^a	66,29 ± 2,48 ^a	15,23 ± 1,69 ^a	40,23 ± 4,82 ^a
		CD-NS	0,35 ± 0,02 ^a	2,33 ± 0,35 ^b	11,93±0,84 ^a	5,79±0,39 ^a	2,07 ± 0,21 ^a	68,11 ± 1,88 ^a	14,01 ± 1,05 ^a	40,26 ± 4,71 ^a
	7días/20°C	Control	0,40 ± 0,03 ^a	2,30 ± 0,23 ^a	11,96±1,38 ^a	5,76±0,39 ^a	2,27 ± 1,91 ^a	60,96 ± 1,13 ^a	21,17 ± 1,52 ^a	34,89 ± 2,39 ^a
		CD-NS	0,43 ± 0,05 ^a	1,85 ± 0,42 ^a	11,40±1,32 ^a	6,19±0,19 ^a	1,21 ± 1,06 ^a	65,35 ± 1,28 ^b	17,79 ± 1,53 ^b	38,32 ± 1,47 ^b
	7días/0,5°C+1día/20°C	Control	0,59 ± 0,03 ^a	1,65 ± 0,12 ^a	12,00±0,58 ^a	6,20±0,32 ^a	1,94 ± 0,13 ^a	67,66 ± 2,00 ^a	14,35 ± 2,02 ^a	40,42 ± 3,06 ^a
		CD-NS	0,63 ± 0,05 ^a	1,92 ± 0,27 ^a	11,88±0,17 ^a	6,47±0,44 ^a	1,84 ± 0,12 ^a	65,62 ± 1,70 ^a	16,85 ± 2,40 ^a	38,61 ± 1,69 ^a
		Control	1,24 ± 0,04 ^a	1,38 ± 0,67 ^a	12,60±0,55 ^a	5,02±0,37 ^a	2,53 ± 0,28 ^a	68,01 ± 2,61 ^a	13,80 ± 1,58 ^a	43,96 ± 2,26 ^a
		CD-NS	1,27 ± 0,08 ^a	1,21 ± 0,30 ^a	12,53±0,89 ^a	5,13±0,14 ^a	2,45 ± 0,21 ^a	66,24 ± 1,76 ^b	15,80 ± 0,77 ^a	38,00 ± 2,13 ^b
	14días/0,5°C+1día/20°C	Control	1,99 ± 0,04 ^a	2,56 ± 0,26 ^a	12,77±0,27 ^a	4,81±0,17 ^a	2,66 ± 0,09 ^a	69,35 ± 0,90 ^a	11,38 ± 0,50 ^a	37,12 ± 1,99 ^a
		CD-NS	2,03 ± 0,09 ^a	2,31 ± 0,18 ^a	11,51±0,41 ^b	4,89±0,30 ^a	2,36 ± 0,15 ^a	67,13 ± 0,97 ^a	13,00 ± 0,62 ^a	39,00 ± 1,47 ^a
	14días/0,5°C+3días/20°C	Control	2,71 ± 0,03 ^a	1,32 ± 0,10 ^a	12,35±0,66 ^a	4,61±0,25 ^a	2,69 ± 0,26 ^a	66,51 ± 1,36 ^a	13,49 ± 0,90 ^a	37,73 ± 1,88 ^a
		CD-NS	2,75 ± 0,08 ^a	1,46 ± 0,20 ^a	12,03±0,50 ^a	4,78±0,30 ^a	2,53 ± 0,21 ^a	67,07 ± 0,98 ^a	12,79 ± 0,76 ^a	38,29 ± 1,23 ^a
	21días/0,5°C+1día/20°C	Control	3,72 ± 0,14 ^a	2,00 ± 0,29 ^a	11,41±0,68 ^a	4,71±0,22 ^a	2,43 ± 0,18 ^a	67,88 ± 1,30 ^a	12,60 ± 1,04 ^a	44,72 ± 2,60 ^a
		CD-NS	3,75 ± 0,10 ^a	1,34 ± 0,41 ^b	12,10±0,53 ^a	4,49±0,13 ^a	2,70 ± 0,19 ^a	66,34 ± 1,18 ^a	13,87 ± 1,20 ^a	42,00 ± 0,90 ^b
	21días/0,5°C+3días/20°C	Control	4,68 ± 0,08 ^a	1,39 ± 0,25 ^a	11,79±0,60 ^a	4,02±0,42 ^a	2,96 ± 0,36 ^a	66,51 ± 1,82 ^a	12,28 ± 0,38 ^a	37,13 ± 1,58 ^a
		CD-NS	4,72 ± 0,09 ^a	1,28 ± 0,22 ^a	10,92±0,61 ^b	3,89±0,23 ^a	2,81 ± 0,12 ^a	64,19 ± 0,63 ^b	14,41 ± 1,07 ^b	32,76 ± 1,49 ^b

Letras diferentes dentro de la misma columna para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p<0,05$) entre condiciones de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

La pérdida de peso sufrida por los productos vegetales se debe a la transpiración ocurrida ligada a su actividad metabólica. La pérdida de peso después de cada intervalo se calculó respecto al día 0 de almacenamiento. Aunque sí que se comprobó un efecto del envasado activo sobre su metabolismo respiratorio, no se comprobó una influencia significativa sobre la pérdida de peso. Estos resultados coindicen con los mostrados por otros autores como Rivera et al., (2020), que evaluaron la influencia de la presencia de un absorbédo de etileno sobre la calidad comercial de kiwi y no observaron diferencias en la pérdida de peso entre los frutos control y los envasados en un envase activo.

En los tejidos vegetales, los procesos de envejecimiento y senescencia, así como la pérdida de agua, son las principales causas de cambios en la textura siendo el ablandamiento uno de los factores más limitantes de su vida útil (Francis et al., 2012).

En este caso, en el estudio de larga conservación, la nectarina mostró una elevada susceptibilidad al ablandamiento (Tabla 1), alcanzando valores de tan solo $0,52 \pm 0,02$ N al final del almacenamiento a $0,5^{\circ}\text{C}$. No se observaron diferencias significativas entre lotes. En el caso del melocotón (Tabla 2), tampoco se comprobó un efecto significativo del envasado sobre la firmeza del fruto. De hecho, tras 21 días de almacenamiento a $0,5^{\circ}\text{C}$, los frutos control mostraron una firmeza de $2,00 \pm 0,29$ N, mientras que los lotes envasados con CD-NS presentaron un valor de $1,34 \pm 0,41$ N.

En el estudio llevado a cabo a 20°C , simulando una comercialización directa, se comprobó de nuevo una mayor susceptibilidad de la nectarina al ablandamiento ($0,29 \pm 0,04$ N vs $2,33 \pm 0,35$ N, en nectarina y melocotón, respectivamente). En este último caso se observó un efecto del envasado activo en la retención de la firmeza, hasta el tercer día de almacenamiento. Los melocotones en los envases control mostraron una firmeza de $1,72 \pm 0,33$ N y los envasados en los envases activos, con CD-NS en su interior, de $2,33 \pm 0,35$ N, lo que nos indica un efecto sobre la retención de la firmeza, un parámetro etileno-dependiente y estrechamente relacionado con la presencia de C₂H₄ en mayor o menor concentración alrededor del fruto. Tal y como se ha indicado en un apartado anterior, se comprobó una menor concentración de C₂H₄ acumulado en el interior de los envases activos en el tercer día de almacenamiento lo que podría haber afectado a su metabolismo respiratorio (el fruto también mostró una menor AR) y consecuentemente a su grado de madurez. Salcedo Echavarría et al., (2014) encontraron resultados similares. En su estudio evaluaron el efecto de un absorbédo de etileno sobre el comportamiento poscosecha de frutos de tomate, observando diferencias

significativas en la firmeza entre los lotes control y los lotes con envasado activo (24 y 30N, en frutos envasados sin y con absorbedor, respectivamente).

En el caso del contenido en °Brix, únicamente se comprobó un efecto del envasado activo en los melocotones almacenados en refrigeración (Tabla 2). Tras 14 días de almacenamiento, los frutos control presentaron un mayor ($12,77 \pm 0,27$ ° Brix) que los frutos en envases activos ($11,51 \pm 0,41$). Se observó el mismo comportamiento tras 21 de almacenamiento ($11,79 \pm 0,60$ y $10,92 \pm 0,61$ °Brix, para los frutos control y los melocotones envasados con CD-NS, respectivamente). En el estudio de comercialización directa, no se apreciaron diferencias significativas en ninguna de las dos variedades.

En el caso de la AT, fue la nectarina la más afectada por la presencia del absorbedor de etileno (Tabla 1), pero únicamente se encontraron valores significativamente menores en los frutos control tras 14 días de almacenamiento en refrigeración y a los 3 días de simulación de una comercialización a 20°C

Si bien es cierto que en algunos de los parámetros físico-químicos se ha comprobado un efecto del envase activo, al calcular el índice de madurez (parámetro que relaciona la concentración de azúcares con el valor de la acidez), las diferencias encontradas no resultaron significativas en ningún caso. En cambio, otros autores como Álvarez-Hernández et al., (2020), quienes evaluaron el efecto de un absorbedor de etileno a base de KMnO₄ en albaricoques, sí que observaron un retraso en la disminución de TA y un menor aumento de la relación SST/TA en los frutos envasados con el absorbedor, manteniendo una vida útil de hasta 36 días a 2°C o 14 días a 15°C.

El color es posiblemente, junto al ablandamiento, uno de los parámetros de calidad más etilenodependientes. De hecho, es el cambio más apreciado a nivel visual tras la exposición al etileno (Wills et al., 2007).

Además del análisis de las coordenadas de color se determinó la concentración de diferentes tipos de pigmentos tanto en nectarina como en melocotón (tablas 3 y 4 respectivamente), como son la clorofila y los carotenoides implicados en la pérdida de color verde y el desarrollo de las coloraciones amarillo-anaranjadas.

La coloración de los frutos como la nectarina o el melocotón depende de pigmentos como las antocianinas y los carotenoides, como fitoeno, α- y β-carotenos, γ-caroteno, luteína o la zeaxantina, responsables del color amarillo-rojo del fruto. A medida que el proceso de

maduración avanza, los contenidos de clorofila disminuyen de manera significativa, mientras que el contenido de carotenoides y antocianinas aumenta (López-Gómez et al., 2020). La principal función de los pigmentos carotenoides es captar energía luminosa, energía que es luego transferida a las clorofilas para ser transformada durante la fotosíntesis. Estos pigmentos se encuentran en frutas y vegetales amarillos y en los cloroplastos de tejidos verdes, donde están enmascarados por la clorofila hasta que el tejido envejece. Aunque, el contenido en carotenoides de las frutas aumenta durante la maduración, la mayor parte de la intensificación del color se debe a la pérdida de clorofila (Meléndez-Martínez et al., 2004).

En el estudio de larga conservación, aunque la coordenada a^* no se vio afectada, sí que se observaron diferencias en el contenido de pigmentos en ambos frutos. Tras 7 días de almacenamiento en nectarina, los frutos control mostraron un contenido de clorofilas totales significativamente mayor al de los frutos envasados con CD-NS (Tabla 3). A su vez, en el contenido de carotenos también se pudieron observar estas diferencias en ambos frutos, especialmente tras el día 14 de almacenamiento, donde los frutos control de melocotón mostraron mayores valores (Tabla 4).

En el estudio de comercialización directa, en cambio, sí que se observaron diferencias significativas en las coordenadas de color. En el caso del melocotón, tras 7 días de almacenamiento a 20°C, los frutos control obtuvieron valores más altos de la coordenada a^* mayores que los frutos envasados con CD-NS (Tabla 2). Un menor valor de la coordenada a^* indica tonalidades más verdes. A su vez, en el contenido de pigmentos, se observó un aumento de carotenos en ambas variedades, donde en ambos casos, aunque sin diferencias significativas, los frutos control mostraron contenidos más altos (Tablas 3 y 4).

La relación entre el contenido de pigmentos y el color del fruto ya ha sido demostrado por otros autores como Fernández León et al. (2020), quienes evaluaron la influencia del contenido de clorofilas y carotenoides en la maduración de melocotones. Estos autores mostraron que, tras 28 días de almacenamiento, el contenido de clorofilas disminuyó significativamente de 19,3mg/100g fruta a 0,8mg/100g fruta, mientras que el contenido de carotenos aumentó de 65,2 mg/100g fruta a 107,4 mg/100g fruta, proporcionando una elevada correlación entre los parámetros de color y el contenido de estos pigmentos, siendo a su vez, buenos indicadores de la madurez comercial de estos frutos.

Tabla 3. Contenido de clorofila (a, b y total) y carotenos en frutos de nectarina almacenados a 20°C y 0,5°C durante 24 días en envases control o envases activos (con absorbedor de C₂H₄ CD-NS).

Condiciones de almacenamiento	Envase	Clorofila A (mg/100g fruta)	Clorofila B (mg/100g fruta)	Clorofila total (mg/100g fruta)	Carotenos (mg/100g fruta)	
Estudio de comercialización directa	1día/20°C	Control CD-NS	20,08 ± 6,57 ^a 15,88 ± 3,56 ^a	29,85 ± 9,68 ^a 24,11 ± 5,60 ^a	49,93 ± 4,27 ^a 39,99 ± 6,03 ^a	80,36 ± 5,41 ^a 81,25 ± 6,06 ^a
	3días/20°C	Control CD-NS	17,09 ± 5,41 ^a 19,14 ± 4,52 ^a	21,99 ± 7,00 ^a 28,57 ± 6,86 ^a	39,08 ± 4,08 ^a 47,70 ± 11,39 ^a	67,92 ± 9,58 ^a 75,24 ± 9,00 ^a
	7días/20°C	Control CD-NS	15,93 ± 2,01 ^a 14,31 ± 2,00 ^a	14,29 ± 3,18 ^a 12,92 ± 1,94 ^a	30,22 ± 4,69 ^a 27,21 ± 4,62 ^a	117,36 ± 14,13 ^a 112,78 ± 20,11 ^a
	7días/0,5°C+1día/20°C	Control CD-NS	19,54 ± 4,10 ^a 14,78 ± 4,73 ^a	31,22 ± 9,47 ^a 21,87 ± 6,98 ^b	50,76 ± 4,51 ^a 36,65 ± 6,81 ^b	89,28 ± 12,63 ^a 96,42 ± 13,80 ^a
	7días/0,5°C+3días/20°C	Control CD-NS	23,50 ± 5,41 ^a 15,43 ± 2,96 ^a	34,83 ± 8,03 ^a 27,75 ± 3,83 ^a	58,33 ± 7,13 ^a 43,18 ± 7,50 ^a	112,20 ± 14,30 ^a 86,60 ± 11,73 ^a
	14días/0,5°C+1día/20°C	Control CD-NS	13,93 ± 3,62 ^a 16,99 ± 1,21 ^a	16,44 ± 5,18 ^a 20,06 ± 3,33 ^a	30,37 ± 8,68 ^a 37,05 ± 3,09 ^a	84,40 ± 12,65 ^a 58,18 ± 4,95 ^a
	14días/0,5°C+3días/20°C	Control CD-NS	16,11 ± 4,46 ^a 23,32 ± 3,78 ^a	27,76 ± 7,09 ^a 26,68 ± 7,00 ^a	43,87 ± 11,84 ^a 50,00 ± 9,28 ^a	81,27 ± 12,84 ^a 96,23 ± 18,00 ^a
	21días/0,5°C+1día/20°C	Control CD-NS	15,59 ± 3,96 ^a 12,74 ± 3,08 ^a	22,88 ± 5,88 ^a 18,72 ± 4,56 ^a	38,47 ± 9,84 ^a 31,46 ± 7,63 ^a	105,97 ± 15,31 ^a 93,03 ± 11,58 ^a
	21días/0,5°C+3días/20°C	Control CD-NS	19,11 ± 2,17 ^a 23,83 ± 2,26 ^a	16,88 ± 5,58 ^a 18,26 ± 6,08 ^a	35,99 ± 5,37 ^a 42,09 ± 5,76 ^a	121,06 ± 7,04 ^a 155,06 ± 25,22 ^b
<i>Letras diferentes dentro de la misma columna para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p<0,05$) entre condiciones de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.</i>						

Tabla 4. Contenido de clorofila (a, b y total) y carotenos en frutos de melocotón almacenados a 20°C y 0,5°C durante 24 días en envases control o envases activos (con absorbedor de C₂H₄ CD-NS).

Condiciones de almacenamiento	Envase	Clorofila A (mg/100 g fruta)	Clorofila B (mg/100 g fruta)	Clorofila total (mg/100 g fruta)	Carotenos (mg/100 g fruta)	
Estudio de comercialización directa	1día/20°C	Control CD-NS	14,73±2,28 ^a 18,61±1,07 ^a	20,04±4,19 ^a 19,38±5,10 ^a	34,77±6,47 ^a 37,99±6,81 ^a	91,33±22,16 ^a 94,30 ± 13,07 ^a
	3días/20°C	Control CD-NS	13,64±3,75 ^a 16,41±2,09 ^a	16,00±1,56 ^a 17,57±2,99 ^a	29,64±2,75 ^a 33,98±3,09 ^a	107,25 ± 19,01 ^a 98,62±4,83 ^a
	7días/21°C	Control CD-NS	12,02±1,34 ^a 14,97±2,59 ^a	14,60±1,88 ^a 19,23±4,89 ^a	26,62±3,22 ^a 34,20±7,38 ^a	133,30±16,88 ^a 129,99±18,32 ^a
	7días/0,5°C+1día/20°C	Control CD-NS	14,09±3,12 ^a 16,59±3,15 ^a	18,17±5,56 ^a 20,08±2,15 ^a	32,26±8,50 ^a 36,67±4,78 ^a	101,00±12,29 ^a 97,34±23,93 ^a
	7días/0,5°C+3días/20°C	Control CD-NS	13,01±2,49 ^a 13,35±2,94 ^a	18,88±4,30 ^a 18,95±2,69 ^a	31,89±6,73 ^a 32,29±5,62 ^a	98,23±6,44 ^a 87,18±5,93 ^a
	14días/0,5°C+1día/20°C	Control CD-NS	16,78±2,36 ^a 16,88±1,74 ^a	29,18±7,89 ^a 29,81±3,22 ^a	45,96±6,65 ^a 46,69±3,23 ^a	124,29±9,50 ^a 102,08±14,09 ^a
	14días/0,5°C+3días/20°C	Control CD-NS	14,36±3,82 ^a 14,33±3,06 ^a	20,50±5,83 ^a 20,52±4,33 ^a	34,87±9,65 ^a 34,84±7,38 ^a	137,88±14,41 ^a 110,89±8,33 ^b
	21días/0,5°C+1día/20°C	Control CD-NS	6,46±1,71 ^a 10,85±2,62 ^a	16,26±11,46 ^a 17,73±3,85 ^a	22,72±4,81 ^a 28,58±6,08 ^a	149,71±21,25 ^a 156,21±7,45 ^a
	21días/0,5°C+3días/20°C	Control CD-NS	5,66±0,42 ^a 7,41±1,49 ^a	7,43±0,67 ^a 9,79±2,31 ^a	13,09±0,93 ^a 17,20±3,77 ^a	153,75±17,60 ^a 173,61±21,94 ^a
<i>Letras diferentes dentro de la misma columna para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p<0,05$) entre condiciones de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.</i>						

7.1.3 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE LOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA INTEGRIDAD DE MEMBRANA Y LA SENESCENCIA DEL FRUTO

La integridad de la membrana celular de la fruta se va perdiendo durante la senescencia debido a la peroxidación lipídica, causada a su vez por las especies reactivas de oxígeno (ROS)

y la actividad de las enzimas que degradan la pared celular. Durante este proceso de senescencia, se produce una mayor permeabilidad de las membranas, provocando una mayor salida de solutos y una mayor síntesis de malondialdehído (MDA) como producto secundario de la peroxidación lipídica que sirve como indicador de la integridad de la membrana (Sharma y Sharma, 2016). A su vez, este estrés oxidativo también se puede evaluar directamente midiendo las especies reactivas de oxígeno las cuales incluyen superóxido, radicales hidroxilos y peróxidos como el H₂O₂ (Juan Miguel et al., 2020). El análisis de estos parámetros nos permitió evaluar el efecto del envasado activo sobre el estado fisiológico del fruto y su estrés oxidativo.

En todos los casos, durante toda su vida útil, tanto a 0,5°C como a 20°C, el porcentaje de salida de electrolitos de los frutos en envases control fue mayor que el porcentaje de los lotes envasados con CD-NS (Fig. 9 y 10), aunque solamente se detectaron diferencias significativas en el caso del nectarina y durante el estudio de larga conservación en frío (62,52% y 52,03% de salida de electrolitos en los frutos de los envases control y de los envases con CD-N, respectivamente)

A su vez, en el estudio llevado a cabo a 20°C, se observó que ambas variedades presentaron el valor más alto de salida de electrolitos en los frutos control (54,44% en nectarina y 46,49% en melocotón), respecto a los lotes envasados con CD-NS (51,35% en nectarina y 39,74% en melocotón). Esta menor fuga de electrolitos en los lotes envasados con CD-NS podría deberse a la menor actividad de las enzimas que degradan la pared celular como la poligalacturonasa y la pectin-metilesterasa, estrechamente relacionados con una menor concentración de etileno en el interior del envase. Este mismo resultado ha sido reportado por otros autores como Sharma y Sharma, (2016), quienes evaluaron la eficacia de absorbedores de etileno sobre ciruelas, y observaron que, tras 21 días de almacenamiento, el porcentaje de salida de electrolitos se redujo de 73% a 57% en los frutos con envases activos.

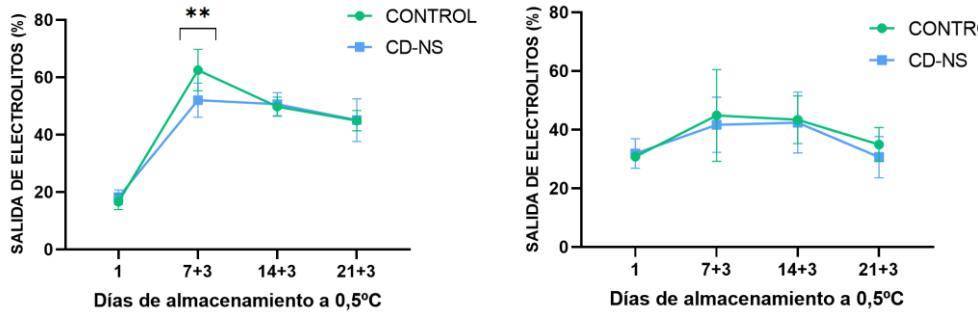


Figura 9. Efecto del envasado activo (CD-NS) en el porcentaje de salida electrolitos en frutos de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 0,5°C + 3 días a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

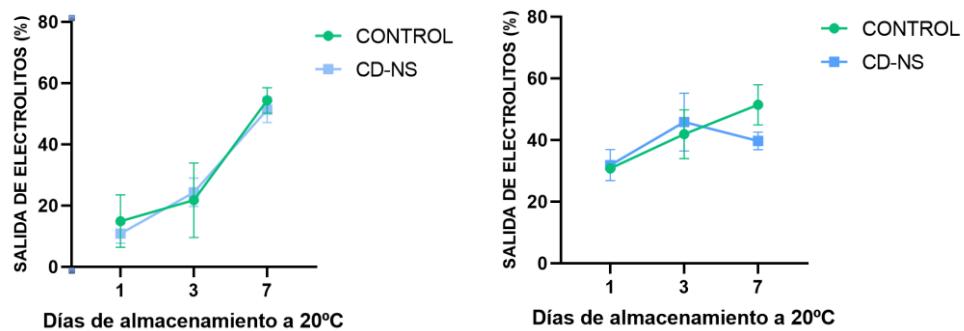


Figura 10. Efecto del envasado activo (CD-NS) en el porcentaje de salida electrolitos en frutos de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

Como era esperable, el contenido de MDA fue aumentando durante el periodo de almacenamiento. En el estudio de almacenamiento a 0,5°C, no se observaron diferencias significativas entre los frutos de nectarina y melocotón de los envases control y los envases activos (Fig. 11). Sin embargo, cuando se llevó a cabo el estudio a 20°C (comercialización directa), la concentración de MDA en los melocotones envasados con CD-NS tras 3 días de almacenamiento fue significativamente menor que la mostrada por los frutos control (Fig. 12). Este menor contenido de MDA podría estar relacionado con una menor producción de radicales libres, una menor pérdida de integridad de membrana y una menor pérdida de electrolitos (Barman et al., 2014).

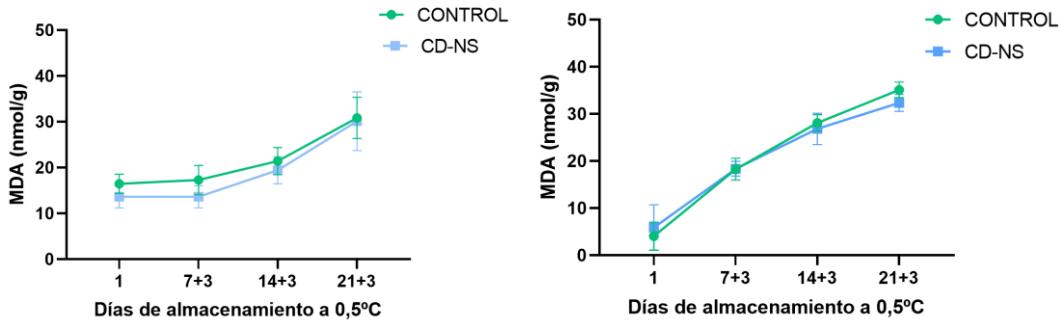


Figura 11. Efecto del envasado activo (CD-NS) en el contenido de malondialdehído (MDA) en frutos de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 0,5°C + 3 días a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

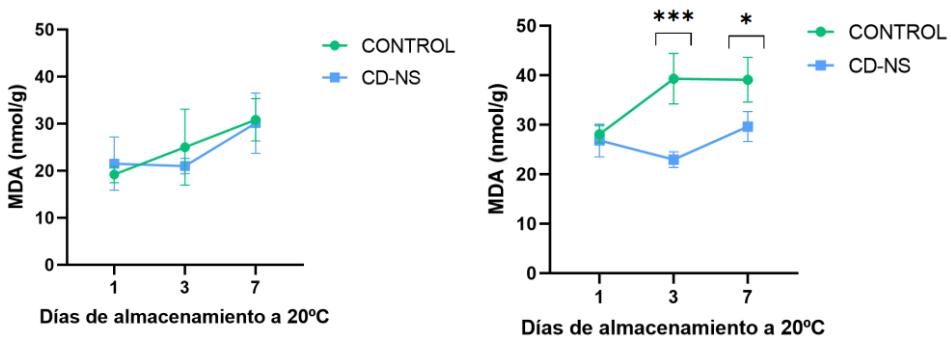


Figura 12. Efecto del envasado activo (CD-NS) en el contenido de malondialdehído (MDA) en frutos de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en $p<0,05$, $p<0,01$ y $p<0,001$, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

El último de los parámetros analizados asociados al estrés oxidativo del fruto fue el análisis de una de las ROS más comunes como es el H_2O_2 .

En ambos estudios y ambos tipos de fruta se observó un aumento en la concentración de este compuesto a lo largo de la conservación (Fig. 13). En el estudio de simulación de una larga frigoconservación, para los dos tipos de fruta de hueso estudiados, se pudo observar que la cantidad de ROS en los frutos control fue mayor que la encontrada en los frutos envasados en presencia del absorbador. Aunque las diferencias no resultaron significativas, estas fueron más altas al final del almacenamiento. Igualmente, en el caso de los melocotones, la concentración de ROS en los frutos envasados con CD-NS fue menor que en el lote control. Este aumento de la producción de H_2O_2 indicaría un mayor estrés oxidativo en los frutos control comparado con los frutos envasados con CD-NS, como reportan otros autores como Steelheart Molina, (2023), y que estaría relacionado con la mayor salida de electrolitos y el mayor contenido en MDA observados en algunos casos.

En el estudio de comercialización directa, no se observaron diferencias significativas entre los lotes de ninguna de las dos variedades.

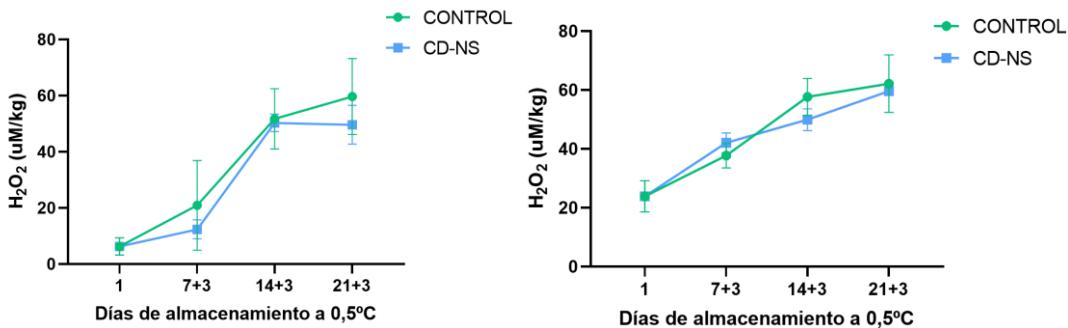


Figura 13. Efecto del envasado activo (CD-NS) en el contenido de H₂O₂ en frutos de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 0,5° + 3 días a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en p<0,05, p<0,01 y p<0,001, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

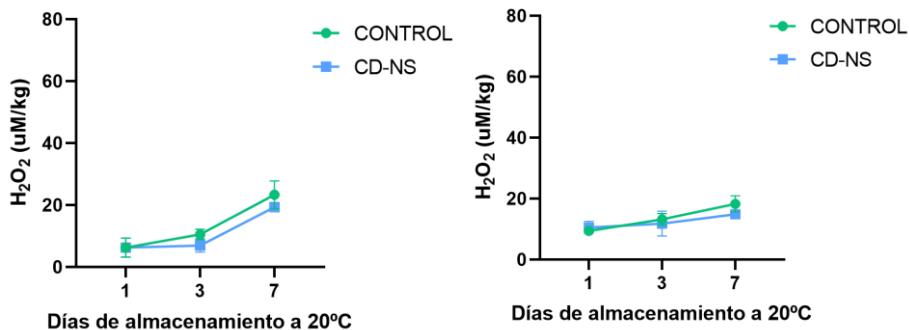


Figura 14. Efecto del envasado activo (CD-NS) en el contenido de H₂O₂ en frutos de nectarina (izquierda) y melocotón (derecha) almacenados a 20°C.

Los valores *, ** y *** representan diferencias significativas en p<0,05, p<0,01 y p<0,001, respectivamente, entre tratamientos para cada periodo de almacenamiento según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.1.4 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE EL PERFIL DE COMPUESTOS VOLÁTILES

La calidad sensorial de los frutos depende en gran medida de la intensidad de su aroma y sabor, estando ambos condicionados por la composición de los compuestos volátiles. Mientras que el gusto está definido, entre otros compuestos por azúcares y ácidos orgánicos, el aroma, viene dado por una combinación compleja de diferentes moléculas volátiles que se producen a través de diversas rutas metabólicas que tienen lugar durante la maduración (Besada et al., 2017).

Con el objetivo de comprender la influencia de los envases activos sobre el perfil olfatométrico de los frutos, se llevó a cabo el análisis de los compuestos volátiles. En este caso el análisis se desarrolló únicamente en el estudio llevado a cabo a temperatura ambiente ya que es en esas condiciones en las que se detectarían las mayores diferencias entre muestras.

La técnica de cromatografía de gases-olfatometría (GC-O) combina el análisis cromatográfico de gases tradicional con la detección sensorial para estudiar mezclas complejas de sustancias olorosas e identificar compuestos olorosos activos. La evaluación cualitativa y cuantitativa del olor se realiza para cada analito que eluye de la columna cromatográfica. Esto permite establecer si un determinado compuesto es activo sensorialmente a una concentración dada (es decir, si aparece en la muestra a un nivel superior al umbral de detección sensorial) y cuál es su olor, así como la determinación del tiempo de actividad sensorial y la intensidad del olor (Brattoli et al., 2013).

Los resultados de GC-O se correlacionan a menudo con los resultados de la evaluación sensorial convencional realizada en paralelo. El análisis sensorial de las muestras individuales proporciona descriptores que caracterizan su olor, mientras que el análisis cromatográfico con detección olfatométrica permite determinar qué compuestos son responsables de los descriptores individuales (Fernández y López, 2017).

Tabla 5. Efecto del envasado activo (CD-NS) en odorantes encontrados en nectarina tras 7 días de almacenamiento a 20°C. Tiempos de retención en columna DB-WAX, descriptores e identidad y porcentajes de frecuencia modificada (%).

Nº COMPUESTO	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPTOR	Tm	DIA 0	CONTROL	CD-NS
1		Chocolate negro	5,32	0	0	29
2		Caramelo toffe	6,45	0	35	0
3	Butanodiona	Nata-fresa	8,12	65	38	29
4		Rancio	8,45	0	0	20
5	2-butanol	Disolvente	9,21	94	100	41
6	Butirato de etilo	Fruta pasada	10,05	0	58	35
7	2-metilbutirato	Nata-lácteo	10,35	58	65	46
8	Isovalerato de etilo	Fresa-plátano-piña	11,15	0	38	41
9		Pintura niños	11,25	38	100	0
10	Hexanal	Verde	11,52	35	41	100
11		Fresa muy madura	13,03	0	0	41
12	Z-3-hexenal	Verde-césped	13,53	76	71	29
13	1-butanol	Manzana verde dulce	14,08	35	41	35
14		Pescado	14,47	0	35	71
15	4-metilpentanoato de etilo	Fruta	15,42	38	29	35
16	T-2-hexenal	Césped	16,42	71	100	100
17	Z-4-heptenal	Pescado	17,26	76	43	87
18		Ajo/Gas	18,54	0	41	76
20	1-octen-3-ona	Champiñón	19,26	0	76	35
21		Fusel	19,45	0	0	35
22	Z-1,5-octadien-3-ona	Geranio	21,50	58	79	76
23		Verde	22,04	29	0	0
24	3-isopropil-2-metoxipirazina	Rama tomate	23,40	58	0	0
25	Metional	Metional	24,10	0	71	71
26		Dulce/Caramelo	24,57	0	0	20
27	ácido acético	Cítrico	26,46	0	35	0
28	EZ-2,6-nonadienal	Hortaliza	28,21	0	20	71
29		Queso	30,48	0	29	35

Tabla 6. Efecto del envasado activo (CD-NS) en odorantes encontrados en melocotón tras 7 días de almacenamiento a 20°C. Tiempos de retención en columna DB-WAX, descriptores e identidad y porcentajes de frecuencia modificada (%).

Nº COMPUESTO	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPTOR	Tm	DÍA 0	CONTROL	CD-NS
1		Chocolate negro	5,32	0	0	32
2		Caramelo toffe	6,45	0	35	0
3		Dulce	7,50	0	29	0
4	Butanodiona	Nata-fresa	8,15	87	61	65
5	2-butanol	Disolvente	9,38	29	41	71
6	Butirato de etilo	Fruta pasada	10,06	58	35	41
7	2-metilbutirato de etilo	Nata-lácteo	10,35	20	71	29
8	Isovalerato de etilo	Fresa-plátano-piña	11,15	0	38	0
9		Pintura niños	11,26	38	0	38
10	Hexanal	Verde	11,48	35	58	65
11		Fresa muy madura	12,32	0	35	76
12	Z-3-hexenal	Verde-césped	13,44	35	35	29
13	1-butanol	Manzana verde dulce	14,08	35	35	35
14		Pescado	14,50	0	41	35
15	4-metilpentanoato	Fruta	15,10	0	41	65
16		Fusel	15,37	68	29	0
17		Dulce	15,53	0	20	0
18	T-2-hexenal	Césped	16,43	35	76	65
19	Z-4heptenal	Pescado	17,27	29	71	71
20		Dulce	18,55	29	29	0
21	1-octen-3-ona	Champiñón	19,20	35	41	76
22		Caramelo toffe	20,20	0	41	20
23		Tostado	21,17	20	0	0
24	Z-1,5-octadien-3-ona	Geranio	21,50	65	82	76
25		Dulce	22,05	0	41	0
26	3-isopropil-2-metoxipirazina	Rama tomate	23,37	29	0	0
27	Metional	Metional	24,34	29	94	35
28		Queso	25,14	0	41	0
29	ácido acético	Cítrico	26,53	29	0	29
30	2-acetiltetrahidropiridina	Tostado	27,10	0	71	29
31	EZ-2,6-nonadienal	Hortaliza	28,27	0	58	0
32		Tostado/Queso	28,50	0	29	87
33		Miel	29,31	20	29	58

En la evaluación del perfil olfatométrico de los frutos de nectarina (Tabla 5), entre los 3 jueces se detectaron un total de 29 zonas odorantes, dentro de las cuales un total de 10 fueron detectadas en todos los lotes, lo que indica que son compuestos que ya estaban presentes en los frutos al inicio del estudio y que no se han modificado tras el periodo de almacenamiento. A su vez, un total de 8 odorantes no se detectaron en los frutos iniciales, mientras que, posteriormente, sí que se detectaron en ambos lotes, (tanto en los frutos control como en los envasados con CD-NS), lo cual indicaría que son compuestos relacionados con la maduración, como el butirato de etilo o el metional. Por otro lado, el 2-butanol fue uno de los compuestos más volátiles, detectándose en los frutos al comienzo del estudio con una intensidad del 94% y en los frutos control tras 7 días de almacenamiento con el 100%. Otros compuestos como el Z-1,5-octadien-3-ona, característico del aroma a geranio, o el 1-butanol, compuesto del aroma a

manzana verde, indicarían, aunque sin diferencias significativas, un estado de madurez más avanzado de los frutos control tras 7 días de almacenamiento a 20°C, donde puede observarse que tras el almacenamiento, aunque en ambos lotes se aprecia una mayor cantidad de compuestos volátiles que al inicio del estudio, en los frutos control estos compuestos se apreciarían con mayor intensidad. Estos resultados coinciden con los resultados de otros autores como Montes et al. (2016), quienes, tras evaluar los compuestos volátiles en manzanas, indicaron que con la producción de etileno se incrementa la producción de compuestos volátiles característicos del sabor y del aroma, aumentando la detección de compuestos como el butanol, siendo uno de los compuestos aromáticos más importantes en los frutos climatéricos.

En el estudio realizado con melocotón, se detectaron un total de 33 zonas odorantes entre los 3 jueces (Tabla 6). Dentro de ellos, un total de 12 compuestos se detectaron en todos los lotes. Se pudo observar un aumento en la detección de odorantes de los lotes control respecto a los lotes envasados con CD-NS en varios compuestos, como el 2-metilbutirato de etilo, aroma característico a nata, detectado en los frutos iniciales con una intensidad del 20% y del 29% en los frutos envasados con CD-NS y con una intensidad del 71% en los lotes control tras 7 días de almacenamiento. A su vez, en la detección del metional ocurrió algo similar, inicialmente detectado con una intensidad del 29%, mientras que en los frutos envasados con CD-NS se detectó en un 35% y por último en los frutos control con una elevada intensidad del 94%. Sin embargo, estas diferencias apreciadas entre los frutos control respecto a los frutos iniciales, no se aprecian si se comparan detecciones de los frutos envasados con CD-NS respecto a los frutos al comienzo del estudio. Martínez y Jiménez, (2022) encontraron resultados similares en pera, donde comprobaron un mayor contenido en compuestos ésteres como el 2-metilbutirato y aldehídos como el metional, en aquellos frutos con un mayor grado de madurez.

7.2 ENVASES ACTIVOS BASADOS EN LA INCORPORACIÓN DE PAPELES ANTIFÚNGICOS EN TOMATE

Los cambios producidos por agentes biológicos en frutas y hortalizas, no solo suponen una pérdida de calidad, sino que además causan pérdidas económicas, así como, un riesgo para la salud del consumidor por posible presencia de toxinas o de microorganismos patógenos (Albarca et al., 2020). Este tipo de deterioro por infección de microorganismos dependen de la madurez de la fruta, puesto que las barreras naturales del fruto, tanto físicas como químicas, van perdiendo efectividad conforme el fruto madura y se acerca la senescencia. Así mismo, factores ambientales como son altas temperaturas o altas humedades después de la cosecha

también favorecen la aparición de microorganismos y con ellos el deterioro de los frutos. (Morales, 2011).

Una de las estrategias poscosecha recientemente estudiada para frenar este desarrollo microbiológico de una forma sostenible y como alternativa al uso de fungicidas químicos, es la utilización de aceites esenciales (AEs), debido a sus propiedades antimicrobianas. Entre todos los AEs estudiados, se ha demostrado que tanto la canela como el orégano, tienen un efecto antimicrobiano significativo, especialmente antifúngico (Lucas-González et al., 2023). Aunque algunos autores han demostrado que el efecto del tratamiento antifúngico con AEs no depende de la concentración utilizada (Rashid, 2020), la mayor parte de trabajos (El-Zehery et al., 2022; Khanoonkon et al., 2022) demuestran que concentraciones más altas de aceites esenciales en las formulaciones muestran mejores efectos frente al ataque de patógenos en los frutos. En este estudio, se evaluó el efecto antimicrobiano de dos láminas de papeles impregnadas con AEs de canela y orégano a diferentes concentraciones para aumentar la vida útil de frutos de tomate, diseñadas para su uso doméstico en el cajón de productos frescos de la nevera.

7.2.1 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE EL ÍNDICE DE DECADENCIA

Tal y como era esperable, el índice de decadencia (Fig. 15) fue aumentando conforme avanzaba el periodo de almacenamiento. Aunque en el almacenamiento a 4°C ya se apreciaron frutos con daños en la salida de frío (28 días), las mayores diferencias se pudieron observar tras 28 días de conservación a 4°C y dos días de almacenamiento a 20°C, cuando los frutos control mostraron un valor de 2,46, mientras que los frutos almacenados con los papeles A y B presentaron valores de 1,73 y 1,46 respectivamente, indicando una menor incidencia de daños por infección que en los frutos control.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores como Buendía-Moreno et al., (2020), quienes evaluaron el efecto de un recubrimiento que incluía una mezcla de aceites esenciales (carvacrol, orégano y canela) sobre la vida útil de tomates frescos. En su caso, el índice de decadencia de los frutos almacenados con estos AEs se redujo hasta un 15% después de un periodo de almacenamiento de 6 días a 8°C + 12días a 25°C.

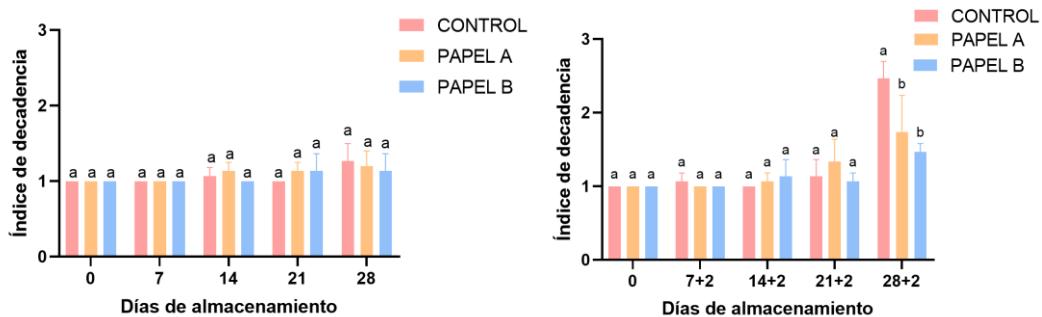


Figura 15. Efecto de los envases activos a base de AEs en frutos de tomate almacenados a 4°C (izquierda) durante 28 días + 2 días a 20°C (derecha). Letras diferentes para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.2.2 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE LA INCIDENCIA DE PODREDUMBRES

La vía de infección más común para los mohos patógenos son los orificios o aberturas naturales que existen en los frutos. En algunas variedades, la zona peduncular puede quedar muy carnosa y abierta, fácilmente accesible para los mohos tras la separación de los frutos de la rama del árbol o de la mata. Un ejemplo es el caso del tomate, en el que la mayoría de las infecciones fúngicas se producen después de la recolección a través del pedúnculo (Blanco et al., 2022).

El porcentaje de frutos con podredumbres se muestra en las tablas 7 y 8. En este caso, las principales diferencias se observaron a partir del día 21 y 28 de almacenamiento. De hecho, en el último día de conservación, el 100% de los frutos control mostraron podredumbres mientras que en los frutos almacenados con los papeles A y B el porcentaje de frutos con podredumbres se redujo a 53,33% y 66,67%, respectivamente. Este efecto se comprobó también cuando los frutos fueron trasladados a 20°C (100%, 80,00% y 66,67%, de podredumbres en control, papel A y papel B, respectivamente), aunque estas diferencias no fueron significativas debido a la alta desviación estándar entre las repeticiones de cada lote.

Hossain et al. (2019) obtuvieron resultados similares a los obtenidos en este trabajo evaluando el efecto de nanoemulsiones de distintas combinaciones de AEs de orégano y tomillo en arroz. Estos autores observaron una reducción significativa en el crecimiento de podredumbres durante 8 semanas de almacenamiento a temperatura ambiente en los lotes en los que se aplicaron las películas activas.

También cabe mencionar, que, entre los dos papeles estudiados, los papeles de la composición B (3.99% de AE de canela y 1.99% de AE de orégano) mostraron mejores resultados que los papeles con la composición A (5.33 % de AE de canela y 2.66% de AE de orégano), especialmente al final del periodo de almacenamiento, de lo que se podría concluir

que menores concentraciones de AEs pueden tener el mismo efecto antimicrobiano, y por lo tanto, ser interesantes para su uso, dado que a su vez tendrían menores efectos secundarios sobre la calidad organoléptica de los frutos (Lucas-González et al., 2023).

Tabla 7. Efecto de los envases activos a base de AEs sobre la incidencia de podredumbres en tomates almacenados a 4°C.

	CONTROL	PAPEL A	PAPEL B
T0	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a
T7	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a
T14	0,00 ± 0,00 ^a	6,67 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a
T21	33,33 ± 0,00 ^a	33,33 ± 0,00 ^a	13,33 ± 0,00 ^a
T28	100,00 ± 0,00 ^a	53,33 ± 0,00 ^b	66,67 ± 0,00 ^b

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre condiciones de almacenamiento para cada tipo de muestra según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

Tabla 8. Efecto de los envases activos a base de AEs sobre la incidencia de podredumbres en tomates almacenados a 4°C + 2 días a 20°C.

	CONTROL	PAPEL A	PAPEL B
T7+2	13,33 ± 0,00 ^a	13,33 ± 0,00 ^a	33,33 ± 0,00 ^a
T14+2	26,67 ± 0,00 ^a	26,67 ± 0,00 ^a	20,00 ± 0,00 ^a
T21+2	20,00 ± 0,00 ^a	26,67 ± 0,00 ^a	6,67 ± 0,00 ^a
T28+2	100,00 ± 0,00 ^a	80,00 ± 0,00 ^a	66,67 ± 0,00 ^a

Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre condiciones de almacenamiento para cada tipo de muestra según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.2.3 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE EL RECUENTO MICROBIOLÓGICO

Los mohos son hongos que crecen en forma de filamentos multicelulares llamados hifas, y pueden causar deterioros poscosecha, como, el crecimiento de estos en la superficie de los frutos, antracnosis o chancro (ennegrecimiento de los tejidos) y distintos tipos de podredumbre como por ejemplo la podredumbre gris causada por *Botrytis cinerea*, o la azul asociada a *Penicillium expansum* (Zinedine y El Akhdari, 2019). Las alteraciones patológicas de origen abiótico en frutas y hortalizas se deben fundamentalmente a los mohos, por ello, su estudio cobra gran importancia a la hora de evaluar la eficacia antimicrobiana de los papeles impregnados con AEs.

En el recuento de mohos (Fig. 16) en la superficie de tomate durante la conservación a 4°C, se pudieron observar diferencias significativas entre frutos control y con envase activo a partir del día 21 de almacenamiento, y especialmente al final del estudio (tras 28 días de almacenamiento), cuando los frutos control mostraron un recuento de 5,33 log ufc/g fruta, mientras que los frutos almacenados en presencia de los papeles antifúngicos mostraron 4,49 y 4,22 log ufc/g fruta (papel A y B, respectivamente). Estos resultados confirmarían la actividad antifúngica de los papeles, resultados que coinciden con los de otros autores como Wen et al., (2016), quienes evaluaron la eficacia del AE de canela en fresas mediante la aplicación de fibras electrohiladas y observaron que en los lotes envasados con AEs se redujo la pudrición fúngica tras 6 días de almacenamiento a 21°C.

No se comprobó ningún efecto significativo de la concentración de los AEs utilizados, lo cual confirmaría lo observado previamente en nuestro ensayo, y también en otros estudios, como el llevado a cabo por Rashid, (2020) quién observó en frutos de manzana, que una mayor concentración de AE de canela en los envases activos no obtenía mejores resultados.

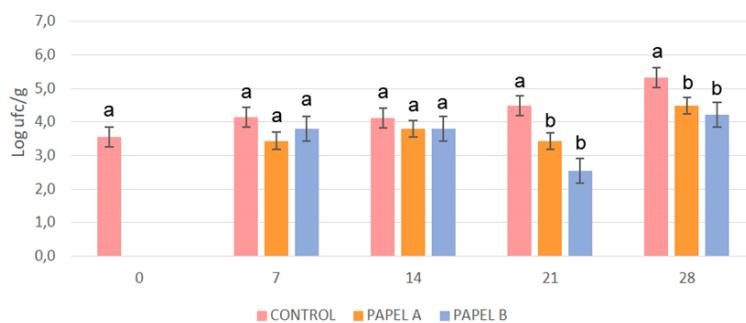


Figura 16. Efecto de los envases activos a base de AEs sobre el recuento de mohos durante la conservación a 4°C en frutos de tomate. Letras diferentes para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

En el estudio de los microorganismos anaerobios mesófilos totales (Fig. 17) no se pudo observar un efecto bacteriostático significativo de los papeles, ya que el contenido de este tipo de microorganismos sobre la superficie del tomate tras 28 días de almacenamiento fue similar en los 3 lotes (5,69, 5,32 y 5,13 log ufc/g fruta para los frutos control, papel A y papel B, respectivamente). En el caso del análisis del recuento en levaduras y enterobacterias, tampoco se observó un efecto significativo de la presencia de los papeles a lo largo del periodo de almacenamiento.

Otros estudios, en cambio, sí que reportaron efectos positivos de los AEs en el crecimiento de mesófilos totales, como Zhang et al. (2019), los cuales observaron una disminución de este crecimiento durante 16 días de almacenamiento en refrigeración. Sin

embargo, estos autores evaluaron el efecto del AE en combinación con quitosano en productos cárnicos. Como se ha comentado previamente, el máximo interés en el control microbiológico en fruta y hortalizas frescas se centra en el control fúngico dado que, aunque el daño microbiológico puede ser ocasionado por bacterias, levaduras y mohos, las frutas son usualmente ácidas (con un rango de pH próximo a 4-5), lo que les proporciona una mayor resistencia frente a las bacterias, y se selecciona el crecimiento de levaduras y mohos. Entre estos dos grupos de microorganismos predominan los mohos (Juliarena y Gratton, 2015), ya que, las levaduras, en general, presentan un nivel de patogenicidad menor.

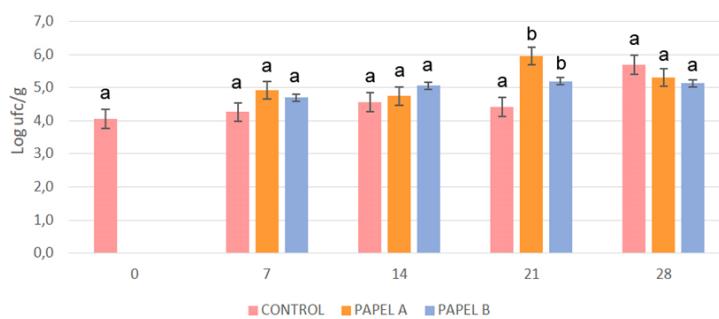


Figura 17. Efecto de los envases activos a base de AEs sobre el recuento de microorganismos anaerobios mesófilos totales en frutos de tomate durante su almacenamiento a 4°C. Letras diferentes para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.2.4 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE COMPUESTOS DE INTERÉS DEL TOMATE

Algunas de las estrategias poscosecha aplicadas en la actualidad, además de buscar un efecto positivo en el rendimiento del cultivo o la calidad comercial del fruto, también son capaces de potenciar una respuesta sistémica, activando el sistema inmunológico o de defensa de los frutos, influyendo también positivamente en la actividad y expresión génica de las enzimas que actúan en el metabolismo primario y secundario de las plantas, relacionados estrechamente con el contenido en compuestos antioxidantes beneficiosos para la salud (Rongai et al., 2017). Por ello, en este estudio se ha evaluado el efecto de los envases activos sobre algunos compuestos de interés en la composición del tomate como son los compuestos fenólicos, la vitamina C y los pigmentos.

7.2.4.1 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS

Aunque no se vieron diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 18), se observó que el contenido de estos compuestos en los frutos control fue disminuyendo durante el almacenamiento (118,5 y 99,62 mg ácido gálico/100g fruta al comienzo del estudio y tras 28 días de conservación, respectivamente), mientras que en los frutos almacenados en presencia de los papeles antifúngicos se mantuvieron los contenidos iniciales (121,5 y 120,9 mg ácido gálico/100g fruta al comienzo y al final del estudio respectivamente). Los compuestos fenólicos

tienen un efecto antimicrobiano demostrado (Márquez et al., 2014) y nuestros resultados podrían indicar que los papeles antifúngicos podrían inducir de algún modo la síntesis de compuestos fenólicos o bien retrasar su degradación durante la maduración.

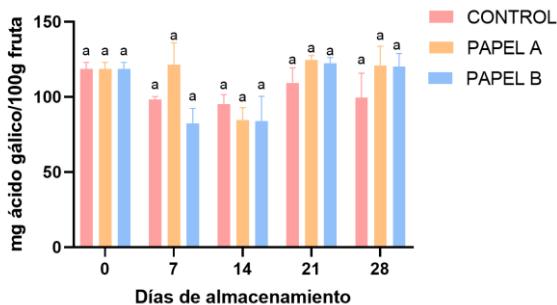


Figura 18. Efecto de los envases activos a base de AEs sobre el contenido en compuestos fenólicos totales (mg ácido gálico/100g fruta) en tomate durante su almacenamiento a 4°C. Letras diferentes para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.2.4.2 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE EL CONTENIDO EN VITAMINA C

Uno de los nutrientes esenciales en nuestro organismo es el ácido ascórbico o vitamina C, un compuesto con gran poder antioxidante. El contenido de vitamina C en frutas y hortalizas varía según la especie, pero también se ve afectado, entre otros factores, por las condiciones ambientales como temperatura, luz, humedad, el estado de madurez, la vida útil, el tiempo de almacenamiento, etc., (Salas, 2018), siendo este contenido un indicador del estado de calidad del fruto.

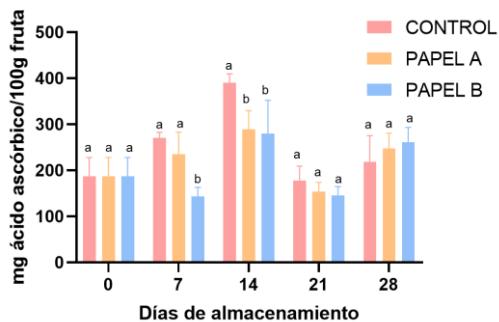


Figura 19. Efecto de los envases activos a base de AEs sobre el contenido de ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/100g fruta) en frutos de tomate durante su almacenamiento a 4°C. Letras diferentes para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

Se observaron diferencias significativas en el contenido de vitamina C de frutos control y frutos conservados con el envase activo tras 7 y 14 días de almacenamiento (Fig. 19). Tras 7 días de conservación, el contenido en ácido ascórbico de los frutos almacenados con el papel B fue menor significativamente que en los frutos control y los frutos almacenados con el papel A.

Tras 14 días de conservación, los frutos almacenados en presencia de ambos tipos de papeles mostraron valores significativamente menores que en los frutos control (390,2 mg ácido ascórbico/100g, mientras que los frutos envasados con papel A y B presentaron 289,3 y 279,8 mg ácido ascórbico/100g, respectivamente).

7.2.4.3 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE EL CONTENIDO EN LICOPENO Y β -CAROTENO

Los carotenoides son nutrientes que actúan como antioxidantes y como secuestradores de radicales libres responsables del estrés oxidativo de los tejidos vegetales, causante de la pérdida de calidad y senescencia en los frutos. Además, son los responsables de los colores amarillos, anaranjados y rojos de frutas y verduras. En el caso del tomate, los carotenoides más abundantes son el licopeno y el β -caroteno (Benito-Bautista et al., 2016). La causa principal del deterioro en los carotenoides es la oxidación, que es mayor cuando se pierde la integridad celular. Además, el alto grado de instauración de estos pigmentos los hace fácilmente oxidables, siendo especialmente sensibles a la luz, calor y oxígeno (Cadillo, 2006).

En el estudio se observó una tendencia a la disminución de ambos carotenoides a lo largo de la conservación, tanto en los frutos control como en los frutos almacenados junto a los papeles antifúngicos (Fig. 20). No se observó un efecto significativo de los papeles antifúngicos estudiados sobre el contenido de estos dos compuestos. Benito-Bautista et al. (2016) evaluaron la evolución del color en la madurez del tomate, reportando variaciones significativas en la coordenada a^* del color de la piel del tomate, cambio causado por la degradación de la clorofila y la síntesis de carotenoides presentes en los cloroplastos y cromoplastos, proceso que ocurre conforme avanza el estado de madurez.

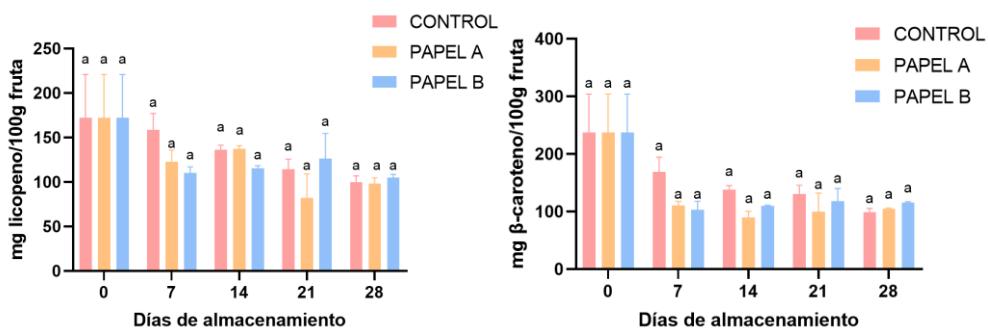


Figura 20. Efecto de los envases activos a base de AEs sobre el contenido de licopeno (izquierda) y β -carotenos (derecha) en frutos de tomate durante su almacenamiento a 4°C. Letras diferentes para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

7.2.5 EFECTO DEL ENVASADO ACTIVO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DEL FRUTO

Por último, también se realizó una evaluación sensorial a través de un panel de consumidores para evaluar el efecto de los dos papeles antifúngicos sobre los atributos organolépticos del tomate. Otros estudios anteriores (Buendía-Moreno et al., 2018; Becerril et al., 2020), han mostrado que el uso de AEs es efectivo a la hora de frenar la actividad antimicrobiana, sin embargo, debido a sus aromas intensos, pueden causar alteraciones en los atributos sensoriales de los alimentos. Por ello, uno de los retos de los nuevos envases activos a base de AEs, es minimizar estas alteraciones.



Figura 21. Efecto de los envases activos a base de AEs en los atributos sensoriales evaluados tras 7, 14 y 21 días de almacenamiento a 4°C en frutos de tomate. Letras diferentes para cada uno de los períodos de conservación, indican diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos según prueba de comparación múltiple de HSD Tukey.

Tras 7 días de almacenamiento, se apreciaron diferencias significativas en la intensidad de sabores extraños en los frutos almacenados con ambos papeles, sin embargo, en el resto de los atributos no se apreciaron estas diferencias entre frutos control y frutos almacenados con los papeles antifúngicos. A pesar de la diferencia en la intensidad de sabores extraños presente en los frutos almacenados con los papeles antifúngicos, los consumidores no describieron diferencias en la valoración global del tomate de los tres lotes evaluados.

En cambio, a los 14 días se comprobó una intensidad de sabores extraños significativamente mayor en los frutos almacenados con el papel B, los cuales obtuvieron una puntuación de 4,54, mientras que los frutos control y los frutos almacenados con papel A, mostraron puntuaciones menores (2,88 y 3,51, respectivamente). Sin embargo, en el resto de atributos evaluados, no se observaron diferencias significativas entre lotes.

Tras 21 días de almacenamiento, la presencia de ambos papeles dio lugar a una mayor intensidad de sabores extraños en los frutos. Como en las evaluaciones anteriores, estas diferencias no produjeron diferencias significativas en la valoración global del tomate. Estos resultados indicarían que, a pesar de que los papeles antifúngicos indujeron una alteración del

sabor del tomate, este efecto no resultó negativo para el consumidor, obteniendo valores de aceptación global similares a los de los frutos control. Campos et al. (2017) mostraron resultados similares al evaluar películas termoplásticas de almidón que contenían AEs de timol y carvacrol en fresa.

8. CONCLUSIONES GENERALES

- Los envases activos con absorbedores de etileno a base de CD-NS tuvieron un efecto significativo en el metabolismo fisiológico de los frutos, especialmente en el caso del melocotón en el estudio de larga conservación en refrigeración, en el que se observó un menor acumulo de etileno en el interior de los envases, así como una menor producción de etileno y una menor actividad respiratoria.
- De los parámetros de calidad objetiva analizados, fueron la firmeza y el color los que mostraron una mayor dependencia del etileno exógeno. Los melocotones en los envases control presentaron una firmeza un 50% menor que la de los frutos en envases activos. En el caso de la nectarina se comprobó que, tras 14 días de frigoconservación, el contenido de carotenoides fue significativamente más alto en los frutos control, lo que podría estar relacionado con un mayor índice de madurez.
- En el estudio de almacenamiento a 0,5°C, no se observaron diferencias significativas (ni en melocotón ni en nectarina) entre los frutos control y en envases activos, en los parámetros relacionados con la integridad de la membrana celular. Sin embargo, cuando el almacenamiento fue a 20°C (comercialización directa), la concentración de MDA en los melocotones envasados con CD-NS tras 3 días de almacenamiento fue significativamente menor que en los frutos control. Este menor contenido de MDA estuvo relacionado con una menor producción de radicales libres y una menor pérdida de electrolitos.
- El envase activo a base de CD-NS tuvo influencia en el perfil olfatométrico de melocotón, reduciendo la intensidad de compuestos como el 2-metilbutirato de etilo o metional.
- Los papeles antifúngicos consiguieron disminuir significativamente el índice de decadencia y la incidencia de podredumbres en tomate tras 28 días de almacenamiento a 4°C.
- A pesar de que los consumidores percibieron sabores extraños en los tomates almacenados con los papeles antifúngicos impregnados con AEs, no se observaron diferencias con el control en su aceptación global.

- El envase activo basado en la incorporación de un absorbedor de etileno con nanoesponjas de ciclodextrina (CD-NS) permitió prolongar la vida útil de melocotón en 5 días, debido principalmente a su efecto sobre el metabolismo respiratorio y la retención de la firmeza del fruto. Su efecto fue mayor en el almacenamiento en frigoconservación.
- La incorporación de un papel antifúngico compuesto de 3,99% de AE de canela y 1,99% de AE de orégano en el cajón de la nevera permitiría prolongar la vida útil de tomates en al menos 7 días. Sin embargo, su efecto sobre el aroma y sabor característico del fruto indica la necesidad de seguir optimizando su formulación.

9. BIBLIOGRAFÍA

Albarca, N.E., Hernández, A., Rodríguez, A., (2020) *Ensayos para el control de mohos alterantes en fruta de hueso mediante el uso de microorganismos antagonistas*. Trabajo fin de Máster, Universidad de Extremadura. [Consultado el 20 de abril de 2024]. Disponible en: https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/13376/1/TFMUEX_2020_Escudero_Albarca.pdf

Almeida E Silva, F.A, Gracia Vallés, N., Michel Allal, A., Nerín De La Puerta, M.C., (2024). *Síntesis y aplicación de nanomateriales para el desarrollo de envases activos antioxidantes y antimicrobianos*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza. [Consultado el 30 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/135295/files/TESIS-2024-157.pdf>

Álvarez-Hernández, M., Martínez-Hernández, G., Avalos-Belmontes, F., Rodríguez-Hernández, A., Castillo-Campohermoso, M., Artés-Hernández, F., (2019). An Innovative Ethylene Scrubber Made of Potassium Permanganate Loaded on a Protonated Montmorillonite: a Case Study on Blueberries. *Food and Bioprocess Technology* 12. [Consultado el 7 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2224-0>

Álvarez-Hernández, M.H., Martínez-Hernández, G.B., Avalos-Belmontes, F., Miranda-Molina, F.D., Artés-Hernández, F., (2020). Postharvest quality retention of apricots by using a novel sepiolite-loaded potassium permanganate ethylene scavenger. *Postharvest Biology and Technology* 160, 111061. [Consultado el 5 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111061>

Anaya-Esparza, L.M., Pérez-Larios, A., Ruvalcaba-Gómez, J.M., Sánchez-Burgos, J.A., Romero-Toledo, R., Montalvo-González, E., Anaya-Esparza, L.M., Pérez-Larios, A., Ruvalcaba-Gómez, J.M., Sánchez-Burgos, J.A., Romero-Toledo, R., Montalvo-González, E., (2020). Funcionalización de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 23. [Consultado el 1 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.241>

Balaguera-López, H.E., Salamanca-Gutiérrez, F.A., García, J.C., Herrera-Árevalo, A., (2015). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.*, 8, 302. [Consultado el 29 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>

Becerril, R., Nerín, C., Silva, F., (2020). Encapsulation Systems for Antimicrobial Food Packaging Components: An Update. *Molecules*, 25, 1134. . [Consultado el 2 de enero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules25051134>

Blanco Parmo, D., Calvo Crespo, H., Venturini Crespo, M.A., (2022). *Biocontrol de podredumbres en frutas por Bacillus amyloliquefaciens BUZ-14*. Tesis doctoral, Universidad de

Zaragoza. [Consultado el 3 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/117285/files/ESIS-2022-097.pdf>

Brattoli, M., Cisternino, E., Dambruoso, P.R., de Gennaro, G., Giungato, P., Mazzone, A., Palmisani, J., Tutino, M., (2013). Gas Chromatography Analysis with Olfactometric Detection (GC-O) as a Useful Methodology for Chemical Characterization of Odorous Compounds. *Sensors (Basel)* 13, 16759–16800. [Consultado el 29 de enero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s131216759>

Buendía-Moreno, L., Sánchez-Martínez, M.J., Antolinos, V., Ros-Chumillas, M., Navarro-Segura, L., Soto-Jover, S., Martínez-Hernández, G.B., López-Gómez, A., (2020). Active cardboard box with a coating including essential oils entrapped within cyclodextrins and/or halloysite nanotubes. A case study for fresh tomato storage. *Food Control* 107, 106763. [Consultado el 29 de enero de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106763>

Buendía-Moreno, L., Soto-Jover, S., López-Gómez, A., (2018). Development of an antimicrobial active cardboard packaging including encapsulated natural antimicrobial agents, for bulk packaging of fresh tomatoes and peppers. Desarrollo de un envase de cartón activo antimicrobiano que incluye agentes antimicrobianos naturales encapsulados, para el envasado a granel de tomates y pimientos frescos. *7º Workshop on Agri-food Research*. [Consultado el 29 de enero de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/7f5e6852-c91e-4c91-a903-eaf2565f19c4/content>

Cadillo, M.G.C., (2006). Cuantificación de licopeno y otros carotenoides en tomate y polvo de tomate. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 19 [Consultado el 29 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/141/14101911.pdf>

Carvajal, F., Palma, F., Jamilena, M., Garrido, D., (2015). Cell wall metabolism and chilling injury during postharvest cold storage in zucchini fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 68–77. [Consultado el 20 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.013>

Cavalli, R., Akhter, A.K., Bisazza, A., Giustetto, P., Trotta, F., Vavia, P., (2010). Nanosponge formulations as oxygen delivery systems. *Int J Pharm*, 402, 254–257. [Consultado el 2 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.09.025>

Clemente, I., Aznar, M., Silva, F., Nerín, C., (2016). Antimicrobial properties and mode of action of mustard and cinnamon essential oils and their combination against foodborne bacteria. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 26–33. [Consultado el 12 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.05.013>

Cocetta, G., Natalini, A., (2022). Ethylene: Management and breeding for postharvest quality in vegetable crops. *A review. Front. Plant Sci.*, 13. [Consultado el 1 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.968315>

Condori, L., Jiménez, J., Aparicio Porres, J., (2023). Tipos de envasado para frutas y hortalizas (Artículo de revisión) 2, 31–37. [Consultado el 5 de marzo de 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/372410590_Tipos_de_envasado_para_frutas_y_hortalizas_Articulo_de_revision

Dussán-Sarria, S., Rivera, M.C., García-Mogollon, C.A., Dussán-Sarria, S., Rivera, M.C., García-Mogollon, C.A., (2020). Almacenamiento refrigerado de piña mínimamente procesada. Cambios en atributos físico-químicos y sensoriales. *Información tecnológica*, 31, 11–18. [Consultado el 15 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000200011>

Emadpour, M., Rezaei kalaj, Y., (2015). Effect of the Potassium Permanganate Coated Zeolite Nanoparticles on the Quality Characteristic and Shelf Life of Peach and Nectarine. *Journal of Agricultural Technology*, 11, 1263–1273. [Consultado el 5 de abril de 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318325015_Effect_of_the_Potassium_Permanganate_Coated_Zeolite_Nanoparticles_on_the_Quality_Characteristic_and_Shelf_Life_of_Peach_and_Nectarine

Explorando el efecto del aceite esencial de canela para mejorar la estabilidad y seguridad de las manzanas frescas – Rashid, (2020). *Journal of Food Processing and Preservation - Wiley Online Library*. [Consultado el 1 de abril de 2024]. Disponible en: https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfpp.14926?casa_token=5e0SWXwWU50AAAAA%3A8h85_WG90BoYEzwC_ePEm15KxLqm5tc1u2tgEcEEnjmKGjbqR1sC8ftr7JTKnXjmc3Aq6xxcSpM

Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2019). Moving forward on food loss and waste reduction, The state of food and agriculture. [Consultado el 12 de abril de 2024]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>

Fasihi, H., Fazilati, M., Hashemi, M., Noshirvani, N., (2017). Novel carboxymethyl cellulose-polyvinyl alcohol blend films stabilized by Pickering emulsion incorporation method. *Carbohydrate Polymers*, 167, 79–89. [Consultado el 2 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.017>

Fernández León, A.M., Rodríguez Gómez, M.J., Serradilla, M.J., Pavón González, G., Velardo Micharet, B., (2020). Correlación entre las medidas de calidad y el contenido de compuestos funcionales con el índice de madurez no destructivo da-meter a lo largo de la maduración en melocotón “Carla.”. *XLI Jornadas de Viticultura y Enología de la Tierra de Barros*, 317–332. [Consultado el 2 de abril de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7617868>

Francis, G.A., Gallone, A., Nychas, G.J., Sofos, J.N., Colelli, G., Amodio, M.L., Spano, G., (2012). Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 52, 595–610. [Consultado el 22 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.503685>

Gallegos, P., Bañuelos-Valenzuela, R., Delgadillo, L., Meza-López, C. y Chairez, F. (2019). Actividad antibacteriana de cinco compuestos terpenoides: carvacrol, limoneno, linalool, α-terpineno y timol † [antibacterial activity of five terpenoid compounds: carvacrol, limonene, linalool, α-terpinene and thymol], (2019). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 241–248. Disponible en: doi: 10.56369/tsaes.2838

Getahun, E., Delele, M., Habtu, N., Fanta, S., Vanierschot, M., Tegenaw, P., (2021). Importance of integrated CFD and product quality modeling of solar dryers for fruits and vegetables: A review. *Solar Energy*, 220, 88–110. [Consultado el 30 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.03.049>

Hernández, A., Necha, L., Lauzardo, A. y Valle, M. (2011). Antifungal activity of chitosan and essential oils on Rhizopus stolonifer (Ehrenb.:Fr.) Vuill causal agent of soft rot of tomato. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13. 127-134. [Consultado el 30 de marzo de 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262517067_Antifungal_activity_of_chitosan_and_essential_oils_on_Rhizopus_stolonifer_EhrenbFr_Vuill_causal_agent_of_soft_rot_of_tomato

Kaur, S., Arora, N.K., Gill, M., Boora, R. s, Mahajan, B.V. c, Dhaliwal, H., (2014). Effect of perforated and non-perforated films on quality and storage life of guava fruits. *Indian Journal of Horticulture*, 71, 390–396. [Consultado el 13 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://journal.iah.org.in/index.php/ijh/article/view/1299>

López Valenzuela, J.Á., Valverde Juárez, F.J., Mejía Torres, S.L., López Angulo, G., Vega García, M.O., (2011). Efecto del almacenamiento en atmósfera controlada sobre la calidad poscosecha y nutricional del tomate. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 17, 115–128. [Consultado el 1 de marzo de 2024]. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2011000200005

López-Gómez, A., Ros-Chumillas, M., Buendía-Moreno, L., Martínez-Hernández, G.B., (2020). Active Cardboard Packaging With Encapsulated Essential Oils for Enhancing the Shelf Life of Fruit and Vegetables. *Frontiers in Nutrition*, 7. [Consultado el 12 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2020.559978/full>

Lucas-González, R., Yilmaz, B., Mousavi Khaneghah, A., Hano, C., Shariati, M.A., Bangar, S.P., Goksen, G., Dhama, K., Lorenzo, J.M., (2023). Cinnamon: An antimicrobial ingredient for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 35, 101026. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101026>

Mahajan, P.V., Caleb, O.J., Singh, Z., Watkins, C.B., Geyer, M., (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372, 20130309. [Consultado el 22 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>

Márquez, C.J., Otero, C.M., Rojano, B.A., Osorio, J.A., (2014). Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea S.*) en poscosecha. *Temas agrarios*, 19, 173–184. [Consultado el 12 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/732>

Martínez, M.V., Quesada, M., Manzano, S., Sances, A., (2018). Papel del etileno en el comportamiento diferencial de la maduración del fruto en cuatro variedades de pimiento. [Consultado el 1 de mayo de 2024]. Disponible en: https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/7032/TFM_VILLEGAS%20MARTINEZ,%20MIREYA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martínez-García P.J., Mas-Gómez J., Prudencio A.S, Barriuso J.J. y Cantín C.M., (2023) Genome-wide association analysis of *Monilinia fructicola* lesion in a collection of Spanish peach landraces. *Front. Plant Science*, 14. [Consultado el 4 de junio de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1165847>

Mederos-Torres, Y., Bernabé-Galloway, P., Ramírez-Arrebato, M.Á., Mederos-Torres, Y., Bernabé-Galloway, P., Ramírez-Arrebato, M.Á., (2020). Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. *Cultivos Tropicales*, 41. [Consultado el 12 de mayo de 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/351481795_Peliculas_basadas_en_polisacaridos_como_recubrimientos_biodegradables_y_su_empleo_en_la_postcosecha_de_los_frutos

Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I.M., Francisco J., H., (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54, 149–155. [Consultado el 12 de mayo de 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262738748_Importancia_nutricional_de_los_pigmentos_carotenoides

Mir, A.A., Sood, M., Bandral, J.D., Gupta, N., (2018). Effect of active packaging on physico-chemical characteristics of stored peach fruits. *J Pharmacogn Phytochem*, 7, 886–890. [Consultado el 2 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.phytojournal.com/archives/2018.v7.i1.2614/effect-of-active-packaging-on-physico-chemical-characteristics-of-stored-peach-fruits>

Perumal, A.B., Huang, L., Nambiar, R.B., He, Y., Li, X., Sellamuthu, P.S., (2022). Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chem*, 375, 131810. [Consultado el 2 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131810>

Porat, R., Licher, A., Terry, L.A., Harker, R., Buzby, J., (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 135–149. . [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.019>

Ruiz, A.E.R., Puente, M.I.A., (2020) Aplicación de absorbentes de etileno a escala doméstica: estudio de la vida útil y calidad de frutas y verduras frescas. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/327293>

Ruiz, J.N.M., Tortoledo-Ortiz, O., García-Robles, J.M., Báez-Sañudo, R.B., Valle-Sotelo, E.G., Falcón-Verdugo, L., Martínez-Gárate, A.A., (2019). Efecto de la aplicación exógena de etileno en el metabolismo de pulpa y cáscara de plátano. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81361553003>

Saino, T.J., (2020). Evaluación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en tomate. Tesis de grado. Universidad Nacional de La Plata. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/107101>

Salcedo Echavarría, A., (2014). Evaluación de absorbedores de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Trabajo de grado - Maestría. Universidad Nacional de Colombia. [Consultado el 20 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52474?locale-attribute=en>

Scattareggia, J. P., (2016). Aislamiento y selección de bacterias solubilizadoras de fósforo de un suelo cultivado con tomate para la industria. [Consultado el 21 de abril de 2024]. Disponible en: <https://bdigital.uncu.edu.ar/8408>

Sharma, S. y Sharma, R. R. (2016). Impact of staggered treatments of novel molecules and ethylene absorbents on postharvest fruit physiology and enzyme activity of 'Santa Rosa' plums. *Scientia Horticulturae*, 198, 242-248. [Consultado el 17 de abril de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.043>

Sharma, R., Singh, D., Singh, R., (2009). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control*, 50, 205–221. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.001>

Silva, F., Caldera, F., Trotta, F., Nerín, C., Domingues, F.C., (2019). Encapsulation of coriander essential oil in cyclodextrin nanosponges: A new strategy to promote its use in controlled-release active packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 56, 102177. [Consultado el 12 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102177>

Silva, F., Domingues, F.C., Nerín, C., (2018). Control microbial growth on fresh chicken meat using pinosylvin inclusion complexes based packaging absorbent pads. *LWT*, 89, 148–154. [Consultado el 12 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.043>

Sin, C., Rosenda Britos, M., Chamorro, M.E., Fernandez, D., Ortega, S., (2021). Aceites esenciales con actividad antibacteriana: posible aplicación y administración en odontología. *OVital*, 2. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.59334/ROV.v2i35.446>

Torres, R., Montes, E.J., Pérez, O.A., Andrade, R.D., (2013). Relación del Color y del Estado de Madurez con las Propiedades Fisicoquímicas de Frutas Tropicales. *Información tecnológica*, 24, 51–56. [Consultado el 2 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>

Valdés, Daybelis Fernández, Baños, S.B., Valdés, Dayvis Fernández, Ramírez, A.O., Pereira, A.G., Rodríguez, A.F., (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24, 52–56. [Consultado el 1 de mayo de 2024]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000300008

Veitch, J., (2023). CIE Research Strategy 2023. *International Commission on Illumination*. [Consultado el 3 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.25039/vudfg44z>

Vélez, L., Soto-Valdez, H., Gavara, R., (2007). Efectividad de absorbedores de etileno en la conservación de plátanos envasados. [Consultado el 3 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/8541f90b-ad09-45ee-b2ac-9a3012f80f69/content>

Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M.D.C., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M.K., Freire, C.S.R., (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 212–222. [Consultado el 3 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>

Wen, P., Zhu, D.-H., Wu, H., Zong, M.-H., Jing, Y.-R., Han, S.-Y., (2016). Encapsulation of cinnamon essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. *Food Control*, 59, 366–376. [Consultado el 3 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.005>

Yang, Q., Wang, H., Zhang, H., Zhang, X., T. Apaliya, M., Zheng, X., Mahunu, G., (2017). Effect of *Yarrowia lipolytica* on postharvest decay of grapes caused by *Talaromyces rugulosus* and the protein expression profile of *T. rugulosus*. *Postharvest Biology and Technology*, 126, 15–22. [Consultado el 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.11.015>