



Ripening of avocado var. Hass with ethylene: Effect of dry matter content at harvest and short-term cold storage

Maduración de aguacate var. Hass con etileno: efecto del contenido de materia seca en la cosecha y periodos cortos de almacenamiento en frío

Laydy Mitsu Mena-Chacon^{1*}; Thomás Fichet-Lagos¹;
Reinaldo Campos-Vargas¹; Bruno Defilippi²; Víctor Escalona¹

¹Universidad de Chile. Av. Santa Rosa, núm. 11315, La Pintana, Región Metropolitana, Chile.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional La Platina. Av. Santa Rosa, núm. 11610, La Pintana, Región Metropolitana, Chile.

*Corresponding author: laydy.mena@ug.uchile.cl

Abstract

Heterogeneity in dry matter (DM) content at harvest and uneven ripening affect the postharvest quality of avocado var. Hass, because they have been associated with internal browning disorders and reduced shelf-life. This research aimed to determine the effect of DM content at harvest, cold storage time, and ethylene concentration on the postharvest quality of 'Hass' avocado. Two DM levels (<22.2 % and >25.9 %), two storage periods at 5 °C (7 and 14 days), and three ethylene concentrations (0, 25, and 110 ppm applied for 24 h at 20 °C) were studied. Data were analyzed using a linear mixed model and Fisher's LSD test ($\alpha = 0.05$). Significant differences were observed in ethylene production rate, respiration, weight loss, antioxidant capacity, total phenol content, chlorophylls ($a+b$, a , and b), polyphenol oxidase activity, internal browning, and time to ripening. Ethylene application (25 and 110 ppm) at the end of the storage period reduced the incidence of internal browning in 'Hass' avocado by approximately 10 %, as well as the ripening time.

Keywords: internal browning, *Persea americana* Mill., postharvest quality, polyphenol oxidase.

Resumen

La heterogeneidad en el contenido de materia seca (MS) al momento de la cosecha y la maduración desigual afectan la calidad poscosecha del aguacate var. Hass, ya que ambos factores se han asociado con trastornos de pardeamiento interno y reducción de la vida de anaquel. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del contenido de MS al momento de la cosecha, el tiempo de almacenamiento en frío y la concentración de etileno sobre la calidad poscosecha de frutos de aguacate 'Hass'. Se estudiaron dos niveles de MS (<22.2 % y >25.9 %), dos períodos de almacenamiento a 5 °C (7 y 14 días) y tres concentraciones de etileno (0, 25 y 110 ppm, aplicadas durante 24 h a 20 °C). Los datos se analizaron mediante un modelo lineal mixto y la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0.05$). Se observaron diferencias significativas en la tasa de producción de etileno, la respiración, la pérdida de peso, la capacidad antioxidante, el contenido total de fenoles, las clorofilas ($a+b$, a y b), la actividad de la polifenol oxidasa, el oscurecimiento interno y el tiempo de maduración. La aplicación de etileno (25 y 110 ppm) al final del periodo de almacenamiento redujo en aproximadamente 10 % la incidencia de oscurecimiento interno en el aguacate 'Hass', así como el tiempo de maduración.

Palabras clave: oscurecimiento interno, *Persea americana* Mill., calidad poscosecha, polifenol oxidasa.

Please cite this article as follows (APA 7): Mena-Chacón, L. M., Fichet-Lagos, T., Campos-Vargas, R., Defilippi, B., & Escalona, V. (2025). Ripening of avocado var. Hass with ethylene: Effect of dry matter content at harvest and short-term cold storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 31, e25003. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2025.02.003>



Revista Chapingo
Serie Horticultura

Introduction

The concept of postharvest quality in avocado var. Hass is broad; however, from a commercial standpoint, it focuses on time to ripening, the incidence of external and internal disorders, skin or peel color, and flesh firmness (Defilippi et al., 2015; Kader & Yahia, 2011). Among various maturity indicators, oil content has been identified as the most reliable harvest index for 'Hass' avocado (Yahia & Woolf, 2011), and it is strongly correlated with dry matter (DM) content (Lee et al., 1983; Lewis, 1978). The minimum DM content required at harvest to ensure normal ripening and acceptable flavor varies by fruit origin (from 20.6 to 25 %) (Woolf et al., 2020). In several Latin American countries, a DM content of 21.5 % has been established as a marketing criterion, while in Chile, a value of 23 % DM at harvest time has been established (Servicio Nacional de Sanidad Agraria de Perú - Servicio Agrícola y Ganadero de Chile [SENASA-SAG], 2013).

When DM is below 23 %, avocado ripening becomes irregular and internal browning disorders tend to increase; conversely, fruits harvested with very high DM (>32 %) exhibit a markedly reduced shelf-life (Adato & Gazit, 1974; Osuna-García et al., 2011; Woolf et al., 2020; Yahia & Woolf, 2011). In this context, postharvest technologies that enable the control of ripening are needed to ensure quality at the time of consumption (Arpaia et al., 2015, 2018; Gamble et al., 2010; Yahia & Woolf, 2011).

One of the most widely used technologies for modifying the ripening process is the exogenous application of ethylene; however, its effectiveness depends on the physiological age of the fruit at the moment of application, exposure time, and ethylene concentration (Gazit & Blumenfeld, 1970; Gwanpua et al., 2018; Kader, 1985; Saltveit, 1999). From harvest to full ripening, avocados progress through four physiological stages directly associated with ethylene: inhibition, pre-climacteric, climacteric, and post-climacteric (Wei et al., 2021). During the inhibition stage, exogenous ethylene applications would have no response due to the lack of tissue sensitivity; from the preclimacteric stage onwards, exogenous ethylene favors the autocatalytic production of endogenous ethylene (Eaks, 1976; Wei et al., 2021).

Studies carried out under this premise show that the application of exogenous ethylene during the pre-climacteric stage promotes and homogenizes ripening (Arpaia et al., 2018; Giuggioli et al., 2021; Rosas-Flores et al., 2020). Similarly, cold storage (0-10 °C) has been described to drastically reduce the rate of respiration and ethylene production, while allowing subsequent ripening at 15-20 °C to proceed more uniformly and

Introducción

El concepto de calidad poscosecha en el aguacate var. Hass es amplio; sin embargo, desde un punto de vista comercial, se centra en el tiempo de maduración, la incidencia de trastornos externos e internos, el color de la piel o cáscara, y la firmeza de la pulpa (Defilippi et al., 2015; Kader & Yahia, 2011). Entre los diversos indicadores de madurez, el contenido de aceite se ha identificado como el índice de cosecha más fiable para el aguacate 'Hass' (Yahia & Woolf, 2011) y está estrechamente relacionado con el contenido de materia seca (MS) (Lee et al., 1983; Lewis, 1978). El contenido de MS mínimo requerido al momento de la cosecha para garantizar una maduración normal y un sabor aceptable varía según el origen de la fruta (de 20.6 a 25 %) (Woolf et al., 2020). En varios países de Latinoamérica, se ha establecido como criterio de comercialización un contenido de 21.5 % de MS, mientras que Chile ha establecido un valor de 23 % al momento de la cosecha (Servicio Nacional de Sanidad Agraria de Perú - Servicio Agrícola y Ganadero de Chile [SENASA-SAG], 2013).

Cuando el contenido de MS es inferior al 23 %, la maduración del aguacate se vuelve irregular y los problemas de pardeamiento interno tienden a aumentar; por el contrario, los frutos cosechados con un contenido muy alto de MS (>32 %) presentan una vida útil notablemente reducida (Adato & Gazit, 1974; Osuna-García et al., 2011; Woolf et al., 2020; Yahia & Woolf, 2011). En este contexto, es necesario contar con tecnologías poscosecha que permitan controlar la maduración para garantizar la calidad al momento del consumo (Arpaia et al., 2015, 2018; Gamble et al., 2010; Yahia & Woolf, 2011).

Una de las tecnologías más utilizadas para modificar el proceso de maduración es la aplicación exógena de etileno; sin embargo, su eficacia depende de la edad fisiológica de la fruta al momento de la aplicación, el tiempo de exposición y la concentración de etileno (Gazit & Blumenfeld, 1970; Gwanpua et al., 2018; Kader, 1985; Saltveit, 1999). Desde la cosecha hasta la maduración completa, los aguacates pasan por cuatro etapas fisiológicas directamente relacionadas con el etileno: inhibición, preclimaterio, climaterio y posclimaterio (Wei et al., 2021). Durante la fase de inhibición, las aplicaciones de etileno exógeno no tendrían efecto debido a la falta de sensibilidad de los tejidos; a partir de la fase de preclimaterio, el etileno exógeno favorece la producción autocatalítica de etileno endógeno (Eaks, 1976; Wei et al., 2021).

Los estudios realizados bajo esta premisa muestran que la aplicación de etileno exógeno durante la fase de preclimaterio favorece y homogeneiza la maduración (Arpaia et al., 2018; Giuggioli et al., 2021; Rosas-Flores

with fewer physiological disorders and rots (Arpaia et al., 2015; Eaks, 1976; Gwanpua et al., 2018; Yahia & Woolf, 2011). Arpaia et al. (2018) reported that 'Hass' fruit with DM content between 19.9 to 28.9 %, treated with 40-60 ppm ethylene for 24-72 h before 14 days of storage at 5 °C, slightly reduced ripening time after the storage.

In contrast, research on other varieties indicates that ethylene applied during cold storage may increase physiological disorders. In 'Fuerte' avocado, exposure to 4 ppm ethylene at 5 °C during storage has been shown to increase enzymatic browning of the pulp (Kahn, 1977; Pesis et al., 2002). However, research on 'Hass' avocado remains inconclusive. For example, Arpaia et al. (2018) reported that applying 40 ppm ethylene before cold storage (DM 27.1 %, range 21.0-30.6 %) reduced the development of physiological disorders, whereas García-Rojas et al. (2016) concluded that treating fruit with 100 ppm ethylene for 24 h after 30 days of storage at 5 °C (DM 26.5 %) did not affect the incidence of physiological disorders.

Considering the above, the objective of this study was to determine the effect of ethylene applied after short periods of cold storage on the quality and ripening of 'Hass' avocado fruit harvested at different DM contents.

Materials and methods

Location

The research was conducted from October (2021) to February (2022) in the laboratories of the Postharvest Study Center (CEPOC), Faculty of Agricultural Science, University of Chile, Santiago, Chile.

Experimental design

The experiment was set up under a completely randomized design with a factorial arrangement (2×2×3). The first factor corresponded to DM content at harvest (<22.2 % and >25.9 %). The second factor was the cold storage period (7 or 14 days at 5 °C). The third factor consisted of ethylene concentrations (0, 25, and 110 ppm) applied by continuous injection for 24 h at 20 °C. Each treatment had three replicates, with a total of 36 experimental units. The experimental unit consisted of 30 fruits placed in double-layer corrugated cardboard boxes. The workflow is shown in Figure 1.

Experiment management

Five-year-old 'Hass' avocado trees (*Persea americana* Mill.), grafted onto 'Mexicola' rootstock and located in Peumo, O'Higgins Region, Chile (32° 52' 50" S and 70° 54' 40" W, at 496 m a. s. l.), were used. The orchard was managed under a 6 × 5 m planting frame

et al., 2020). Del mismo modo, se ha descrito que el almacenamiento en frío (0-10 °C) reduce drásticamente la tasa de respiración y la producción de etileno; además, permite que la maduración posterior a 15-20 °C se produzca de forma más uniforme y con menos trastornos fisiológicos y podredumbres (Arpaia et al., 2015; Eaks, 1976; Gwanpua et al., 2018; Yahia & Woolf, 2011). Arpaia et al. (2018) mencionan que los frutos de aguacate 'Hass' con un contenido de MS entre 19.9 y 28.9 %, tratados con 40-60 ppm de etileno durante 24-72 h antes de 14 días a 5 °C, redujeron ligeramente su tiempo de maduración después del almacenamiento.

Por el contrario, las investigaciones sobre otras variedades indican que la aplicación de etileno durante el almacenamiento en frío puede aumentar los trastornos fisiológicos. En frutos de aguacate 'Fuerte', se ha demostrado que la exposición a 4 ppm de etileno a 5 °C durante el almacenamiento aumenta el oscurecimiento enzimático de la pulpa (Kahn, 1977; Pesis et al., 2002). Sin embargo, las investigaciones en 'Hass' siguen sin ser concluyentes. Por ejemplo, Arpaia et al. (2018) reportaron que la aplicación de 40 ppm de etileno antes del almacenamiento en frío (MS 27.1 %, entre 21.0 y 30.6 %) redujo el desarrollo de trastornos fisiológicos, mientras que García-Rojas et al. (2016) concluyeron que tratar la fruta con 100 ppm de etileno durante 24 h después de 30 días de almacenamiento a 5 °C (MS 26.5 %) no influía en la incidencia de trastornos fisiológicos.

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto del etileno aplicado después de breves periodos de almacenamiento en frío sobre la calidad y maduración de frutos de aguacate 'Hass' cosechados con diferentes contenidos de MS.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó de octubre (2021) a febrero (2022) en los laboratorios del Centro de Estudios Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2×2×3). El primer factor correspondió al contenido de MS al momento de la cosecha (<22.2 % y >25.9 %). El segundo factor fue el periodo de almacenamiento en frío (7 o 14 días a 5 °C). El tercer factor consistió en diferentes concentraciones de etileno (0, 25 y 110 ppm) aplicadas mediante inyección continua durante 24 h a 20 °C. Todos los tratamientos se realizaron por triplicado, lo que dio un total de 36 unidades experimentales. La unidad experimental consistió en 30 frutos colocados

(333 plants·ha⁻¹), with an east-west orientation, trained canopy system, and micro-sprinkler irrigation. Fruits weighing approximately 167 g (range: 140 to 240 g), with the typical green skin of the variety, intact peduncle, and optimal external quality for export, were selected. Fruits showing mechanical damage or deformities were discarded.

Two harvest dates were carried out to obtain fruits with different DM content. The first harvest was conducted on October 7 (season), corresponding to fruit with DM <22.2 % (average 20.2 %, minimum 18.7 %, maximum 22.2 %). The second harvest was carried out on November 25, corresponding to DM >25.9 % (average 29.1 %, minimum 25.9 %, maximum 32.3 %). In both cases, the harvest was carried out between 7:00 and 9:00 a.m. The fruits were transported to the laboratory in approximately 2 h, where they were inspected for mechanical or phytosanitary damage before assignment to treatments.

DM content was used as an indirect indicator of oil content based on Fichet and Silva (2022) for the locality of Peumo. According to this, fruits from the first (DM <22.2 %) and the second harvest (DM >25.9 %) presented average oil contents of 7.33 and 13.13 %, respectively.

en cajas de cartón corrugado de doble capa. El flujo de trabajo se muestra en la Figura 1.

Manejo del experimento

Se utilizaron árboles de aguacate 'Hass' (*Persea americana* Mill.) de cinco años, injertados en portainjertos 'Mexicola' y ubicados en Peumo, región de O'Higgins, Chile (32° 52' 50" S y 70° 54' 40" O, a 496 m s. n. m.). El huerto se manejó con una estructura de plantación de 6 × 5 m (333 plantas·ha⁻¹), orientación este-oeste, sistema de copas podadas y riego por microaspersión. Se seleccionaron frutos de aproximadamente 167 g (entre 40 y 240 g), con la piel verde típica de la variedad, pedúnculo intacto y calidad externa óptima para exportación. Se descartaron los frutos que presentaban daños mecánicos o deformidades.

Se realizaron dos cosechas para obtener frutos con diferente contenido de MS. La primera se llevó a cabo el 7 de octubre (primavera), correspondiente a frutos con un contenido de MS <22.2 % (promedio 20.2 %, mínimo 18.7 %, máximo 22.2 %). La segunda se realizó el 25 de noviembre, correspondiente a frutos con un contenido de MS >25.9 % (promedio 29.1 %, mínimo 25.9 % y máximo 32.3 %). En ambos casos, la cosecha

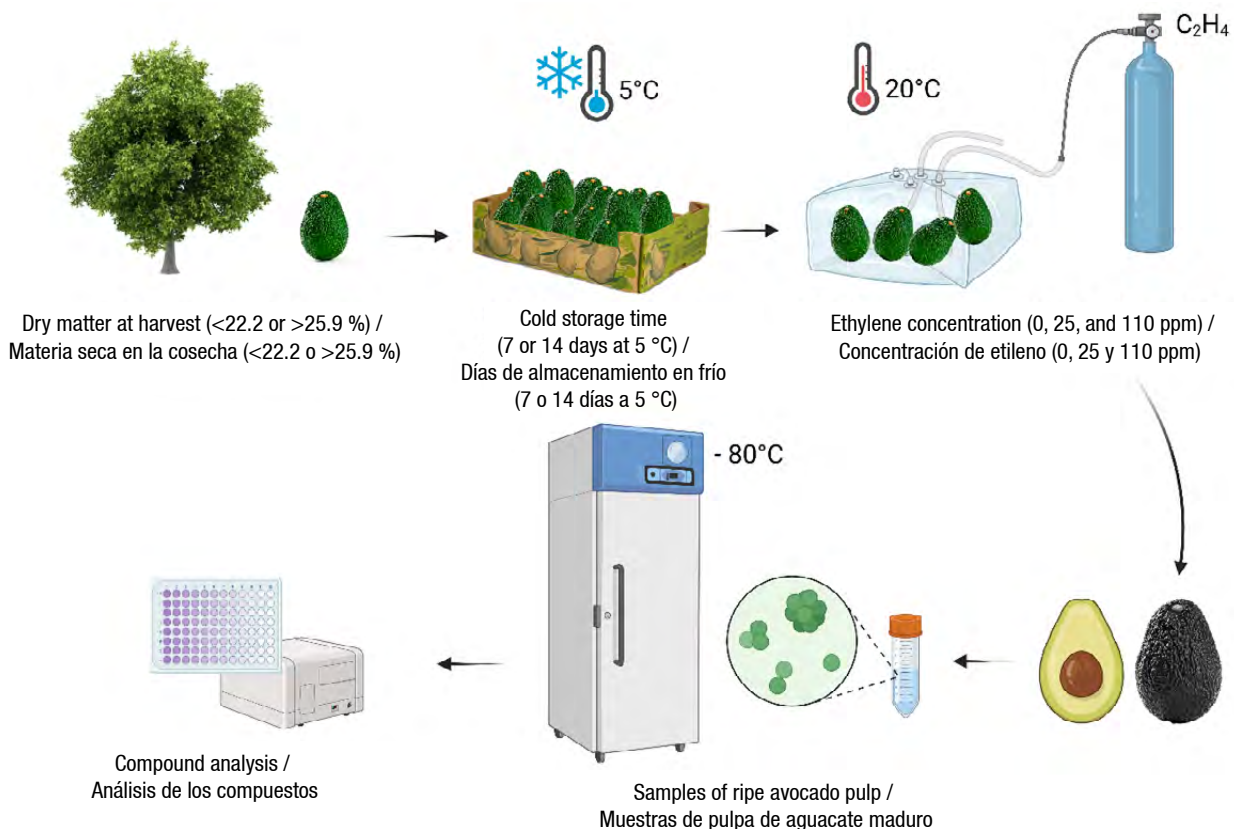


Figure 1. Experimental process from harvest to sample analysis.

Figura 1. Proceso experimental desde la cosecha hasta el análisis de muestras.

Cold storage conditions at 5 °C and 90 % relative humidity (RH) were monitored with an Elitech RC-51H datalogger (Elitech Technology Inc.[®], UK). At the end of the cold storage period, ethylene in the form of azethyl (C₂H₄ at 5 % in N₂) was applied by continuous injection for 24 h in individual plastic chambers at 20 °C. For 0-ppm treatment, fruits were transferred directly to ripening chambers (20 °C and 80 % RH) until consumption maturity was reached, established as pulp firmness between 4.4 to 8.9 N (Arpaia et al., 2018; Defilippi et al., 2015). Firmness was measured in the equatorial region using a hand-held penetrometer with an 8 mm tip (FT327, FT011, Effegi, Italy).

Variables evaluated

Ethylene production and respiration rates

Ethylene production and respiration rates were determined at harvest, following the methodology described by Defilippi et al. (2015). Each fruit was placed in 1.6-L airtight jar at 20 °C. After 3 h, a 1-mL headspace sample was injected into a gas chromatograph (GC 8A, Shimadzu, Japan) equipped with an alumina column (Supelco 80/100 Porapak; 75 cm × 5 mm × 3 mm) and a flame ionization detector (FID). Oven and injector temperatures were 40 and 150 °C, respectively. The results of ethylene production were expressed in $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Respiration rate was measured using a gas analyzer (Checkmate 9900, PBI-Dansensor, Denmark) by quantifying CO₂ production in the same jars. Results were expressed in $\text{mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Physicochemical characteristics

Tissue samples were prepared from 2-mm-thick longitudinal pulp slices of 15 fruits per treatment at each evaluation time: harvest, end of storage period, and ripeness. Samples were homogenized with liquid nitrogen, and 10 g of tissue were stored at -80 °C until analysis.

Chlorophyll content. Chlorophyll was quantified according to the methodologies described by Lichtenthaler and Wellburn (1983) and Rosas-Flores et al. (2020), with slight modifications. One gram of pulp was mixed with 10 mL of 80 % acetone (v/v), vortexed for 1 min, macerated for 30 min in the dark, and centrifuged at 10000×g for 20 min at 4 °C (Z326K, Hermle[®], Germany). The supernatant was passed through a 0.22- μm filter, and absorbance was read at 645 nm (A_{645}) and 663 nm (A_{663}) using a plate spectrophotometer (ASYS UVM 340, Hitech GmbH, Austria). Results were expressed as micrograms of chlorophyll *a+b*, *a*, and *b* per gram of fresh weight ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW).

se realizó entre las 7:00 y las 9:00 a.m. Los frutos se transportaron al laboratorio en aproximadamente 2 h, donde se inspeccionaron para detectar daños mecánicos o fitosanitarios antes de asignarlos a los tratamientos.

El contenido de MS se utilizó como indicador indirecto del contenido de aceite de acuerdo con lo establecido por Fichet y Silva (2022) para la localidad de Peumo. Considerando lo anterior, los frutos de la primera (MS <22.2 %) y de la segunda cosecha (MS >25.9 %) presentaron un contenido promedio de aceite de 7.33 y 13.13 %, respectivamente.

Las condiciones de almacenamiento en frío a 5 °C y 90 % de humedad relativa (HR) se monitorearon con un registrador de datos Elitech RC-51H (Elitech Technology Inc.[®], Reino Unido). Al final del periodo de almacenamiento en frío, se aplicó etileno en forma de azetilo (C₂H₄ al 5 % en N₂) mediante inyección continua durante 24 h en cámaras de plástico individuales a 20 °C. Para el tratamiento de 0 ppm, los frutos se transfirieron directamente a cámaras de maduración (20 °C y 80 % HR) hasta alcanzar la madurez de consumo, establecida como la firmeza de la pulpa entre 4.4 y 8.9 N (Arpaia et al., 2018; Defilippi et al., 2015). La firmeza se midió en la región ecuatorial con un penetrómetro manual con punta de 8 mm (FT327, FT011, Effegi, Italia).

Variables evaluadas

Producción de etileno y tasa de respiración

La producción de etileno y las tasas de respiración se determinaron al momento de la cosecha de acuerdo con la metodología de Defilippi et al. (2018). Cada fruto se colocó en un frasco hermético de 1.6 L a 20 °C. Después de 3 h, se inyectó una muestra de 1 mL del espacio de cabeza en un cromatógrafo de gases (GC 8A, Shimadzu, Japón) equipado con una columna de alúmina (Supelco 80/100 Porapak; 75 cm × 5 mm × 3 mm) y un detector de ionización de llama (FID). Las temperaturas del horno y del inyector fueron de 40 y 150 °C, respectivamente. Los resultados de la producción de etileno se expresaron en $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

La tasa de respiración se midió con un analizador de gases (Checkmate 9900, PBI-Dansensor, Dinamarca) mediante la cuantificación de la producción de CO₂ en los mismos frascos. Los resultados se expresaron en $\text{mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Características físicoquímicas

Las muestras de tejido se prepararon a partir de cortes longitudinales de pulpa de 2 mm de grosor de 15 frutos por tratamiento en cada evaluación: cosecha, final del

Total phenolics and antioxidant capacity. These variables were quantified using spectrophotometric methods described by Saavedra et al. (2017) and Fuentealba et al. (2022), with slight modifications. Absorbance was measured at 765 nm (total phenols) and 517 nm (antioxidant capacity) using a plate spectrophotometer (ASYS UVM 340, Hitech GmbH, Austria). Total phenols were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of FW ($\text{mg}_{\text{GAE}} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$), and antioxidant capacity as micromoles of Trolox per gram of FW ($\mu\text{M}_{\text{TE}} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$).

Polyphenol oxidase (PPO) activity. PPO activity was determined as specified by Fuentealba et al. (2022). Enzymatic extracts were obtained by homogenizing 100 mg of frozen pulp in 500 μL of extraction buffer (0.1 M sodium phosphate, 2 % polyvinylpyrrolidone, and pH 6.5). Samples were vortexed for 1 min and centrifuged at 10000 \times g for 10 min at 4 °C (Z326K, Hermle®, Germany). For PPO activity determination, 120 μL of buffer, 5 μL of enzyme extract, and 40 μL of 0.1 M catechol were placed in each well of a 96-well microplate. Oxidation of catechol was monitored for 4 min by measuring absorbance at 410 nm every 40 s. PPO activity was calculated from the slope of the linear reaction phase and expressed as millimoles of catechol per minute per gram of protein ($\text{mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$).

Soluble protein content was determined by the Bradford method (Bradford, 1976), with bovine serum albumin as standard, and expressed as micrograms per gram of FW ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$).

Days to ripening. The consumption maturity state was established as a pulp firmness between 4.4 to 8.9 N (Arpaia et al., 2018; Defilippi et al., 2015). The number of days required to reach this stage after ethylene application was recorded. Ripening conditions were 20 °C and 85 % RH for all treatments.

Internal browning. The incidence of flesh and vascular browning was evaluated visually in longitudinally cut fruits at the consumption maturity stage according to the scale of Defilippi et al. (2015).

Statistical analysis

Data were analyzed using a linear mixed model ($p \leq 0.05$), after verifying compliance with parametric assumptions: normality (Shapiro-Wilk test) and homogeneity of variances (Barlett test). When significant effects of interactions or main factors were found, Fisher's LSD test was applied ($\alpha = 0.05$). All analyses were performed with the statistical software InfoStat version 2020, integrating the R Core Team environment (InfoStat, Córdoba, Argentina).

periodo de almacenamiento y madurez. Las muestras se homogeneizaron con nitrógeno líquido y se almacenaron 10 g de tejido a -80 °C hasta su análisis.

Contenido de clorofila. La clorofila se cuantificó de acuerdo con la metodología descrita por Lichtenthaler y Wellburn (1983) y Rosas-Flores et al. (2020), con ligeras modificaciones. Se mezcló 1 g de pulpa con 10 mL de acetona al 80 % (v/v), se agitó en vórtex durante 1 min, se maceró durante 30 min en oscuridad y se centrifugó a 10000 \times g por 20 min a 4 °C (Z326K, Hermle®, Alemania). El sobrenadante se pasó por un filtro de 0.22 μm , y se leyó la absorbancia a 645 nm (A_{645}) y 663 nm (A_{663}) en un espectrofotómetro de placas (ASYS UVM 340, Hitech GmbH, Austria). Los resultados se expresaron en microgramos de clorofila $a+b$, a y b por gramo de peso fresco ($\mu\text{M} \cdot \text{g} \text{PF}$).

Fenoles totales y capacidad antioxidante. Estas variables se determinaron y cuantificaron mediante los métodos espectrofotométricos descritos por Saavedra et al. (2017) y Fuentealba et al. (2022), con ligeras modificaciones. La absorbancia se midió a 765 nm (fenoles totales) y 517 nm (capacidad antioxidante) en un espectrofotómetro de placa (ASYS UVM 340, Hitech GmbH, Austria). Los fenoles totales se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de PF ($\text{mg}_{\text{EAG}} \cdot \text{g}^{-1} \text{PF}$) y la capacidad antioxidante como micromoles de Trolox por gramo de PF ($\mu\text{M}_{\text{ET}} \cdot \text{g}^{-1} \text{PF}$).

Actividad de la polifenol oxidasa (PFO). La actividad de la PFO se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Fuentealba et al. (2022). Los extractos enzimáticos se obtuvieron después de homogeneizar 100 mg de pulpa congelada en 500 μL de tampón de extracción (fosfato sódico al 0.1 M, polivinilpirrolidona al 2 % y pH de 6.5). Las muestras se agitaron por 1 min y se centrifugaron a 10000 \times g durante 10 min a 4 °C (Z326K, Hermle®, Alemania). Para determinar la actividad de la PFO, se colocaron 120 μL de tampón, 5 μL de extracto enzimático y 40 μL de catecol al 0.1 M en cada pocillo de una microplaca de 96 pocillos. Se monitoreó la oxidación del catecol durante 4 min mediante la absorbancia a 410 nm cada 40 s. La actividad de la PFO se calculó a partir de la pendiente de la fase de reacción lineal y se expresó en milimoles de catecol por minuto por gramo de proteína ($\text{mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$).

El contenido de proteína soluble se determinó por el método de Bradford (Bradford, 1976), con albúmina bovina como estándar, y se expresó en microgramos por gramo de PF ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{PF}$).

Días hasta la maduración. El estado de madurez para el consumo se estableció cuando la firmeza de la pulpa alcanzó valores de 4.4 a 8.9 N (Arpaia et al.,

Results and discussion

Ethylene production and respiration rate

Avocado is classified as a climacteric fruit due to its respiration pattern and ethylene production during ripening (Lee et al., 1983; Yahia & Woolf, 2011). At the pre-climacteric stage, ethylene production is low or undetectable, with values below $0.1 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ at 20°C at harvest (Yahia & Woolf, 2011) and below $1.2 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ during storage at 5°C for 25 days (Eaks, 1976). In this study, ethylene production at harvest was low and did not differ significantly between fruit (Table 1), confirming their pre-climacteric status. However, after storage, fruit with higher DM exhibited significantly more ethylene production, indicating that harvest maturity influenced ethylene biosynthesis. Likewise, ethylene production increased significantly ($p < 0.0001$) with storage time and the DM \times T interaction. The highest ethylene value ($3.81 \pm 0.58 \mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) was

2018; Defilippi et al., 2015). Se registró el número de días necesarios para alcanzar esta etapa después de la aplicación de etileno. Las condiciones de maduración fueron 20°C y 85 % de HR para todos los tratamientos.

Pardeamiento interno. La incidencia del oscurecimiento en la pulpa y los vasos se evaluó visualmente en frutos cortados longitudinalmente en la etapa de madurez de consumo, según la escala de Defilippi et al. (2015).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un modelo lineal mixto ($p \leq 0.05$), después de verificar el cumplimiento de los supuestos paramétricos: normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de las varianzas (prueba de Barlett). Cuando se encontraron efectos significativos en interacciones o factores principales, se aplicó la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher ($\alpha = 0.05$). Todos los análisis se realizaron en el programa

Table 1. Ethylene production and respiration rate of avocado var. Hass fruits harvested with different dry matter content and stored at 5°C .

Cuadro 1. Producción de etileno y tasa de respiración de frutos de aguacate var. Hass cosechados con diferente contenido de materia seca y almacenados a 5°C .

Variables	Ethylene production ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) / Producción de etileno ($\mu\text{L C}_2\text{H}_4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)		Respiratory rate ($\text{mL CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) / Tasa de respiración ($\text{mL CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)		
	Harvest / Cosecha	End of storage / Fin del almacenamiento	Harvest / Cosecha	End of storage / Fin del almacenamiento	
Dry matter (DM; %)/ Materia seca (MS; %)	<22.2	$0.70 \pm 0.10^{\text{NS}}$	$0.44 \pm 0.41 \text{ b}$	$39.55 \pm 3.09 \text{ b}$	$32.82 \pm 4.27 \text{ b}$
	>25.9	$0.42 \pm 0.10^{\text{NS}}$	$2.72 \pm 0.41 \text{ a}$	$54.81 \pm 3.09 \text{ a}$	$51.95 \pm 4.27 \text{ a}$
	<i>p</i> -value/ Valor de <i>p</i>	0.0501	<0.0001	0.0018	0.0014
	LSD/DMS	0.37	0.55	9.12	11.10
Storage time (T; days)/ Tiempo de almacenamiento (T; días)	7	–	$1.02 \pm 0.41 \text{ b}$	–	$32.06 \pm 4.27 \text{ b}$
	14	–	$2.14 \pm 0.41 \text{ a}$	–	$52.71 \pm 4.27 \text{ a}$
	<i>p</i> -value/ Valor de <i>p</i>	–	<0.0001	–	0.0002
	LSD/DMS	–	0.55	–	11.11
DM \times T/ MS \times T	<22.2 \times 7	–	$0.42 \pm 0.58 \text{ b}$	–	$34.38 \pm 6.04 \text{ b}$
	<22.2 \times 14	–	$0.46 \pm 0.58 \text{ b}$	–	$31.25 \pm 6.04 \text{ b}$
	>25.9 \times 7	–	$0.62 \pm 0.58 \text{ b}$	–	$29.74 \pm 6.04 \text{ b}$
	>25.9 \times 14	–	$3.81 \pm 0.58 \text{ a}$	–	$74.16 \pm 6.04 \text{ a}$
	<i>p</i> -value/ Valor de <i>p</i>	–	<0.0001	–	<0.0001
	LSD/DMS	–	0.77	–	15.71

LSD: least significant difference; NS: not significant. Values correspond to the arithmetic mean of three measurements ($n = 3$). Different letters in each column indicate significant differences for factors or interactions per evaluation time (Fisher, $p \leq 0.05$).

DMS: diferencia mínima significativa; NS: no significativo. Los valores corresponden a la media aritmética de tres mediciones ($n = 3$). Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas para factores o interacciones por tiempo de evaluación (Fisher, $p \leq 0.05$).

recorded in fruit with >25.9 % DM stored for 14 days. Nonetheless, these values remained below the threshold required to induce autocatalytic ethylene production, which has been reported to begin at $10 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ at 20°C (Gwanpua et al., 2018).

Respiration rate at harvest ranged from 39.55 to $54.81 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ depending on DM content, values within the expected range for freshly harvested fruit (20 to $89 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (Arpaia, 2015; Campos et al., 2020; Eaks, 1976; Yahia & Woolf, 2011). After storage, fruit with higher DM content maintained a significantly higher respiration rate than those with lower DM (Table 1).

Storage time and DM \times T interaction had a highly significant effect ($p < 0.001$) on respiration rate. The highest respiration rate was observed in fruits with > 25.9 % DM after 14 days of storage ($74.16 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; Table 1). These results suggest that more mature fruit (higher DM) progressed faster toward the climacteric phase, although cold storage (5°C) delayed the full climacteric peak. This agrees with previous reports by Eaks (1976) and Gwanpua et al. (2018), who noted that both the climacteric peak and the increase in respiration rate at low temperatures occurred after 25 days. Such delays may be due to the inhibitory effect of low temperature on ethylene biosynthesis and respiration-related enzymes (Abeles et al., 1992; Eaks, 1976; Kader & Yahia, 2011; Ortiz-Viedma et al., 2018).

Chlorophyll content

DM content at harvest significantly ($p < 0.05$) affected *a* and *a+b* chlorophyll in the pulp. Fruit with 22.2 % DM showed $2.53 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW of *a+b* chlorophyll, while fruit with 25.9 % DM had $2.34 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW. The chlorophyll *a* content was statistically different ($p < 0.05$) between DM levels, with values of 1.33 and $1.23 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW for fruits with 22.2 and 25.9 % DM, respectively. In contrast, chlorophyll *b* showed no significant differences ($p > 0.05$) at harvest (average $1.33 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW). No significant ($p > 0.05$) effects of DM, storage time, or their interaction were detected at later assessments, with values of 2.27, 1.23, and $1.05 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW of *a+b*, *a*, and *b* chlorophyll after cold storage, and 2.31, 1.25, and $1.06 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ FW of *a+b*, *a*, and *b* chlorophyll at ripening, respectively.

The abundance and variation of chlorophyll content in plant tissues are due to its being a primary pigment that participates in the light phase of photosynthesis (Taiz & Zeiger, 2006). As an accessory pigment, chlorophyll *b* exhibited lower concentrations than chlorophyll *a* at all evaluation times, which coincides with the findings reported by Ashton et al. (2006), Campos et al. (2020), and Rosas-Flores et al. (2020). Chlorophyll also plays a critical role in oxidation processes during storage, influencing

estadístico InfoStat versión 2020, integrado en el entorno R Core Team (InfoStat, Córdoba, Argentina).

Resultados y discusión

Producción de etileno y tasa de respiración

El aguacate se clasifica como un fruto climatérico debido a su patrón de respiración y producción de etileno durante la maduración (Lee et al., 1983; Yahia & Woolf, 2011). En la etapa de preclimaterio, la producción de etileno es baja o indetectable, con valores inferiores a $0.1 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a 20°C en la cosecha (Yahia & Woolf, 2011) y a $1.2 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ durante el almacenamiento a 5°C por 25 días (Eaks, 1976). En este estudio, la producción de etileno al momento de la cosecha fue baja y no se observaron diferencias significativas entre los frutos (Cuadro 1), lo que confirma su estatus preclimaterio. Sin embargo, después del almacenamiento, los frutos con mayor contenido de MS mostraron una producción de etileno significativamente mayor, lo cual indica que la madurez al momento de la cosecha influyó en la biosíntesis de etileno. Asimismo, la producción de etileno aumentó significativamente ($p < 0.0001$) con el tiempo de almacenamiento y la interacción MS \times T. El valor más alto de etileno ($3.81 \pm 0.58 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) se registró en frutos con >25.9 % de MS almacenados durante 14 días. No obstante, estos valores se mantuvieron por debajo del umbral necesario para inducir la producción autocatalítica de etileno, que, según se ha informado, comienza a los $10 \mu\text{L C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a 20°C (Gwanpua et al., 2018).

La tasa de respiración al momento de la cosecha osciló entre 39.55 y $54.81 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ dependiendo del contenido de MS, valores dentro del rango esperado para frutos recién cosechados (20 a $89 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (Arpaia, 2015; Campos et al., 2020; Eaks, 1976; Yahia & Woolf, 2011). Después del almacenamiento, los frutos con mayor contenido de MS mantuvieron una tasa de respiración significativamente mayor que los que tenían menor contenido de MS (Cuadro 1).

El tiempo de almacenamiento y la interacción MS \times T tuvieron un efecto altamente significativo ($p < 0.001$) sobre la tasa de respiración. La tasa de respiración más alta se observó en los frutos con >25.9 % de MS después de 14 días de almacenamiento ($74.16 \text{ mL CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; Cuadro 1). Estos resultados sugieren que los frutos más maduros (con mayor contenido de MS) avanzaron más rápido hacia la fase climática, aunque el almacenamiento en frío (5°C) retrasó el pico climatérico completo. Esto concuerda con lo reportado por Eaks (1976) y Gwanpua et al. (2018), quienes observaron que tanto el pico climatérico como el aumento de la tasa de respiración a bajas temperaturas se produjeron después de 25 días. Estos retrasos se pueden deber al efecto inhibitorio de las bajas temperaturas sobre la biosíntesis del etileno y

both fresh consumption quality and oil extraction (Ashton et al., 2006; Villa-Rodríguez et al., 2020).

Chlorophyll *a+b*, *a*, and *b* decreased significantly ($p < 0.05$) from harvest to ripening (from 2.53, 1.31, and 1.13 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW at harvest to 2.23, 1.23, and 1.05 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW at ripening, respectively). These reductions are attributed to ethylene-induced chlorophyll degradation through increased chlorophyllase activity (Kader, 1985; Saltveit, 1999), both in peel and pulp (Ashton et al., 2006), resulting in the characteristic coloration at ripening (Kader, 1985; Landahl et al., 2009; Ramos-Aguilar et al., 2021; Rosas-Flores et al., 2020).

Biologically, chlorophyll presence in the pulp reflects the demand of photoassimilates by the embryo to complete its development and reach physiological maturity. As metabolic reserves accumulate and physiological maturity approaches, chlorophyll declines and carotenoid concentration increases (Kader & Yahia, 2011).

Antioxidant capacity and total phenolics

Antioxidant capacity and total phenol content showed significant differences ($p < 0.05$) at harvest, attributable to DM content. Fruit with $<22.2\%$ DM had lower antioxidant capacity (5.09 $\mu\text{M}\cdot\text{mg}^{-1}$ FW) and total phenolics (5.50 $\text{mg}_{\text{GAE}}\cdot\text{g}^{-1}$ FW) compared with fruit $>25.9\%$ DM (5.19 $\mu\text{M}_{\text{TE}}\cdot\text{mg}^{-1}$ FW and 5.61 $\text{mg}_{\text{GAE}}\cdot\text{g}^{-1}$ FW, respectively). These differences correspond to the higher oil content in more mature fruit, as many antioxidant compounds are associated with the lipid fraction (Villa-Rodríguez et al., 2020).

Regardless of treatment, phenolic content and antioxidant capacity increased significantly ($p < 0.05$) from harvest to ripening (5.56 to 5.61 $\text{mg}_{\text{GAE}}\cdot\text{g}^{-1}$ FW, and 5.14 to 5.21 $\mu\text{M}_{\text{TE}}\cdot\text{mg}^{-1}$ FW, respectively). This reflects endogenous or exogenous ethylene stimulation of phenylpropanoid metabolism by increasing the activity of the enzyme phenylalanine ammonia lyase (PAL) (Kader, 1985; Saltveit, 1999).

Similar results were described by Campos et al. (2020), who recorded a significant increase in total phenols in the pulp of harvested fruits with a DM content between 25.54 and 31.10 %, stored for 22 to 37 days at 7 °C and 85 % RH. Likewise, Pedreschi et al. (2022) reported a significant increase in antioxidant capacity and total phenol content in the pulp from harvest to ripening of fruit with a DM content of 23 to 26 %, stored for 10 and 30 days at 5 °C.

Ethylene concentration (0, 25, or 110 ppm) did not significantly affect ($p > 0.05$) antioxidant capacity, total phenolics, or chlorophyll content during ripening. This supports previous findings that exogenous ethylene

las enzimas relacionadas con la respiración (Abeles et al., 1992; Eaks, 1976; Kader & Yahia, 2011; Ortiz-Viedma et al., 2018).

Contenido de clorofila

El contenido de MS al momento de la cosecha afectó significativamente ($p < 0.05$) a la clorofila *a* y *a+b* en la pulpa. Los frutos con 22.2 % de MS mostraron 2.53 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF de clorofila *a+b*, mientras que los frutos con un 25.9 % de MS tenían 2.34 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF. El contenido de clorofila *a* fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) entre los niveles de MS, con valores de 1.33 y 1.23 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF para frutos con 22.2 y 25.9 % de MS, respectivamente. Por el contrario, la clorofila *b* no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) al momento de la cosecha (promedio de 1.33 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF). No se detectaron efectos significativos ($p > 0.05$) de la MS, del tiempo de almacenamiento o de su interacción en evaluaciones posteriores, con valores de 2.27, 1.23 y 1.0. $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF de clorofila *a+b*, *a* y *b* después del almacenamiento en frío, y 2.31, 1.25 y 1.06 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF de clorofila *a+b*, *a* y *b* en la maduración, respectivamente.

La abundancia y variación del contenido de clorofila en los tejidos vegetales se deben a que es un pigmento primario que participa en la fase luminosa de la fotosíntesis (Taiz & Zeiger, 2006). Como pigmento accesorio, la clorofila *b* presentó concentraciones más bajas que la clorofila *a* en todos los momentos de evaluación, lo cual coincide con los hallazgos reportados por Ashton et al. (2006), Campos et al. (2020) y Rosas-Flores et al. (2020). Asimismo, la clorofila desempeña un papel fundamental en los procesos de oxidación durante el almacenamiento, al influir tanto en la calidad del fruto de consumo en fresco como en la extracción de aceite (Ashton et al., 2006; Villa-Rodríguez et al., 2020).

Los contenidos de clorofila *a+b*, *a* y *b* disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) desde la cosecha hasta la maduración (de 2.53, 1.31 y 1.13 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF en la cosecha a 2.23, 1.23 y 1.05 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ PF en la maduración, respectivamente). Estas reducciones se atribuyen a la degradación de la clorofila inducida por el etileno al aumentar la actividad de la clorofilasa (Kader, 1985; Saltveit, 1999) tanto en piel como en pulpa (Ashton et al., 2006), lo cual genera el color característico del fruto maduro (Kader, 1985; Landahl et al., 2009; Ramos-Aguilar et al., 2021; Rosas-Flores et al., 2020).

Desde el punto de vista biológico, la presencia de clorofila en la pulpa refleja la demanda de fotoasimilados por parte del embrión para completar su desarrollo y alcanzar la madurez fisiológica. A medida que se acumulan las reservas metabólicas y se aproxima la madurez fisiológica, la clorofila disminuye y la concentración de carotenoides aumenta (Kader & Yahia, 2011).

does not alter fatty acid composition (Pedreschi et al., 2016) or sensory quality (Arpaia et al., 2015; Giuggioli et al., 2021), likely because exogenous and endogenous ethylene molecules are chemically identical and trigger comparable physiological responses (Abeles et al., 1992; Gazit & Blumenfeld, 1970).

Days to ripening

Ethylene application (25 and 110 ppm) significantly reduced ($p < 0.05$) time to ripening in fruit with $>25.9\%$ DM, regardless of 7 or 14 days of storage at $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. In fruit with $<22.2\%$ DM stored for 14 days at $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, the time to ripening decreased progressively with increasing ethylene concentration (Table 2). These results confirm that the effect of controlled ripening depends on DM content at harvest and storage duration, as more physiologically advanced fruit respond more effectively to exogenous ethylene (Gazit & Blumenfeld, 1970; Kader, 1985; Saltveit, 1999) and, therefore, require lower concentrations or application times to accelerate ripening (Arpaia et al., 2015, 2018; Defilippi et al., 2015; Gamble et al., 2010). Even without ethylene (0 ppm), high-DM fruit ($>25.9\%$) ripened 6 days earlier than low-DM fruit ($<22.2\%$), consistent with studies showing that late-season fruit ($>30\%$ DM) ripen more rapidly (Osuna-García et al., 2011; Woolf et al., 2020; Yahia & Woolf, 2011).

Ripening heterogeneity, observed in most treatments except high-DM ($> 25.9\%$) fruit stored 14 days (Table 2), may reflect intrinsic biological variability among fruit

Capacidad antioxidante y fenoles totales

La capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) al momento de la cosecha, atribuibles al contenido de MS. Los frutos con $<22.2\%$ de MS tuvieron una menor capacidad antioxidante ($5.09\text{ }\mu\text{M}_{\text{ET}}\cdot\text{mg}^{-1}\text{ PF}$) y contenido de fenoles totales ($5.50\text{ mg}_{\text{EAG}}\cdot\text{g}^{-1}\text{ PF}$) en comparación con los frutos con $>25.9\%$ de MS ($5.19\text{ }\mu\text{M}\cdot\text{mg}^{-1}\text{ PF}$ y $5.61\text{ mg}_{\text{EAG}}\cdot\text{g}^{-1}\text{ PF}$, respectivamente). Estas diferencias concuerdan con el mayor contenido de aceite en los frutos más maduros, ya que muchos compuestos antioxidantes están asociados a la fracción lipídica (Villa-Rodríguez et al., 2020).

Independientemente del tratamiento, el contenido fenólico y la capacidad antioxidante aumentaron significativamente ($p < 0.05$) desde la cosecha hasta la maduración (de 5.56 a $5.61\text{ mg}_{\text{EAG}}\cdot\text{g}^{-1}\text{ PF}$, y de 5.14 a $5.21\text{ }\mu\text{M}_{\text{ET}}\cdot\text{mg}^{-1}\text{ PF}$, respectivamente). Esto refleja la estimulación endógena o exógena del metabolismo de los fenilpropanoides por el etileno, al aumentar la actividad de la enzima fenilalanina amoniaco liasa (PAL) (Kader, 1985; Saltveit, 1999).

Resultados similares fueron descritos por Campos et al. (2020), que registraron un aumento significativo en el contenido de fenoles totales en la pulpa de los frutos cosechados con un contenido de MS entre 25.54 y 31.10% , almacenados de 22 a 37 días a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 85% de HR. Del mismo modo, Pedreschi et al. (2022) informaron un aumento significativo de la capacidad antioxidante

Table 2. Days to ripening ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) in avocado var. Hass fruits with different dry matter content at harvest, stored at $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 90% relative humidity, and with ethylene application for 24 h.

Cuadro 2. Días hasta la maduración ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) de frutos de aguacate var. Hass con diferente contenido de materia seca al momento de la cosecha, almacenados a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 90% de humedad relativa, y con aplicación de etileno durante 24 h.

Dry matter (%)/ Materia seca (%)	Ethylene (ppm)/ Etileno (ppm)	Days to ripening ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)/ Días hasta la maduración ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)			
		7 days of storage/ 7 días de almacenamiento		14 days of storage/ 14 días de almacenamiento	
		50 % ²	100 %	50 %	100 %
<22.2	0	13 a	15 a	12 a	14 a
	25	13 a	15 a	8 b	10 b
	110	7 c	10 b	7 c	9 c
>25.9	0	9 b	11 b	6 c	6 c
	25	4 d	5 c	4 d	4 d
	110	4 d	5 c	4 d	4 d

²Percentage of fruit ripening by treatment. Values correspond to the arithmetic mean of three measurements ($n = 3$). Different letters in each column indicate significant differences per interaction factors (Fisher, $p \leq 0.05$).

²Porcentaje de maduración de los frutos por tratamiento. Los valores corresponden a la media aritmética de tres mediciones ($n = 3$). Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre factores de interacción (Fisher, $p \leq 0.05$).

(Ashton et al., 2006; Landahl et al., 2009), influenced by extended flowering, lack of on-tree ripening, nutritional factors, and water stress (Defilippi et al., 2015; Hernández et al., 2016; Woolf et al., 2020).

Although DM content is the primary harvest index (Osuna-García et al., 2011; Woolf et al., 2020; Yahia & Woolf, 2011), emerging metabolomics evidence suggests that ripening time is more strongly linked to primary metabolites (amino acids and fatty acids), which could be more accurate indicators of differences in fruit age and pre-harvest factors influencing their postharvest physiology (Pedreschi et al., 2016).

Polyphenol oxidase enzyme activity and internal browning

At harvest, PPO activity was significantly lower ($p < 0.05$) in low-DM fruit ($0.15 \text{ mmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) than in high-DM fruit ($0.18 \text{ mmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$); however, at the end of the storage period, no significant differences ($p > 0.05$) were found, with an average value of $0.18 \text{ mmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$. At ripening, DM had a significant effect ($p < 0.05$), with high-DM fruit exhibiting 36 % higher PPO activity. Despite these differences, pulp browning incidence was low (overall mean 1.22 %) and unaffected by treatments. Vascular browning was not associated with PPO, as it is more closely linked to peroxidase activity (Van Lelyveld & Dixon, 1983).

Enzyme activity is concentrated in the distal region, where ethylene production and ripening begin (Adato & Gazit, 1974; Van Lelyveld & Dixon, 1983). Ethylene can induce physiological disorders in some crops by increasing the activity of oxidative enzymes and PAL (Abeles et al., 1992; Saltveit, 1999; Van Lelyveld & Dixon, 1983), accelerating senescence and contributing to chilling injury (Kader, 1985; Pesis et al., 2002). However, in this study, ethylene application (25 and 110 ppm) significantly reduced ($p < 0.05$) vascular browning in high-DM fruit (Table 3), likely because accelerated ripening shortened the window for browning development.

Thus, while ethylene is sometimes associated with negative quality outcomes (Saltveit, 1999), under controlled ripening conditions, it resulted in more uniform ripening and lower internal browning.

Conclusions

Cold storage shortened the time required for 'Hass' avocados to reach ripening, although the magnitude of this effect varied according to dry matter content at harvest. In fruit harvested with low dry matter (18.7-22.2 %), ethylene concentration was a key factor in accelerating ripening. Conversely, when dry matter at

y del contenido de fenoles totales en la pulpa desde la cosecha hasta la maduración de los frutos con un contenido de MS de 23 a 26 %, almacenados durante 10 y 30 días a 5 °C.

La concentración de etileno (0, 25 o 110 ppm) no afectó significativamente ($p > 0.05$) la capacidad antioxidante, los fenoles totales ni el contenido de clorofila durante la maduración. Esto respalda los hallazgos previos de que el etileno exógeno no altera la composición de los ácidos grasos (Pedreschi et al., 2016) o la calidad sensorial (Arpaia et al., 2015; Giuggioli et al., 2021), probablemente porque las moléculas de etileno exógeno y endógeno son químicamente idénticas y provocan respuestas fisiológicas comparables (Abeles et al., 1992; Gazit & Blumenfeld, 1970).

Días hasta la maduración

La aplicación de etileno (25 y 110 ppm) redujo significativamente ($p < 0.05$) el tiempo de maduración en frutos con >25.9 % de MS, independientemente del tiempo de almacenamiento (7 o 14 días) a 5 °C. En frutos con <22.2 % de MS almacenados durante 14 días a 5 °C, el tiempo de maduración disminuyó progresivamente al aumentar la concentración de etileno (Cuadro 2). Estos resultados confirman que el efecto de la maduración controlada depende del contenido de MS al momento de la cosecha y de la duración del almacenamiento, ya que los frutos más avanzados fisiológicamente responden de manera más eficaz al etileno exógeno (Gazit & Blumenfeld, 1970; Kader, 1985; Saltveit, 1999) y, por lo tanto, requieren concentraciones o tiempos de aplicación más bajos para acelerar la maduración (Arpaia et al., 2015, 2018; Defilippi et al., 2015; Gamble et al., 2010). Incluso sin etileno (0 ppm), los frutos con alto contenido de MS (>25.9 %) maduraron 6 días antes que los frutos con bajo contenido de MS (<22.2 %), lo que concuerda con estudios que muestran que los frutos de final de temporada (>30 % de MS) maduran más rápido (Osuna-García et al., 2011; Woolf et al., 2020; Yahia & Woolf, 2011).

La heterogeneidad en la maduración, observada en la mayoría de los tratamientos excepto en los frutos con alto contenido de MS (>25.9 %) almacenados durante 14 días (Cuadro 2), puede reflejar la variabilidad biológica intrínseca entre los frutos (Ashton et al., 2006; Landahl et al., 2009), influenciada por una floración prolongada, falta de maduración en el árbol, factores nutricionales y estrés hídrico (Defilippi et al., 2015; Hernández et al., 2016; Woolf et al., 2020).

Aunque el contenido de MS es el principal índice de cosecha (Osuna-García et al., 2011; Woolf et al., 2020; Yahia & Woolf, 2011), la evidencia metabolómica emergente sugiere que el tiempo de maduración está

Table 3. Incidence of vascular browning in avocado var. Hass fruits during ripening.**Cuadro 3. Incidencia del oscurecimiento vascular en frutos de aguacate var. Hass durante la maduración.**

Variables	Incidence of vascular browning (%) / Incidencia de oscurecimiento vascular (%)	
Dry matter (DM; %)/ Materia seca (MS; %)	<22.2 >25.9	25.03 ^{NS} 27.79 ^{NS}
Storage time (days)/ Tiempo de almacenamiento (días)	7 14	25.60 ^{NS} 27.22 ^{NS}
Ethylene (E; ppm)/ Etileno (E; ppm)	0 25 110	34.39 a 24.25 b 20.59 b
	<22.2 - 0 <22.2 - 25 <22.2 - 110	27.33 b 28.50 b 19.27 c
DM × E/ MS × E	>25.9 - 0 >25.9 - 25 >25.9 - 110	41.45 a 20.00 bc 21.92 bc

NS: not significant. Values correspond to the arithmetic mean of three measurements (n = 3). Different letters indicate significant differences between factors and their interaction (Fisher, $p \leq 0.05$).

NS: no significativo. Los valores corresponden a la media aritmética de tres mediciones (n = 3). Letras diferentes indican diferencias significativas entre los factores y su interacción (Fisher, $p \leq 0.05$).

harvest exceeded 25.9 %, low ethylene concentrations were sufficient to accelerate and homogenize ripening. Applying ethylene at the end of the storage period also reduced the incidence of internal browning by shortening the time to ripening.

Acknowledgments

The authors thank the *Programa Nacional de Becas del Perú* (PRONABEC) and *Fundación para la Innovación Agraria* (FIA) for providing resources for the development of this research.

End of English version

References / Referencias

- Abeles, F., Morgan, P., & Saltveit, M. (1992). *Ethylene in plant biology*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-03226-7>
- Adato, I., & Gazit, S. (1974). Water-deficit stress, ethylene production, and ripening in avocado fruits. *Plant Physiology*, 53(1), 45-46. <https://doi.org/10.1104/pp.53.1.45>
- Arpaia, M. L., Collin, S., Sievert, J., & Obenland, D. (2015). Influence of cold storage prior to and after ripening on quality factors and sensory attributes of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.016>
- Arpaia, M. L., Collin, S., Sievert, J., & Obenland, D. (2018). 'Hass' avocado quality as influenced by temperature & ethylene prior to and during final ripening. *Postharvest*

más estrechamente relacionado con los metabolitos primarios (aminoácidos y ácidos grasos), los cuales podrían ser indicadores más precisos de las diferencias en la edad de los frutos y los factores previos a la cosecha que influyen en su fisiología poscosecha (Pedreschi et al., 2016).

Actividad enzimática de la polifenol oxidasa y oscurecimiento interno

Al momento de la cosecha, la actividad de la PFO fue significativamente menor ($p < 0.05$) en los frutos con bajo contenido en MS ($0.15 \text{ mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) en comparación con los frutos con alto contenido en MS ($0.18 \text{ mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$); sin embargo, al final del periodo de almacenamiento, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$), con un valor medio de $0.18 \text{ mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$. En la maduración, la MS tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$), ya que los frutos con alto contenido de MS mostraron una actividad de la PFO 36 % mayor. A pesar de estas diferencias, la incidencia del oscurecimiento de la pulpa fue baja (media global de 1.22 %) y no se vio afectada por los tratamientos. El oscurecimiento vascular no se asoció con la PFO, ya que está más estrechamente relacionado con la actividad de la peroxidasa (Van Lelyveld & Dixon, 1983).

La actividad enzimática se concentra en la región distal, donde comienzan la producción de etileno y la maduración (Adato & Gazit, 1974; Van Lelyveld & Dixon, 1983). El etileno puede provocar trastornos fisiológicos en algunos cultivos al aumentar la actividad de las

- Biology and Technology*, 140, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.015>
- Ashton, O., Wong, M., McGhie, T., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., Ramankutty, P., & Woolf, A. (2006). Pigments in avocado tissue and oil. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 54, 10151-10158. <https://doi.org/10.1021/jf061809j>
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Campos, D., Terán-Hilares, F., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., García-Ríos, D., Pacheco-Avalos, A., & Pedreschi, R. (2020). Bioactive compounds and antioxidant activity from harvest to edible ripeness of avocado cv. Hass (*Persea americana*) throughout the harvest seasons. *International Journal Food Science & Technology*, 55(5), 2208-2218. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14474>
- Defilippi, B., Ferreyra, R., & Rivera, S. (2015). Optimización de la calidad de palta 'Hass': herramientas para enfrentar nuevos desafíos. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Región Metropolitana*. <https://biblioteca.inia.cl/items/13b67125-05e2-4aee-bd43-b01fbc7f3625>
- Eaks, I. (1976). Ripening, chilling injury, and respiratory response of 'Hass' and 'Fuerte' avocado fruits at 20°C following chilling. *Journal American Society for Horticultural Science*, 110(5), 538-540. <https://doi.org/10.21273/JASHS.101.5.538>
- Fichet, T., & Silva, C. (2022). La temperatura y su relación con la acumulación de lípidos. *Redagícola*, 8(27), 1-3. <https://redagricola.com/la-temperatura-y-su-relacion-con-la-acumulacion-de-lipidos/>
- Fuentealba, C., Vidal, J., Zulueta, C., Ponce, E., Uarrota, V., Defilippi, B., & Pedreschi, R. (2022). Controlled atmosphere storage alleviates Hass avocado black spot disorder. *Horticulturae*, 8(5), 369. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050369>
- Gamble, J., Harker, F., Jaeger, S., White, A., Bava, C., Beresford, M., Stubbings, M., Wohlers, M., Hofman, P. J., Marques, R., & Woolf, A. (2010). The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. *Postharvest Biology and Technology*, 57(1), 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.01.001>
- García-Rojas, M., Morgan, A., Gudenschwager, O., Zamudio, S., Campos-Vargas, R., González-Agüero, M., & Defilippi, B. G. (2016). Biosynthesis of fatty acids-derived volatiles in 'Hass' avocado is modulated by ethylene and storage conditions during ripening. *Scientia Horticulturae*, 202, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.024>
- Gazit, S., & Blumenfeld, A. (1970). Response of mature avocado fruits to ethylene treatments before and after harvest. *American Society for Horticultural Science*, 95(2), 229-231. <https://doi.org/10.21273/JASHS.95.2.229>
- Giuggioli, N. R., Chiaberto, G., & da Silva, T. M. (2021). Quality evaluation of the ready-to-eat avocado cv. Hass. *International Journal of Food Science*, 2021(1), 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/6621449>
- enzimas oxidativas y la PAL (Abeles et al., 1992; Saltveit, 1999; Van Lelyveld & Dixon, 1983), lo cual acelera la senescencia e induce daño por frío (Kader, 1985; Pesis et al., 2002). Sin embargo, en este estudio, la aplicación de etileno (25 y 110 ppm) redujo significativamente ($p < 0.05$) el oscurecimiento vascular en frutos con alto contenido de MS (Cuadro 3), probablemente porque la maduración acelerada acortó el período de desarrollo del oscurecimiento.
- Por lo tanto, aunque el etileno se ha asociado con resultados negativos en cuanto a la calidad (Saltveit, 1999), en condiciones de maduración controladas dio lugar a una maduración más uniforme y a un menor oscurecimiento interno.

Conclusiones

El almacenamiento en frío acortó el tiempo necesario para que los frutos de aguacates "Hass" maduraran, aunque la magnitud de este efecto varió en función del contenido de materia seca al momento de la cosecha. En los frutos cosechados con bajo contenido de materia seca (18.7-22.2 %), la concentración de etileno fue un factor clave para acelerar la maduración. Por el contrario, cuando la materia seca superaba el 25.9 % al momento de la cosecha, bajas concentraciones de etileno fueron suficientes para acelerar y homogeneizar la maduración. La aplicación de etileno al final del periodo de almacenamiento también redujo la incidencia del oscurecimiento interno al acortar el tiempo de maduración.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Nacional de Becas del Perú (PRONABEC) y a la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) por proporcionar los recursos para el desarrollo de esta investigación.

Fin de la versión en español

- Gwanpua, S. G., Qian, Z., & East, A. R. (2018). Modelling ethylene regulated changes in 'Hass' avocado quality. *Postharvest Biology and Technology*, 136, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.002>
- Hernández, I., Fuentealba, C., Olaeta, J., Lurie, S., Defilippi, B., Campos-Vargas, R., & Pedreschi, R. (2016). Factors associated with postharvest ripening heterogeneity of 'Hass' avocados (*Persea americana* Mill). *Fruits*, 71(5), 259-268. <https://doi.org/10.1051/fruits/2016016>
- Kader, A. (1985). Ethylene-induced senescence & physiological disorders in harvested horticultural crops. *American Society for Horticultural Science*, 20(1), 54-57. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.20.1.54>

- Kader, A., & Yahia, E. M. (2011). *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Fundamental issues*. Woodhead Publishing.
- Kahn, V. (1977). Some biochemical properties of polyphenoloxidase from two avocado varieties differing in their browning rates. *Journal of Food Science*, 42(1), 38-43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb01213.x>
- Landahl, S., Meyer, M., & Terry, L. A. (2009). Spatial and temporal analysis of textural and biochemical changes of imported avocado cv. Hass during fruit ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 7039-7047. <https://doi.org/10.1021/jf803669x>
- Lee, S. K., Young, R. E., Schiffman, P. M., & Coggins, C. W. (1983). Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. *Journal American Society Horticultural Science*, 108(3), 390-394. <https://doi.org/10.21273/JASHS.108.3.390>
- Lewis, C. E. (1978). The maturity of avocados—a general review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 29(10), 857-866. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740291007>
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11(5), 591-592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Ortiz-Viedma, J., Rodríguez, A., Vega, C., Osorio, F., Defilippi, B., Ferreira, R., & Saavedra, J. (2018). Textural, flow and viscoelastic properties of Hass avocado (*Persea americana* Mill.) during ripening under refrigeration conditions. *Journal of Food Engineering*, 219, 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.014>
- Osuna-García, J. A., Doyon, G., Salazar-García, S., Goenaga, R., & González-Durán, I. J. L. (2011). Relationship between skin color and some fruit quality characteristics of 'Hass' avocado. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 95(1), 15-23. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v95i1-2.2543>
- Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., Somhorst, D., Ferreyra, R., & Defilippi, B. (2016). Impact of postharvest ripening strategies on 'Hass' avocado fatty acid profiles. *South African Journal of Botany*, 103, 32-35. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.012>
- Pedreschi, R., Ponce, E., Hernández, I., Fuentealba, C., Urbina, A., González-Fernández, J., Hormaza, J., Campos, D., Chirinos, R., & Aguayo, E. (2022). Short vs. long-distance avocado supply chains: life cycle assessment impact associated to transport and effect of fruit origin and supply conditions chain on primary and secondary metabolites. *Foods*, 11(12), 1807. <https://doi.org/10.3390/foods11121807>
- Pesis, E., Ackerman, M., Ben-Arie, R., Feygenberg, O., Feng, X., Apelbaum, A., Goren, R., & Prusky, D. (2002). Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 24(2), 171-181. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00134-X)
- Ramos-Aguilar, A., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L., Gardea-Bejar, A., Yahia, E., Ornales-Paz, J., Perez-Martinez, J., Rios-Velasco, C., & Escalante-Minakata, P. (2021). Metabolomic analysis and physical attributes of ripe fruits from Mexican Creole (*Persea americana* var. *Drymifolia*) and 'Hass' avocados. *Food Chemistry*, 354, 129571. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129571>
- Rosas-Flores, N., Saucedo-Veloz, C., Saucedo-Reyes, D., López-Jiménez, A., Valle-Guadarrama, S., Ramírez-Guzmán, M., & Chávez-Franco, S. H. (2020). Maduración en poscosecha de frutos de aguacate cultivares Hass y Méndez tratados con etefón. *Acta Agronómica*, 69(4), 275-284. <https://doi.org/10.15446/acag.v69n4.89994>
- Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo-Castro, C., Toledo, L., Enrione, J., & Galvez, L. (2017). Industrial avocado waste: Functional compounds preservation by convective drying process. *Journal of Food Engineering*, 198, 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.018>
- Saltveit, M. (1999). Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 279-292. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00091-X)
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria de Perú - Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (SENASA-SAG). (2013). *Plan de trabajo para la exportación de frutos frescos para consumo de palto (Persea americana) variedad Hass desde los departamentos de Perú: Moquegua, Tacna, Ica, Lima, La Libertad y Arequipa hacia Chile*. SENASA-SAG. https://www.sag.cl/sites/default/files/plan_palta_firmado-dic2013.pdf
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Publicacions de la Universitat Jaume.
- Van Lelyveld, E., & Dixon, R. A. (1983). Enzyme activities and the appearance of pulp spot in avocado fruit. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 6, 58-59.
- Villa-Rodríguez, J. A., Yahia, E., Gonzáles-León, A., Ifie, I., Robles-Zepeda, R., Domínguez-Ávila, J., & González-Aguilar, G. (2020). Ripening of 'Hass' avocado mesocarp alters its phytochemical profile and the *in vitro* cytotoxic activity of its methanolic extracts. *South African Journal of Botany*, 128, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.09.020>
- Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., & Xiao, H. (2021). Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 337, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750>
- Woolf, A., Arpaia, M. L., Defilippi, B. G., & Bower, J. (2020). Subtropical fruits: avocados. In: Gil, M. & Beaudry, R. (Eds.), *Controlled and modified atmospheres for fresh and fresh-cut produce* (pp. 389-397). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02025-1>
- Yahia, E. M., & Woolf, A. B. (2011). Avocado (*Persea Americana* Mill.). In: Yahia E. M. (Ed.), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. Fundamental issues* (pp. 125-185). Woodhead Publishing.