

Capítulo 7

Tecnología de atmósfera controlada

Edgard Álvarez R.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.
edgar.alvarez@inia.cl

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Daniela Olivares Z.

Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra.

Pablo Ulloa F.

Ingeniero de Alimentos, Dr.

7.1. Introducción

Desde el punto de vista logístico, el uso de atmósfera controlada (AC) en paltas ‘Hass’, junto con la aplicación de bajas temperaturas, contribuye a disminuir la heterogeneidad de la maduración, uno de los principales problemas en su comercialización (Hernández *et al.*, 2017). Además, puede extender la vida de estantería en el mercado de destino (Ferreya *et al.*, 2014; Maré *et al.*, 2002).

En cuanto a los tipos de AC que se han desarrollado, Salveit (2003) y Burdon *et al.* (2008) describen el uso de atmósferas controladas estáticas, las cuales tienen concentraciones de gases predeterminadas que se mantienen sin cambios a lo largo del periodo de almacenaje o tránsito, siendo esta la más utilizada en paltas (Meir *et al.*, 1997).

Por el contrario, las atmósferas controladas dinámicas se basan en la disminución progresiva de la concentración de oxígeno (O_2) para alcanzar niveles muy bajos, lo que las hace más efectivas en la reducción de la tasa respiratoria de la fruta. Si bien la literatura reporta un mejor desempeño de las AC dinámicas en paltas, en la práctica se debe considerar que este tipo de atmósferas requiere un monitoreo adicional de los niveles de estrés de la fruta debido a la baja disponibilidad de oxígeno. Esto permite regular dinámicamente un equilibrio entre niveles muy bajos de O_2 y el riesgo de estrés anaeróbico.

A nivel mundial, el uso de atmósferas controladas estáticas durante el transporte en contenedores es menos complejo y constituye la opción más utilizada en la exportación de paltas.

7.2. Medición de gases en atmósfera controlada

La expresión más común para describir la mezcla de gases utilizada en una AC es la concentración, expresada como porcentaje volumen/volumen (% v/v) de oxígeno y dióxido de carbono. Esta expresión indica específicamente el volumen que ocupa el O_2 y CO_2 en una mezcla de gases, expresado como porcentaje respecto al volumen total de gases en el contenedor o la cámara donde se establece la AC. Este porcentaje puede medirse fácilmente mediante un analizador de gases o por cromatografía de gases.

Por otra parte, varios estudios expresan la mezcla de gases en términos de presión, indicada en unidades de kilopascales (kPa). Para entender esta forma de medición con respecto al porcentaje y para facilitar la comparación entre estudios, podemos revisar la física de los gases expresada en la Ley de Presiones Parciales o Ley de Dalton. La ley de presiones parciales establece que la presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de cada gas que la compone (Atkins & De Paula, 2006). De esta manera, se obtiene la siguiente ecuación:

$$P_{total} = P_{x_1} + P_{x_2} + P_{(x_n)} \quad (\text{Ec. 7.1})$$

Donde P = Presión, y $x_{(1,2,n)}$ = Gases que componen la mezcla total, como N_2 , O_2 , CO_2 , entre otros.

En los sistemas de AC, la modificación de los gases ocurre mediante el barrido de O_2 , a través de inyecciones de nitrógeno, a la vez que se adiciona o acumula CO_2 , dependiendo de la fuente, hasta alcanzar las concentraciones deseadas (Lieu *et al.*, 2024). Por ende, existe una entrada y salida de gases que mantienen una presión de mezcla que podemos asumir cercana a la presión atmosférica (1 atm). Asumiendo esto, podemos calcular la presión de un gas en función de su porcentaje, considerando que 1 atm equivale a 101,32 kPa de presión, como se muestra en el siguiente ejemplo:

Supongamos que se quiere estimar la presión parcial, en kilopascales, de un gas con una concentración del 10 % en una AC que se encuentra a una presión total de 1 atm. La presión parcial calculada sería:

$$\left(\frac{\% \text{ de gas}}{100 \% \text{ total}} \right) \times \text{Presión de 1 atm} = \left(\frac{10 \%}{100 \%} \right) \times 101,32 \text{ kPa} = 10,13 \text{ kPa} \quad (\text{Ec. 7.2})$$

De esta manera, se calcula que un gas con una concentración del 10 % tiene una presión parcial de 10,13 kPa cuando la mezcla completa se encuentra a 1 atm de presión. Para términos prácticos, como se observa en el cálculo, los valores de concentración y presión en estas condiciones son aceptablemente similares y, por ende, suelen ser usados indistintamente para expresar o comparar una mezcla de gases.

7.3. Efectos sobre la tasa respiratoria y la maduración en postcosecha

Disminuir la concentración de oxígeno en las atmósferas controladas tiene como fundamento fisiológico la reducción de la tasa respiratoria de los frutos y, como consecuencia, el retraso en la madurez de consumo en cuanto al ablandamiento y desarrollo del color característico de palta variedad 'Hass' (Pérez *et al.*, 2004; Burdon *et al.*, 2008; Arpaia *et al.*, 1990; Li *et al.*, 2021; Lieu *et al.*, 2024). La disminución de la tasa respiratoria ha sido observada tanto en diferentes estudios de postcosecha de palta como a nivel comercial en contenedores durante tránsito. Alamar *et al.* (2017) observaron que, al establecer atmósferas controladas en paltas, la tasa respiratoria tendía a disminuir inmediatamente posterior al establecimiento de los gases.

Por otra parte, el uso de AC redujo la tasa de producción de etileno durante todo el almacenaje en frío en frutos almacenados por 50 días a 4 °C (Figura 7.1) (Olivares *et al.*, 2024). Este efecto de la reducción del oxígeno sobre la menor producción de etileno se profundizará en el Capítulo 8.

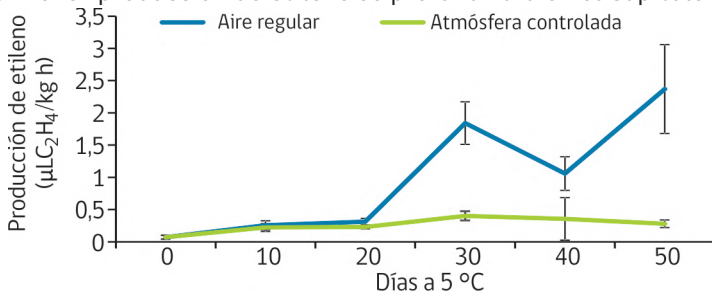


Figura 7.1. Efecto de atmósfera controlada en la tasa de producción de etileno en palta 'Hass'.

En cuanto a los efectos de la atmósfera controlada en variables de madurez, como la firmeza y el color, en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina han realizado una serie de estudios que se consideran variables críticas, incluyendo factores de manejo en precosecha. En huertos de las regiones Metropolitana y de Valparaíso, se cosecharon paltas que fueron almacenadas en aire regular (AR) con concentraciones de 21 % de O₂ y 0,04 % de CO₂, mientras que otro grupo se almacenó en AC con concentraciones de 4 % de O₂ y 6 % de CO₂.

La fruta fue evaluada en dos periodos de almacenamiento, simulando el tránsito hacia el mercado de destino, de 40 y 55 días en frío (Defilippi *et al.*, 2015). Los resultados generales de este estudio mostraron que, en promedio, la fruta almacenada en AC presentó una firmeza de 59,3 lb_f, mientras que la almacenada en AR alcanzó un promedio de 21,8 lb_f tras 40 días de almacenamiento en frío (5 °C). Al extender este periodo a 55 días, el promedio de firmeza en AC fue de 48,1 lb_f, mientras que en AR fue de 13,1 lb_f (Figura 7.2).

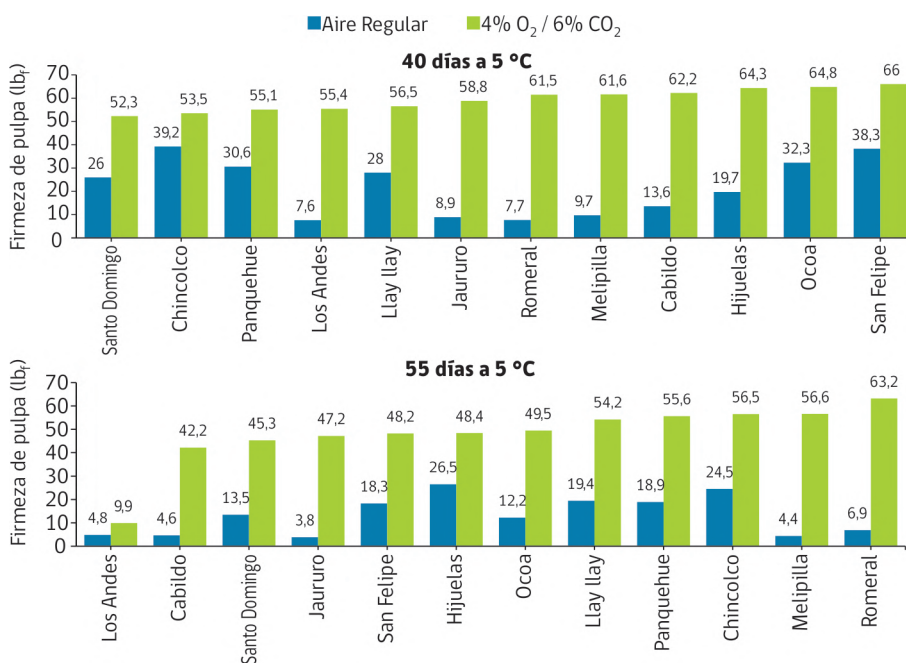


Figura 7.2. Valores promedio de firmeza (lb_f) tras almacenaje en frío de muestras de paltas provenientes de huertos de las regiones Metropolitana y de Valparaíso, con y sin uso de AC tras dos periodos de almacenaje. (Adaptado de Defilippi *et al.*, 2015).

En términos prácticos, un valor de firmeza superior a 40 lb_f corresponde a un fruto “firme” a la salida del almacenamiento, mientras que valores inferiores indican un fruto con signos de ablandamiento. Por lo tanto, se observó claramente el efecto positivo de la AC en la mantención de la firmeza durante el almacenamiento prolongado.

En cuanto al retraso del desarrollo de color de piel, en el marco del proyecto “Identificación de las variables que afectan el desarrollo de manchas en la piel en frutos de palto variedad ‘Hass’”, ejecutado entre las temporadas 2018 y 2020, se evaluaron aspectos de calidad y condición de paltas provenientes de 10 huertos de la Región de Valparaíso. Entre los resultados obtenidos, se observó que la fruta almacenada en aire regular a 5 °C por 30 días presentó más del 60 % de las paltas con desarrollo de color avanzado. Mientras que las muestras almacenadas en una AC con 4 % de O₂ y 6 % de CO₂ mostraron sólo un 20 % de la fruta con quiebre de color tras 50 días de almacenamiento (Figura 7.3). Estos resultados confirman los beneficios previamente descritos del uso de AC en palta en cuanto a ralentizar el desarrollo del color externo. Como se explicó en el Capítulo 6, en palta ‘Hass’ se observa una desincronización entre el avance del color de la piel y el ablandamiento de la pulpa, por lo que es crucial considerar este aspecto al utilizar tecnologías orientadas a ralentizar el metabolismo del fruto.



Figura 7.3. Desarrollo del color en paltas tras periodo de almacenaje en frío. (A) paltas en aire regular (AR) y (B) paltas almacenadas en AC por 50 días.

7.4. La atmósfera controlada como complemento de la cadena de frío

Si bien el uso de AC en palta tiene un efecto notable en aumentar la extensión de la vida útil de la fruta por largos periodos de postcosecha, es importante recordar que esta tecnología depende directamente de la temperatura de almacenamiento. Su funcionamiento es sinérgico con la extensión de la vida útil proporcionada por el frío y, en ningún caso, puede reemplazarlo (Kader & Arpaia, 2002; Woolf *et al.*, 2003).

Desde el año 2003, se han realizado diversos estudios en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina para evaluar el efecto de distintas temperaturas en la mantención de la calidad de paltas durante distintos periodos de almacenaje. En estas evaluaciones, se observó que al exponer paltas a 2, 4 y 6 °C, las temperaturas más bajas mantenían la firmeza del fruto por periodos de tiempo más prolongados (Figura 7.4). Sin embargo, un aspecto muy notorio en la palta es su alta sensibilidad al daño por frío, la cual se manifiesta con un aumento en la incidencia de manchas en la piel. Por esta razón, el uso de temperaturas muy bajas no es viable comercialmente para trayectos largos.

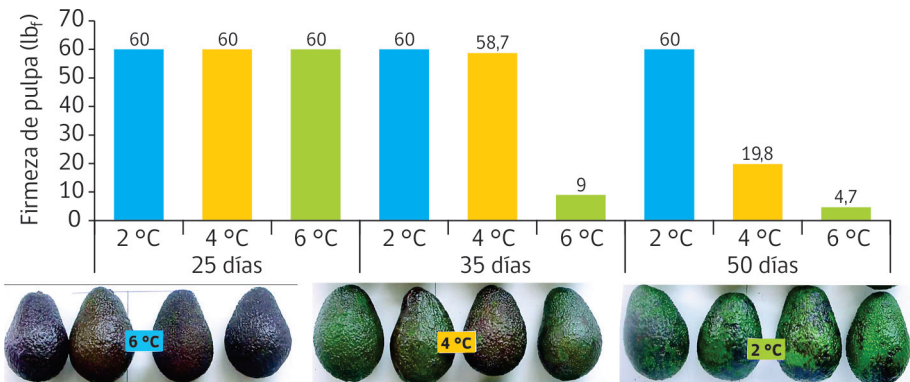


Figura 7.4. Evolución de la firmeza de pulpa al momento de salida de frío en paltas almacenadas a distintas temperaturas (2, 4 y 6° C) durante 3 periodos de postcosecha, y el efecto de las temperaturas sobre la epidermis de los frutos (Adaptado de INIA, 2003).

Bajo este escenario, un adecuado almacenamiento de la palta debe equilibrar la necesidad de extender la vida de postcosecha por largos periodos (> 50 días) con la importancia de mantener una temperatura cercana a 5 °C para evitar el daño por frío. Como se mencionó previamente, este manejo debe siempre considerar otras características, como el origen de la fruta (país), el estado de madurez al momento de cosecha (materia seca) y el tiempo de envío a destino.

El uso de AC se establece como un complemento eficaz para alcanzar periodos de almacenamiento de 30 días o más después a la cosecha, especialmente cuando estos tiempos no pueden lograrse bajo condiciones de AR por sí solas a temperaturas superiores a 4 °C. Además, permite reducir el riesgo de daños por frío al usar una temperatura más adecuada para la especie. Por otra parte, es imperativo recordar que, aunque la AC es un buen complemento para ralentizar la maduración de la fruta, esta tecnología no reemplaza un adecuado manejo de la temperatura.

7.5. Concentraciones de gases y sus efectos en el almacenamiento de paltas

En el desarrollo de las atmósferas controladas, se han evaluado numerosas combinaciones de concentración de O₂ y CO₂ con el objetivo de maximizar los beneficios en el retraso de maduración, así como la disminución de pudriciones y desórdenes fisiológicos para los distintos mercados de destino. En la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, durante más de 20 años se ha estudiado el efecto de distintos niveles de O₂ en un rango entre 2 a 12 % y de CO₂ entre 3 y 15 %.

Como se observa en la Figura 7.5, las distintas combinaciones de gases en AC permiten mantener la firmeza de la pulpa de palta 'Hass' hasta por 45 días a 6 °C; en cambio, fruta almacenada en aire regular ya muestra una reducción importante en la firmeza a los 20 días. Como se discutirá en este capítulo y a lo largo de este boletín, la efectividad de la AC está influenciada por una serie de factores que van desde el origen de la fruta, los manejos de precosecha, la temperatura, los tiempos de tránsito, la presencia de etileno y la logística de consolidación de contenedor, entre otros.

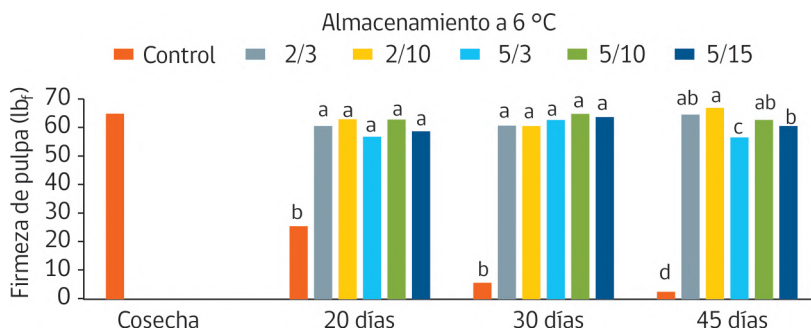


Figura 7.5. Efecto en firmeza de palta 'Hass' almacenada a 6 °C bajo distinta composición en concentración (%) O₂ y CO₂ en AC. Control (AR), la relación establece la concentración de O₂/CO₂ en atmósfera controlada.

Si bien varias de las combinatorias de gases utilizadas a la fecha en AC han mostrado beneficios similares en la mantención de la firmeza y el color durante el almacenamiento o tránsito a destino, una serie de estudios han evidenciado diferencias en el periodo de maduración de la fruta posterior al almacenaje en frío (Figura 7.6). En uno de los estudios realizados, y como fue mencionado al inicio de este capítulo, las paltas en AR alcanzaron la madurez de consumo rápidamente a 20 °C, con un 76 % de la fruta madura a los 5 días. Por su parte, el uso de atmósfera utilizando concentraciones de 4 % de O₂ y 6 % de CO₂ generó un retraso en la maduración de la fruta, de modo que el 63 % alcanzó su madurez a los 8 días a 20 °C, y el 100 % a los 13 días.

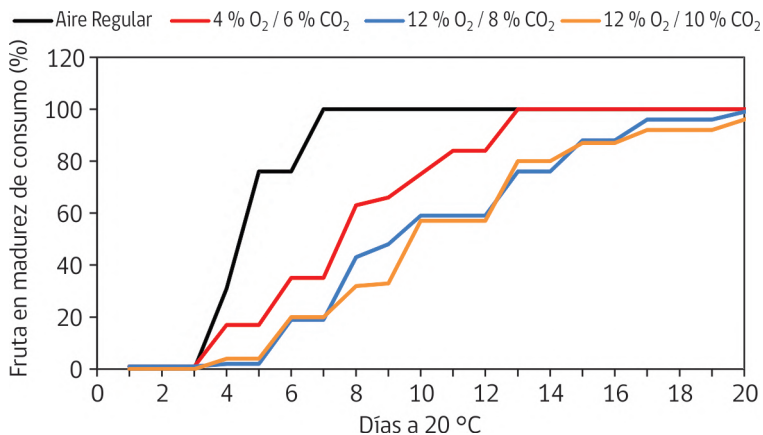


Figura 7.6. Frecuencia acumulada en la maduración de paltas variedad 'Hass' almacenada en 'Shelf Life' o vida de estantería (20 °C). Se consideró como fruta madura aquella con una firmeza de pulpa de 2 lb_f.

En el caso de las atmósferas con mayores concentraciones de O_2 y CO_2 , se establecieron dos combinaciones de 12 % de O_2 con 8 y 10 % de CO_2 . Al igual que en la primera AC, se observó un retraso en la maduración de la fruta posterior al almacenaje en frío, pero con un incremento aún mayor en los días requeridos para la maduración completa. Los beneficios o desventajas de este mayor período hasta la madurez de consumo, obtenido con niveles más altos de CO_2 , dependerá del origen de la fruta, las condiciones de precosecha, el estado de madurez, el uso de maduración forzada, entre otros factores.

Si bien podemos concluir que la respuesta del fruto de palta es bastante “plástica”, mostrando beneficios en un amplio rango de combinatorias de gases, existen algunas diferencias que pueden afectar tanto la eficacia de la tecnología como ocasionar efectos indeseados por un mal uso. Quizás el más evidente, pero menos observado a nivel comercial, es la toxicidad frente a niveles elevados de CO_2 (Figura 7.7), la que se caracteriza principalmente por el desarrollo de un pardeamiento característico en la piel, donde el nivel de susceptibilidad al alto nivel de CO_2 estará en función del tiempo de exposición, temperatura, concentración de CO_2 y O_2 , entre otros.

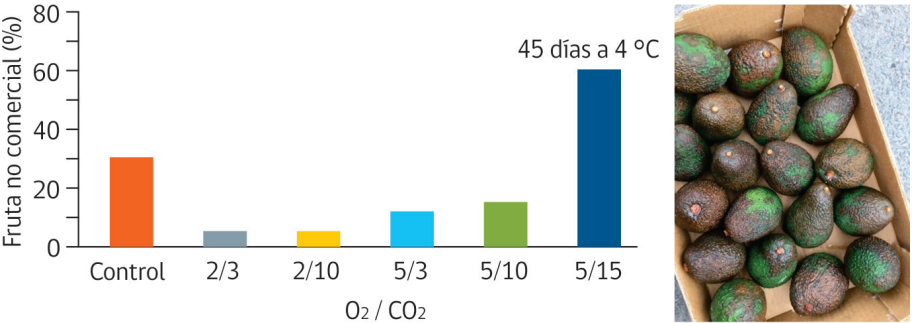


Figura 7.7. Presencia de daño por CO_2 en palta ‘Hass’ en fruta almacenada por 45 días.

7.6. Logística de cosecha y atraso en el establecimiento de la atmósfera controlada

En todo proceso de cosecha agrícola, existe variabilidad en las condiciones logísticas según la capacidad de cada empresa productora/exportadora para gestionar la cosecha, el procesamiento y transporte. Como se mencionó, el uso de la AC en paltas se realiza principalmente en contenedores durante el transporte

a destinos lejanos. Es por esto, que la consolidación de la AC dependerá de la rapidez con que se cosecha y procesa el producto, y de la disponibilidad de los contenedores con tecnología de AC. El retraso en el ingreso y acondicionamiento de un contenedor de AC impacta directamente en la “edad” de la fruta al final del periodo de comercialización (Woolf *et al.*, 2003; 2005; Olivares *et al.*, 2024).

Como se observa en la Figura 7.8, un mayor tiempo de permanencia de la fruta en origen antes de ingresar al contenedor de AC, manteniendo constante los tiempos de tránsito (por ejemplo, 30 días) y comercialización en destino (por ejemplo, 10 días), puede resultar en un aumento significativo de la “edad” de la palta al llegar al consumidor. Es decir, se puede pasar de una palta que pudo haber llegado a consumidor en 40 días a una que llega en 60 días. Este incremento, de 40 a 60 días, puede implicar que el fruto se encuentre en una etapa cercana a senescencia, afectando la calidad y vida útil de la palta.

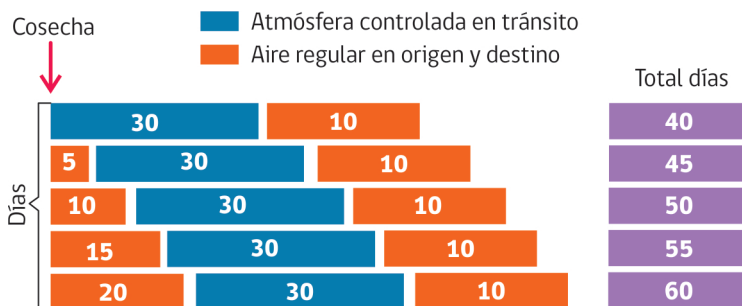


Figura 7.8. Días totales desde la cosecha hasta la venta de acuerdo a distintos periodos en los que la fruta permanece en origen (aire regular), contenedor (atmósfera controlada) y destino (aire regular). Fuente: Defilippi *et al.* (2015).

Considerando que ingresar la fruta a un contenedor de AC inmediatamente después de la cosecha es poco viable operacionalmente, las empresas deben enfocarse en minimizar el menor tiempo de espera según su realidad en términos de volumen de producción, disponibilidad de infraestructura, disponibilidad de contenedores, entre otros. Por otro lado, dependiendo de la variable de calidad o condición a mantener con el uso de AC, los tiempos máximos de retraso a considerar son distintos. Por ejemplo, para mantener la firmeza de una palta de origen chileno, los tiempos de consolidación deberían ser inferiores a 10 - 15 días desde la cosecha. Sin embargo, para reducir la incidencia de desórdenes externos, este periodo debería ser menor a 3 días (Capítulo 6). Además, el país

de origen de la palta tiene un efecto significativo, ya que el potencial de vida útil varía según las condiciones de producción y la distancia al país de destino.

A partir de los desafíos logísticos que se presentaron durante los años de pandemia (entre 2020 y 2022), como la demora en el tránsito y la menor disponibilidad de contenedores, se planteó nuevamente el problema de cómo afectaría el retraso en la consolidación de la AC en la efectividad de la tecnología para controlar la maduración. En un estudio realizado en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, se evaluó el efecto de la AC con demoras de 10 y 20 días entre la cosecha y el establecimiento de la AC (Olivares *et al.*, 2024). Para este estudio, la fruta fue cosechada, embalada y luego almacenada a 5 °C en una cámara de aire regular durante 10 y 20 días (simulando palta en origen), para luego ingresarla al almacenaje en AC en condiciones de 4 % de O₂ y 6 % de CO₂, hasta completar 50 días desde la cosecha.

En este ensayo se observó que un retraso de 10 días en ingresar a la AC no presentó diferencias significativas con el control para el parámetro de ablandamiento, en comparación con un establecimiento cercano a la cosecha. Por otra parte, un retraso de 20 días en establecer la AC presentó diferencias, ya que la fruta sometida a este régimen mostró una menor firmeza al salir del almacenaje en frío y maduró antes que la fruta sometida a AC de forma inmediata o con un retraso de 10 días (Figura 7.9).

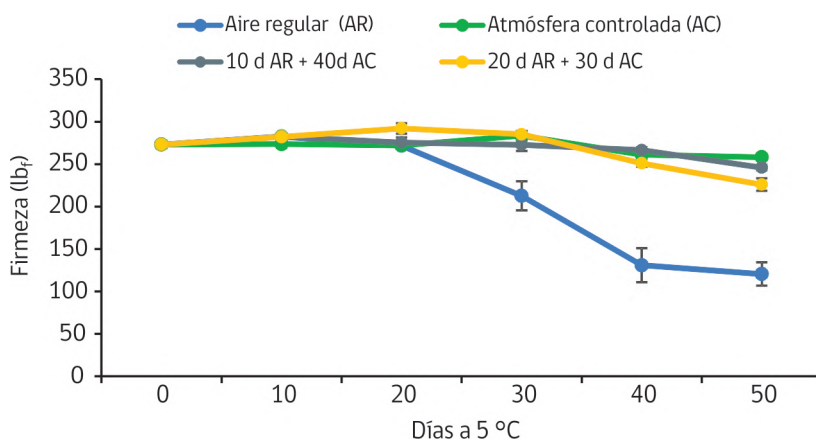


Figura 7.9. Efecto de los días de retraso de consolidación (10 y 20 días) en la firmeza de palta 'Hass' durante simulación de tránsito a destino en atmósfera controlada. Se utilizó un tratamiento testigo en aire regular durante todo el periodo de evaluación.

Dada la importante cantidad de variables involucradas en determinar la vida útil de una palta, las cuales han sido mencionadas en capítulos anteriores, siempre será recomendable cosechar y consolidar la fruta lo antes posible, de manera de obtener los máximos beneficios de una tecnología como la atmósfera controlada.

7.7. Efecto de la AC sobre los desórdenes fisiológicos

En conjunto con los efectos sobre la firmeza, el color y el retraso general de la maduración, está ampliamente documentado que el uso de AC puede disminuir la incidencia de los desórdenes fisiológicos que se desarrollan en postcosecha, tales como el pardeamiento de pulpa y pardeamiento vascular (Figura 7.10). Estos efectos también han sido reportados en variedades 'Edranol' y 'Fuerte', mostrando una reducción en la incidencia de pardeamiento de pulpa tras 30 y 50 días de almacenaje (Olivares *et al.*, 2020). Se observó que paltas almacenadas en AR desarrollaron durante la vida de estantería, posterior a 30 días de almacenaje en frío, un 17,1 % de pardeamiento de pulpa, mientras que en el mismo periodo las paltas almacenadas en AC presentaron una incidencia promedio de 2,9 % del daño. Posterior a 50 días de almacenaje, el pardeamiento de pulpa en fruta almacenada en AR alcanzó casi un 60 % de incidencia, mientras que la fruta en AC presentó un 4,8 %. De la misma manera, esta investigación observó que en palta cosechada con alta materia seca ($MS > 28 \%$), el uso de

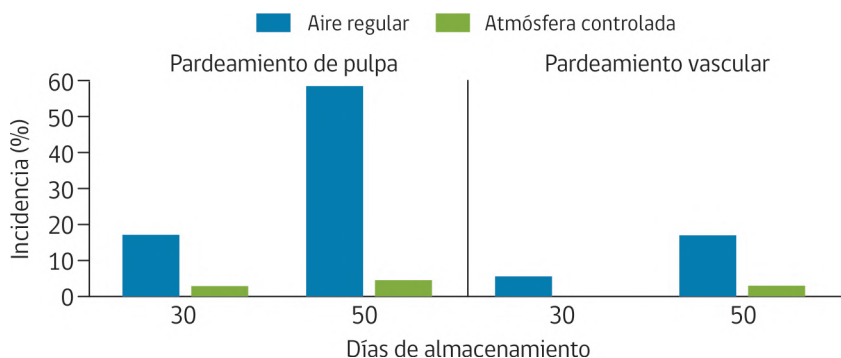


Figura 7.10. Incidencia (%) de pardeamiento de pulpa y vascular en palta 'Hass' almacenada por 30 y 50 días a 5 °C en aire regular (AR) y atmósfera controlada (AC).

AC ayudó a disminuir la incidencia de pardeamiento vascular tras 30 y 50 días de almacenaje. Se estableció que las paltas almacenadas durante 30 días en aire regular presentaron un 5,7 % de pardeamiento vascular, mientras que las almacenadas en AC no presentaron daño. Por otro lado, al extender el periodo a 50 días, la incidencia de este pardeamiento se incrementó hasta 17,1 % en aire regular, y a 2,9 % en AC. Fuentealba *et al.* (2022) reportaron que la consolidación inmediata de AC redujo significativamente la incidencia de “black spot” (Capítulo 6) en palta ‘Hass’ almacenada por 40 días a 5 °C.

7.8. Heterogeneidad de la materia prima y su importancia en la gestión de extensión de vida útil

Si bien son claros los efectos benéficos de la AC para retrasar la maduración y los daños fisiológicos en la fruta, y dado que es necesario aumentar la vida de postcosecha de la palta para llegar a mercados cada vez más distantes, las características de la materia prima son determinantes para evaluar la efectividad que tiene la tecnología. Por lo que se convierte en una variable crítica cuando existen factores que provoquen retrasos prolongados en la exportación.

Uno de los principales desafíos en el manejo de postcosecha de la palta radica en la alta heterogeneidad que presenta el fruto desde su manejo en campo, principalmente debido al largo periodo de floración y cuaja de la especie, lo que implica tener frutos en distintas etapas de maduración al mismo tiempo (Ferreyra *et al.*, 2014). Esto se evidencia en la dificultad que implica determinar el principal índice de cosecha de la palta: la materia seca (MS).

En estudios realizados por la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina en distintos huertos de la Región de Valparaíso se observó, que si bien se busca realizar una cosecha siguiendo el parámetro de un 23 % de MS, en la práctica la variabilidad de este porcentaje en los distintos huertos es notablemente alta. De esta manera, es posible encontrar huertos con distribuciones de MS acotadas y cercanas a su promedio, así como huertos con alta variabilidad, cuyas distribuciones presentan frutos con valores entre 20 y 30 % de MS al mismo tiempo de evaluación (Figura 7.11).

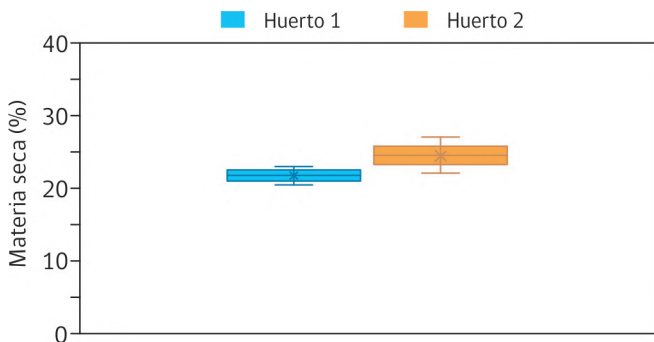


Figura 7.11. Distribución de porcentaje de materia seca en dos huertos de la Región de Valparaíso..

Estas diferencias, tanto entre huertos como dentro del huerto, implican un enorme desafío para establecer manejos y protocolos de postcosecha estandarizados, ya que, aunque se establezcan lineamientos para el proceso de fruta según su estado de madurez o el promedio de materia seca, aún existirán frutos que se encuentren fuera de estas categorizaciones. De tal manera, dentro de un mismo lote se puede encontrar fruta lista para el consumo y otra que aún requiere mayor tiempo para su maduración.

Al usar atmósfera controlada para disminuir la maduración, es posible homogeneizar la condición de la fruta durante el almacenaje en frío, de modo que cuando llegue a destino los lotes pueden parecer aceptablemente homogéneos para su distribución al comercio (Feng *et al.*, 2000). Sin embargo, este efecto se limita al periodo en que la AC se encuentra en uso y, a menos que se utilicen tecnologías como la aplicación de 1-MCP (1-metilciclopropeno), no evitarán que, posterior al término del almacenaje en frío, la heterogeneidad de la materia prima se exprese durante la comercialización o vida de estantería de la fruta (ver Capítulo 8 de este Boletín para un mayor análisis).

Entre los estudios realizados por la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, se registraron diferencias en los días requeridos para alcanzar madurez de consumo de la fruta proveniente de distintos huertos de la zona de Santo Domingo (Región de Valparaíso), cosechados en fechas similares y sometidos a 50 días de AC con concentración de 6 % de CO₂ y 4 % de O₂. En estas frutas se observó que, aunque las condiciones de almacenaje en frío fueron similares, con fruta 100 % verde y firme, los días requeridos para madurar los lotes de fruta fueron notoriamente distintos (Figura 7.12).

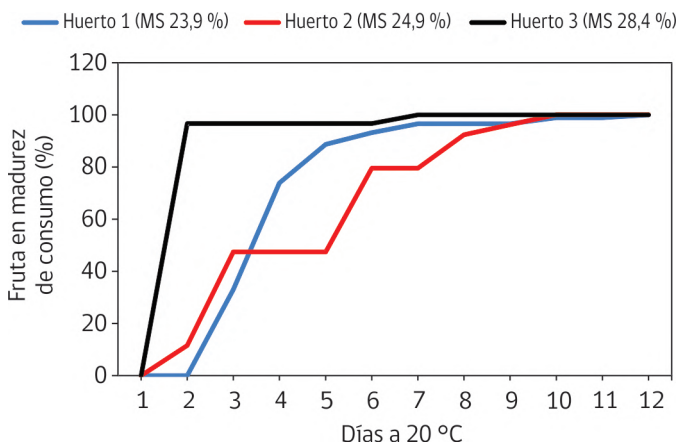


Figura 7.12. Distribución de porcentaje de frutos a madurez de consumo durante el periodo de vida de estantería a 20 °C, según el porcentaje de materia seca promedio medido al momento de cosecha.

En este caso, el huerto con un promedio de MS cercano al 28 % presentó un 96 % de fruta madura tras 2 días a 20 °C. Mientras que huertos cercanos a 24 % de MS, presentaron una distribución de maduración más extensa, requiriendo entre 5 y 6 días a 20 °C para que la mayoría de la fruta alcanzara la madurez de consumo. Esto refleja que, si bien la AC es efectiva para controlar la maduración, se debe considerar la condición inicial de cosecha, ya que eventualmente será determinante en la gestión de comercialización del producto, proporcionando una mayor o menor ventana de stock y de venta.

Por otra parte, la condición de la fruta establecida por variables como la firmeza, también varía según las condiciones mencionadas, y en ocasiones el uso de la atmósfera controlada resulta insuficiente para disminuir el deterioro de la fruta cuando ésta se encuentra sensible o dañada desde la precosecha. En este sentido, se observó que en muestras de huertos que regularmente presentaban problemas de pudriciones, pardeamientos y otros daños ocasionados durante el desarrollo de la fruta, el uso de atmósfera controlada no redujo la cantidad de fruta de baja calidad. Incluso, al momento de la apertura de la cámara, previo al periodo de vida de estantería, estas muestras ya evidenciaban una baja firmeza en comparación con otros huertos que no presentaron problemas en precosecha (Figura 7.13).

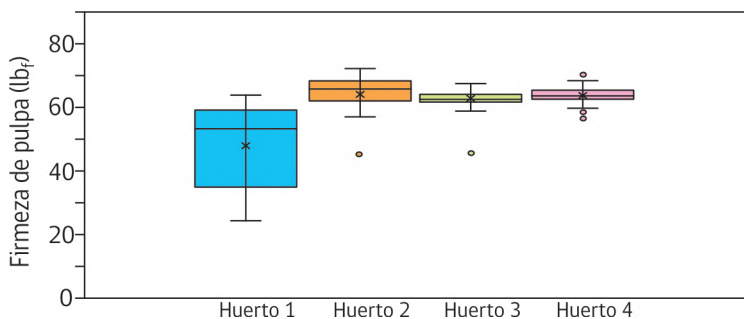


Figura 7.13. Distribución de firmeza en paltas al momento de salida de almacenaje en AC a 5 °C, en 4 huertos de la Región de Valparaíso.

7.9. Comentarios finales

La atmósfera controlada se ha consolidado como una de las tecnologías más importantes para la exportación de paltas a destinos lejanos. Aunque su eficacia en el aumento de la vida de postcosecha es clara y evidente, para optimizar su uso es necesario considerar los distintos factores que influyen en la tecnología para lograr su objetivo. Por lo tanto, además de evaluar las distintas combinaciones de concentración de gases (oxígeno y dióxido de carbono) que puedan aumentar la vida útil de paltas en postcosecha, es indispensable incluir en la ecuación factores como el correcto manejo y control de la cadena de frío, la calidad y condición inicial de la fruta, y el uso adicional de otras tecnologías para reducir los efectos indeseables de etileno (Capítulo 8). De esta manera, la atmósfera controlada se considera una tecnología complementaria a los aspectos mencionados.

7.10. Referencias

- Alamar, M. C., Collings, E., Cools, K., & Terry, L. A. (2017). Impact of controlled atmosphere scheduling on strawberry and imported avocado fruit. *Postharvest Biology And Technology*, 134, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.08.003>
- Arpaia, M.L., Faubian, D., Mitchell F.G. & Mayer, G. (1990). The Use of Controlled Atmosphere for Long-Term Storage of 'Hass' Avocados. *California Avocado Society Yearbook* 74, 43-48.
- Atkins, P. & De Paula, J., (2006). Physical Chemistry, New York, McGraw-Hill. *Journal of the Franklin Institute*. Volume 272, Issue 4, Pages 333-334. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(61\)90576-2](https://doi.org/10.1016/0016-0032(61)90576-2)

- Burdon, J., Lallu, N., Haynes, G., McDermott, K., & Billing, D. (2008). The effect of delays in establishment of a static or dynamic controlled atmosphere on the quality of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology And Technology*, 49(1), 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.01.002>
- Defilippi B., Robledo P., Rivera S. & Ferreyra R. (2015). Heterogeneidad de la calidad y condición de paltas. En: *Optimización de la calidad de palta 'Hass'*, Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, N° 248. pp. 43-68.
- Feng, X., Apelbaum, A., Sisler, E. C., & Goren, R. (2000). Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology And Technology*, 20(2), 143-150. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(00\)00126-5](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(00)00126-5)
- Ferreyra, R. & Defilippi, B. & (2012). Factores de precosecha que afectan la postcosecha de palta Hass: clima, suelo y manejo. Quillota, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Vol. N° 248. 99 p. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7536> (Consultado el 21 de marzo de 2025).
- Fuentealba, C., Vidal, J., Zulueta, C., Ponce, E., Uarrota, V., Defilippi, B. G., & Pedreschi, R. (2022). Controlled Atmosphere Storage Alleviates Hass Avocado Black Spot Disorder. *Horticulturae*, 8(5), 369. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050369>
- Hernández, I., Fuentealba, C., Olaeta, J. A., Poblete-Echeverría, C., Defilippi, B. G., González-Agüero, M., Campos-Vargas, R., Lurie, S., & Pedreschi, R. (2017c). Effects of heat shock and nitrogen shock pre-treatments on ripening heterogeneity of Hass avocados stored in controlled atmosphere. *Scientia Horticulturae*, 225, 408-415. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.025>
- Kader, A.A., & Arpaia, M.L. (2002). Postharvest handling Systems: Subtropical Fruits. pp. 375-383. En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops Third Edition*. Agriculture and Natural Resources, University of California. 535 p.
- Li, D., Li, L., Xu, Y., Wang, L., Lin, X., Wang, Y., & Luo, Z. (2021). Exogenous ATP attenuated fermentative metabolism in postharvest strawberry fruit under elevated CO2 atmosphere by maintaining energy status. *Postharvest Biology And Technology*, 182, 111701. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111701>
- Lieu, M. D., Phuong, T. V., Nguyen, T. T. B., Dang, T. K. T., & Nguyen, T. H. (2024). A review of preservation approaches for extending avocado fruit shelf-life. *Journal Of Agriculture And Food Research*, 16, 101102. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101102>

- Maré, L., A. B. Truter, Malcolm C. Dodd and Deirdre M. Holcroft. (2002). The use of CA storage, CO₂ shock treatments and / or 1-MCP treatments on 'Fuerte' and 'Hass' avocados. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 25:35-44.
- Meir, S., Akerman, M., Fuchs, Y., & Zauberman, G. (1995). Further studies on the controlled atmosphere storage of avocados. *Postharvest Biology And Technology*, 5(4), 323-330. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)00032-n](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00032-n)
- Meir, S., Naiman, D., Akerman, M., Hyman, J. Y., Zauberman, G., & Fuchs, Y. (1997). Prolonged storage of 'Hass' avocado fruit using modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology And Technology*, 12(1), 51-60. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(97\)00038-0](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(97)00038-0)
- Olivares, D., Alvarez, E., Véliz, D., García-Rojas, M., Díaz, C., & Defilippi, B. G. (2020b). Effects of 1-Methylcyclopropene and Controlled Atmosphere on Ethylene Synthesis and Quality Attributes of Avocado cvs. Edranol and Fuerte. *Journal Of Food Quality*, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2020/5075218>
- Olivares, D., Ulloa, P. A., Vergara, C., Hernández, I., García-Rojas, M. Á., Campos-Vargas, R., Pedreschi, R., & Defilippi, B. G. (2024). Effects of Delaying the Storage of 'Hass' Avocados under a Controlled Atmosphere on Skin Color, Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity. *Plants*, 13(11), 1455. <https://doi.org/10.3390/plants13111455>
- Perez, K., Mercado, J., & Soto-Valdez, H. (2004). Note. Effect of Storage Temperature on the Shelf Life of Hass Avocado (*Persea Americana*). *Food Science And Technology International*, 10(2), 73-77. <https://doi.org/10.1177/1082013204043763>
- Saltveit, M. E. (2002). Is it possible to find an optimal controlled atmosphere?. *Postharvest Biology And Technology*, 27(1), 3-13. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(02\)00184-9](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(02)00184-9)
- Woolf, A. B., Cox, K. A., White, A., & Ferguson, I. B. (2003). Low temperature conditioning treatments reduce external chilling injury of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology And Technology*, 28(1), 113-122. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(02\)00178-3](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(02)00178-3)
- Woolf, A. B., Requejo-Tapia, C., Cox, K. A., Jackman, R. C., Gunson, A., Arpaia, M. L., & White, A. (2004). 1-MCP reduces physiological storage disorders of 'Hass' avocados. *Postharvest Biology And Technology*, 35(1), 43-60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.009>